



Changes in organic carbon stocks in lixiviated red ferralitic soils from Mayabeque, Cuba

Cambios en las reservas de carbono orgánico en suelos ferralíticos rojos lixiviados de Mayabeque, Cuba

Carnero-Lazo, G.¹, Hernández-Jiménez, A.¹, Terry-Alfonso E.¹, Bojórquez-Serrano, J. I.².

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba (INCA).

²Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Carnero-Lazo, G., Hernández-Jiménez, A., Terry-Alfonso E., Bojórquez-Serrano, J. I. (2019). Changes in organic carbon stocks in lixiviated red ferralitic soils from Mayabeque, Cuba. *Revista Bio Ciencias* 6, e564. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e564>



ABSTRACT

This paper studies the change of Soil Organic Carbon (SOC) stocks in Lixiviated Red Ferralitic soils due to the change of land use, which is new for the province of Mayabeque and for Cuba. It starts from the results previously obtained when 38 soil profiles were characterized within a period between six and fourteen years. The sampling to determine SOC contents was conducted through the method of 100-cm³ volume cylinders, in triplicate. The comparison between both samplings allows to obtain SOC gains or losses. Results were achieved under four grove sites and three cultivated soils. Regarding soils under groves, SOC gains were evidenced in all cases, whereas in cultivated soils, SOC losses were obtained in two plots under intensive cultivation; however, such SOC losses were not recorded in the third plot where agroecological

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: September 14th 2018.

Accepted/Aceptado: August 23rd 2019.

Available on line/Publicado: August 26th 2019.

RESUMEN

En este trabajo se estudia el cambio de los contenidos de Carbono Orgánico del Suelo (SOC), en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por el cambio de uso del suelo, lo que resulta novedoso para la provincia de Mayabeque y para Cuba. Se parte de los resultados obtenidos anteriormente en la caracterización de 38 perfiles de estos suelos en un período entre seis y 14 años. El muestreo para determinar los contenidos de SOC se realizó por el método de cilindros de 100 cm³ de volumen, por triplicado. La comparación entre ambos muestreos permitió obtener las ganancias o pérdidas de SOC. Se obtuvieron resultados bajo cuatro sitios de arboledas y tres suelos cultivados. En suelos bajo arboledas, se evidencia que en todos los casos, hay ganancias en el SOC. Para los casos de suelos cultivados, en dos parcelas bajo cultivo intensivo se obtuvieron pérdidas en el SOC, pero en la tercera, donde se hacen prácticas agroecológicas con aplicación sistemática de abono orgánicos, no se registran estas pérdidas. Los resultados sientan las bases, desde el punto de vista ambiental, ya que pueden servir a la provincia de Mayabeque para analizar el estado del SOC

*Corresponding Author:

José Irán Bojórquez. Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic Compostela, Km 9, 63780 Xalisco, Nay. Mexico. Phone: +52(311) 211 0128. E-mail: iranbojorquez@hotmail.com

practices were carried out with the systematic application of organic manure. These results lay the foundations, from the environmental point of view, since they may be useful for the province of Mayabeque to analyze SOC status in Lixiviated Red Ferralitic soils, according to the map of land use, as well as to recommend the application of organic manures, avoiding SOC losses.

KEY WORDS

Soil organic carbon, tropical soils, land use

Introduction

Soil carbon losses in ecosystems and climate change are problems that currently influence agricultural production. Worldwide agricultural soils have lost between 30 and 75 % of SOC stocks from 30 to 40 Mg C ha⁻¹ (La *et al.*, 2007), which has contributed to the enrichment of greenhouse gases and to the global warming of the atmosphere, provoking what is known as "Climate Change," a phenomenon that is currently occurring, causing not only natural disasters (extreme droughts and floods) but also major losses in agricultural production (Muñoz-Rojas *et al.*, 2017).

Soil natural coverage and agroforestry systems increase SOC, which helps improve soil aggregates, reduce erosion, diminish carbon and nitrogen losses, and improve its accumulation (Chen *et al.*, 2017); likewise, tropical soil destined to pasture cultivation (*Pennisetum purpureum*) has proven to be a way to increase SOC stocks as its exploitation increases (Lok *et al.*, 2013). However, the inadequate use and management of soil, aside from contributing to the greenhouse effect, provoke problems related to sustainability due to the degradation of SOC, which negatively acts in its physical and chemical properties and in its biodiversity as well.

SOC losses are closely related with agro-productive properties, they negatively influence other properties like volume density, dispersion factor, biological activity and the decrease of its productivity. In these soils, Hernández-Jiménez *et al.* (2013, 2014), determined that highly cultivated soils have lost between 50 and 55 % of their

en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados según el mapa de uso del suelo y además para recomendar la aplicación de abonos orgánicos que evitan las pérdidas del SOC.

PALABRAS CLAVE

Carbono orgánico del suelo, suelos tropicales, uso del suelo.

Introducción

Las pérdidas de carbono en suelos de los ecosistemas y el cambio climático, son problemas que actualmente influyen en la producción agrícola. Los suelos agrícolas a nivel mundial han perdido entre el 30 y 75 % de las reservas de SOC de 30 a 40 Mg C.ha⁻¹ (Lal *et al.*, 2007), lo que ha contribuido al enriquecimiento de los gases de efecto invernadero y al calentamiento de la atmósfera que provoca el denominado "Cambio Climático", fenómeno que se manifiesta actualmente, ocasionando no solamente desastres naturales (sequías extremas e inundaciones) sino también grandes pérdidas en la producción agrícola (Muñoz-Rojas *et al.*, 2017).

La cobertura natural del suelo y los sistemas agroforestales incrementan el SOC, lo cual ayuda a mejorar los agregados del suelo, reducir la erosión, disminuir las pérdidas de carbono y nitrógeno, así como mejorar su acumulación (Chen *et al.*, 2017); asimismo, los suelos tropicales dedicados a cultivos de pasto (*Pennisetum purpureum*) han demostrado ser una vía para aumentar el almacenamiento de carbono en el suelo, a medida que se incrementa su explotación (Lok *et al.*, 2013). Sin embargo, el uso y manejo inadecuado del suelo, además de contribuir al efecto invernadero, provoca problemas relacionados con la sustentabilidad, debido a la degradación de la materia orgánica del suelo, lo que actúa negativamente en sus propiedades físicas y químicas, y en su biodiversidad (Nunes *et al.*, 2010).

Las pérdidas del SOC están relacionadas estrechamente con las propiedades agroproductivas, influyen negativamente en otras propiedades como la densidad de volumen, el factor de dispersión, actividad biológica y en la disminución de su productividad. En estos suelos, Hernández-Jiménez *et al.* (2013, 2014), determinaron

agricultural productivity. As well, the size of particle fractions decreases as time passes in cultivated soils (Schiedung *et al.*, 2017).

Deforestation and agro-ecosystem establishment alter SOC stocks as occurred in the humid tropic of the Amazon; in oxisol soils, the ground leveling of the natural rainforest to be turned into pasture resulted in a decrease of SOC in the 20 cm of surface, two years after pasture establishment, it changed from 90.0 to 68.8 t C/ha, but due to the entries of SOC coming from the pasture during a period of eight years, it made return back to 96 t C/ha (Cerri *et al.*, 1996). In dark-reddish latosol soils (rhodic ferralsol), firstly, they lead to SOC when inappropriate management practices were applied, but later it recovers between 0.3 and 1.91 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ when agricultural practices with little soil preparation were used (Battle-Bayer *et al.*, 2010). On the other hand, carbon stocks increase one year and a half after deforestation, although this carbon was rapidly mineralized and poorly contributes to SOC stocks of five years after deforestation (Fujisaki *et al.*, 2017).

In Mexico, changes in SOC due to the modification of land use has been reported (González-Molina *et al.*, 2014), as well as changes according to the agricultural use of soils of the coastal plains of Nayarit (Murray *et al.*, 2012) and SOC losses or gains according to natural coverages and of sugarcane crops in the basin of the Mololoa river, Nayarit (Bojórquez *et al.*, 2015).

In the case of Cuba, it is known that climate change causes the increase of mean temperatures by 0.9 °C in plains (Planos *et al.*, 2013), which was part of what caused the increase of pH in red ferralitic (RF) soils and leached red ferralitics (LRF) soils of what is known as "Llanura Roja de la Habana" that comprises Mayabeque and Artemisa provinces (Morales & Hernández, 2011; Hernández-Jiménez *et al.*, 2014; Cánepa *et al.*, 2015). In addition, based on SOC losses due to the change of soil use, only the losses of LRF soil ecosystem of this region have been reported, where cultivated soils have lost between 50 and 55 % of SOC for the layer of 0-20 cm of the superior thickness of soil (Hernández-Jiménez *et al.*, 2014). Based on the above, the objective of this work was to evaluate gains or losses of SOC in LRF soils of the province of Mayabeque, under different soil use.

que los suelos muy cultivados han perdido entre el 50 a 55 % de su productividad agrícola. También, el tamaño de las fracciones de las partículas disminuye con el paso del tiempo en suelos cultivados (Schiedung *et al.*, 2017).

La deforestación y el establecimiento de agroecosistemas alteran las reservas de SOC como ha ocurrido en el Trópico húmedo del Amazonas; en suelos Oxisoles, el desmonte de la selva natural para convertirlo en pastizales resultó en una disminución del SOC en los 20 cm superficiales, después de dos años del establecimiento de los pastizales paso de 90.0 a 68.8 t C/ha, pero por las entradas de SOC provenientes del pastizal durante un período de ocho años hicieron volver 96 t C/ha (Cerri *et al.*, 1996). Los suelos Latosoles Rojo Oscuros (Ferralsol ródico), primero llevan a pérdidas en el SOC cuando se aplican prácticas inapropiadas de manejo, pero después se recupera entre 0.3 y 1.91 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ cuando se utilizan prácticas de agricultura con poca preparación del suelo (Battle-Bayer *et al.*, 2010). Por otra parte, el almacenamiento de carbono se incrementa a un año y medio de la deforestación, aunque este carbono es rápidamente mineralizado y contribuye pobremente a la reserva de SOC de cinco años después de la deforestación (Fujisaki *et al.*, 2017).

En México, reportan cambios en el SOC por la modificación del uso de la tierra (González-Molina *et al.*, 2014), también cambios según el uso agrícola del suelo de la llanura costera de Nayarit (Murray-Núñez *et al.*, 2012) y pérdidas o ganancias de SOC según coberturas naturales y de cultivo de caña de azúcar en la Cuenca del río Mololoa, Nayarit (Bojórquez *et al.*, 2015).

En el caso de Cuba, se conoce que el cambio climático trae como consecuencia el aumento de la temperatura media de las llanuras en 0,9 °C (Planos *et al.*, 2013), lo cual es parte de la causa del aumento del pH en suelos Ferralíticos Rojos (RF) y Ferralíticos Rojos Lixiviados (LRF) de la llamada "Llanura Roja de la Habana" que comprende las provincias de Mayabeque y Artemisa (Morales & Hernández, 2011; Hernández-Jiménez *et al.*, 2014; Cánepa *et al.*, 2015). Además, desde el punto de vista de las pérdidas de SOC por el cambio de uso del suelo, solamente se reporta las pérdidas de los suelos del ecosistema de suelos LRF de esta región, donde los suelos cultivados han perdido entre el 50 y 55 % del SOC para la capa de 0-20 cm del espesor superior del suelo (Hernández-Jiménez *et al.*, 2014). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar las ganancias o pérdidas de SOC en suelos LRF de la provincia Mayabeque, bajo diferentes formas de uso.

Material and Methods

The zone of study was located in western Cuba, it presents a sub-humid tropical climate with an annual precipitation between 1,300 and 1,500 mm, an average temperature of 24.5° C and a flat area; the origin material was limestone from the Miocene epoch, with development of LRF soil (Hernández-Jiménez *et al.*, 2017). For this work, previous research works on the diagnosis of the change of properties of LRF soils in Mayabeque province served as starting point (Hernández-Jiménez *et al.*, 2013, 2014), seven profiles of soils with different coverages were selected, one sampling was performed in triplicate in the period comprised from February to May, 2017.

Sampling was carried out at the following sites:

-Groves: Two of mango (*Mangifera indica*) sown more than 50 years ago, with no men intervention neither in harvest nor in management, without trimming; animals do not come to this grove neither; and one of ficus (*Ficus* sp) of more than 100 years, both situated in the Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) and in a secondary forest of more than 100 years, known as Arboretum; with species such as mahoe (*Hibiscus etatus*), ficus (*Ficus* sp.), mango (*Mangifera indica*), avocado (*Persea americana*), mahogany (*Swietenia mahogani*) and cedrus (*Cedrela americana*). This arboretum grows naturally in the wild, men do not extract wood and it was not affected by entry of cattle. It was found in approximately 3 hectares from the Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT).

-Areas with currently cultivated soil profiles: Garden of medicinal plants (six years), in which mint (*Mentha arvensis*, L.), aloe (*Aloe vera* (L) *Burn.f.*), spearmint (*Mentha spicata* L), marjoram (*Origanum majorana* L.), white basil (*Ocimum basilicum*) and dandelion (*Taraxacum officinale*) were sown. The orchard was prepared in flowerbeds of 1 meter in width, 30 m in length with 30 cm in height and 2 cm of organic compost (manure) were added to the surface and area of intensive cultivations (from 5 to 12 years), in which maize cultivations were maintained during the rainy season (from May to October) and beans in dry season (from April to May).

SOC determinations were realized for the depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm, with the purpose of comparing gains or losses of these stocks according to soil use.

Material y Métodos

La zona en estudio se localiza al occidente de Cuba, presenta un clima tropical subhúmedo con una precipitación anual de entre 1.300 y 1.500 mm, una temperatura media de 24,5 ° C y un relieve plano; el material de origen es roca caliza dura de edad Miocena, con desarrollo de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Hernández-Jiménez *et al.*, 2017). Para el trabajo se partió de investigaciones precedentes sobre el diagnóstico del cambio de las propiedades de los suelos LRF de la provincia Mayabeque (Hernández-Jiménez *et al.*, 2013, 2014), se seleccionaron siete perfiles de suelos con diferentes coberturas, se realizó el muestreo por triplicado, en el período comprendido de febrero a mayo de 2017.

El muestreo se realizó en los siguientes sitios:

-Arboledas: dos de mango (*Mangifera indica*), que fue sembrada hace más de 50 años, sin intervención del hombre en la cosecha y mantenimiento, y sin poda; tampoco entran animales en esta arboleda. Y una de ficus (*Ficus* sp.) con más de 100 años, situadas ambas en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y en un bosque secundario de más de 100 años, llamado Arboretum; con especies como majagua (*Hibiscus elatus*), ficus (*Ficus* sp.), mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*), caoba (*Swietenia mahogani*) y cedro (*Cedrela americana*). Este arboretum crece en forma silvestre, el hombre no hace extracciones de madera ni tampoco tiene afectaciones por la entrada de ganado. Se encuentra en aproximadamente 3 hectáreas en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT).

-Áreas con perfiles de suelos que actualmente están cultivados: huerto de plantas medicinales (seis años), en el cual se siembra menta (*Mentha arvensis*, L.), sábila (*Aloe vera* (L) *Burn.f.*), hierba buena (*Mentha spicata* L.), mejorana (*Origanum majorana* L.), albahaca blanca (*Ocimum basilicum*) y diente de león (*Taraxacum officinale*). El huerto se prepara en canteros de 1 metro de ancho y 30 metros de largo con 30 cm de altura, se le añade 2 cm en la superficie de abono orgánico (estiércol) y áreas de cultivos intensivos (de 5 – 12 años), en las cuales se mantiene siembra de maíz en la época de lluvias (mayo a octubre) y de frijol en la época de sequía (abril a mayo).

Las determinaciones de SOC se realizaron para las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, con el fin de comparar la ganancia o pérdidas de estas reservas en relación con el uso del suelo.

Calculations of SOC were realized with the following equation:

$$\text{SOC} = \text{vD (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{OC (\%)} \times \text{thickness (in cm)} \times (1-I)$$

Where: vD (volume density). Soil volume density was determined in the field by the cylinder method (Forsythe et al., 1975), by means of the use of a cylinder of 100 cc of volume and with determination of moisture in an oven at 105 ° C for 24 hours until constant weight was reached.

I was the percentage of inclusions (ferruginosa nodules, gravel and stone) that there might be. Inclusions were not present in the case of the studied soils, which is why this part of the formula was not applied.

The organic matter (OM) was determined by means of the humid combustion procedure (Walkley & Black, 1934). The method described in the Manual of analytical techniques for analysis of soil, foliar, organic fertilizers and chemical fertilizers (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 1999). Then, from the % of OM, the % of organic carbon (OC) was determined, by applying the empiric factor of Van Bemelen equivalent to 1.724.

SOC gains or losses were calculated when comparing the obtained results in previously studied profiles between 6 and 14 years by Hernández-Jiménez et al. (2014) and the evaluations realized in 2017. When dividing the gains or losses obtained between the number of years that have passed, the annual rate of increase or loss in SOC was obtained.

Results and Discussion

In Figure 1, the results of the changes (gains or losses) in SOC of the studied grove ecosystem were presented, under different soil management.

As observed, for the ficus grove, at 0-10 cm in depth, in 2010, SOC was of 54 Mg ha⁻¹, which increased up to 65 Mg ha⁻¹ seven years later, having a gain of 11. This occurs at depths of 0-20 and 0-30 as well, where it increased between 16 and 33 Mg ha⁻¹, respectively.

As for the case of mango groves (*Mangifera indica*), the one of 14 years sequestered more organic carbon than the one of seven years, similar situation was observed for the three evaluated depths, being the sequestration

El cálculo del SOC se realizó con la ecuación:

$$\text{SOC} = \text{vD (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{OC (\%)} \times \text{espesor (en cm)} \times (1-I)$$

Dónde: vD (Densidad de volumen). La densidad de volumen del suelo se determinó en campo por el método del cilindro (Forsythe et al., 1975), mediante el uso de un cilindro de 100 cc de volumen y con determinación de la humedad en estufa a 105 °C por 24 horas hasta peso constante.

I es el porcentaje que pueda haber de Inclusiones (nódulos ferruginosos, gravas o piedras). En el caso de los suelos que se estudiaron no se presentan Inclusiones por lo que no se aplica esta parte de la fórmula.

La materia orgánica (OM) se determinó mediante el procedimiento de combustión húmeda (Walkley & Black, 1934). Se siguió la metodología descrita en el Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 1999). Luego a partir del % de OM, aplicando el factor empírico de Van Bemelen equivalente a 1.724 se determinó el % de carbono orgánico (OC).

Las ganancias o pérdidas de SOC se calcularon al comparar los resultados obtenidos en perfiles estudiados previamente entre (6-14 años) por Hernández-Jiménez et al. (2014) y las evaluaciones realizadas en el año 2017. Al dividir las ganancias o pérdidas obtenidas entre el número de años que han transcurrido, se obtuvo la tasa anual de incremento o pérdida en SOC.

Resultados y Discusión

En la Figura 1, se presentan los resultados de los cambios (ganancias o pérdidas) en el SOC de los sistemas de arboledas objeto de estudio, bajo diferentes manejos del suelo.

Como se aprecia, para la arboleda de ficus, en la profundidad de 0-10 cm, en el año 2010 el SOC era de 54 Mg ha⁻¹, la cual siete años después se incrementa a 65 Mg ha⁻¹, teniendo una ganancia de 11. Algo similar ocurre en las profundidades de 0-20 y 0-30, donde se incrementa entre 16 y 33 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Para el caso de las arboledas de mango (*Mangifera indica*), la que presenta 14 años, captura más carbono orgánico que la de siete años, situación que es similar para las tres

between 6 and 15 Mg ha⁻¹. In the secondary forest grove, organic carbon gains were observed to increase between 9 and 15 Mg ha⁻¹ in a period of six years.

Comparing among ficus (*Ficus* sp.) grove and Arboretum grove sown more than 100 years ago, the highest sequestration over time was observed to occur in ecosystems with ficus groves (*Ficus* sp.) (33 Mg ha⁻¹), this result could be related to the decomposition of *ficus* leaves, which may occur in a lesser time in relation to trees of the secondary forest. In this regard, studies performed by Cuevas (2014), cited by Cuevas *et al.* (2014) stated that the carbon content in fallen leaves depends on the decomposition degree of their elements and the decomposition rate, in turn, was determined by their chemical and physical composition, as well as by the climatic conditions of the place.

profundidades evaluadas, siendo la captura entre 6 y 15 Mg ha⁻¹. En la arboleda del bosque secundario, se observa que, en un período de seis años, se incrementa entre 9 y 15 Mg ha⁻¹ las ganancias de carbono orgánico.

Haciendo una comparación entre las arboledas de ficus (*Ficus* sp.) y Arboretum de más de 100 años de sembrados, se observa que en el tiempo la mayor captación ocurre en los sistemas con arboledas de ficus (*Ficus* sp.) (33 Mg ha⁻¹), este resultado pudiera estar relacionado con la descomposición de las hojas de ficus, la cual pudiera ocurrir en menor tiempo en relación a las de los árboles presentes en el bosque secundario. Al respecto, estudios realizados por Cuevas (2014), citados por Cuevas *et al.* (2014) plantean que el contenido de carbono en la hojarasca depende del grado de descomposición de sus elementos y la tasa de descomposición, a su vez, está determinada por

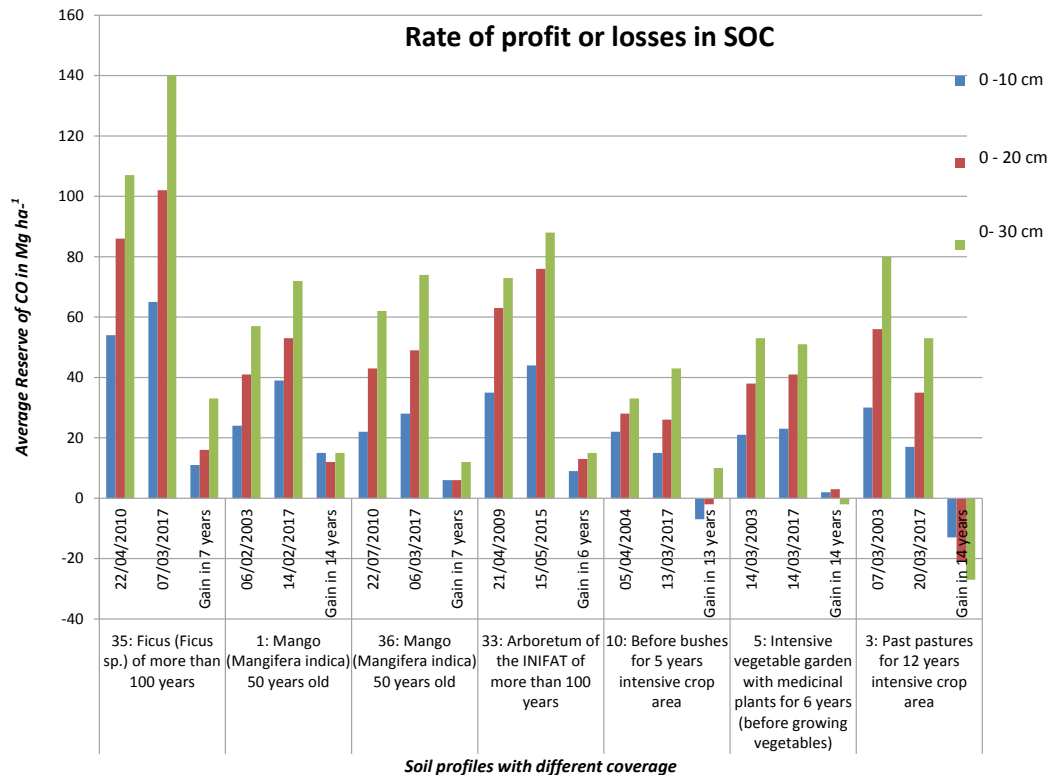


Figure 1. Gain or losses in SOC in LRF soils under groves and cultivation areas, in Mayabeque province, Cuba.

Figura 1. Ganancia o pérdidas de SOC en los suelos LRF bajo arboledas y áreas de cultivo, en la provincia Mayabeque, Cuba.

Likewise, the study for the cultivation areas (Figure 1) showed that, for the area that was under scrub vegetation for a period of 13 years, SOC losses of 7, 2 and 10 Mg ha⁻¹ occurred for the depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm respectively, caused by the change from scrub soil to intensive cultivation.

A similar behavior was obtained in the medicinal plant garden, formerly vegetable garden, where the losses were lesser regarding the other two profiles. However, in the area reconverted 12 years ago from pasture to intensive cultivations of maize, sorghum, beans, and tomato under irrigation and application of mineral fertilizers, the losses were higher, -13, -21 and -27 in order, for each of the evaluated depths, respectively. Variance and standard deviation of the results of soil profiles with different coverage were presented in Table 1.

Regarding the rate of SOC gains and losses for years (Table 2), it was observed that the balance is positive for each one of the depths, stored annually for the layer

la composición química y física de los mismos, así como por las condiciones climáticas del lugar.

Asimismo, el estudio para las áreas de cultivo (Figura 1) arrojó que, para el área que estuvo bajo una vegetación de matorral, en un período de 13 años, ocurrió pérdidas de SOC de 7, 2 y 10 Mg ha⁻¹ para las profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm respectivamente, lo cual fue provocado por el cambio de uso del suelo de matorral a cultivo intensivo.

Similar comportamiento se obtuvo en el huerto de plantas medicinales anteriormente huerto de hortalizas, donde las pérdidas son menores con respecto a los otros dos perfiles. Sin embargo, en el área reconvertida de pastos a cultivos intensivos desde hace 12 años con cultivos de maíz, sorgo, frijoles y tomate bajo riego y aplicaciones de fertilizantes minerales, las pérdidas son superiores las cuales están en el orden de -13, -21 y -27 para cada una de las profundidades evaluadas. En la Tabla 1 se muestra la varianza y la desviación estándar de los resultados de los perfiles de suelos con cobertura diferente.

Table 1.
Variance and standard deviation of the results of soil profiles with different coverage.

Tabla 1.
Varianza y la desviación estándar de los resultados de los perfiles de suelos con cobertura diferente.

No. Profile							
	35: Ficus (<i>Ficus</i> sp.) of more than 100 years	1: Mango (<i>Mangifera indica</i>) 50 years old	36: Mango (<i>Mangifera indica</i>) 50 years old	33: Arbore- tum of the INIFAT for more than 100 years	10: Before bushes for 5 years intensive crop area	5: Intensive vegetable garden with medicinal plants for 6 years (before growing veg- etables)	3: Past pastures for 12 years intensive crop area
Variance							
0 - 10 cm	60.5	112.5	18	40.5	24.5	2	84.5
0 - 20 cm	128	72	18	84.5	2	4.5	220.5
0 - 30 cm	544.5	112.5	72	112.5	50	2	364.5
SD							
0 - 10 cm	7.778	10.607	4.243	6.364	4.950	1.414	9.192
0 - 20 cm	11.314	8.485	4.243	9.192	1.414	2.121	14.849
0 - 30 cm	23.335	10.607	8.485	10.607	7.071	1.414	19.092

SD = standard deviation.

SD = Desviación estándar.

Table 2.
SOC gains or losses rates per year in LRF soils under groves and cultivation areas, in the Mayabeque province, Cuba.

Tabla 2.
Tasa de ganancia o pérdidas en el SOC por año en los suelos LRF bajo arboledas y área de cultivo, en la provincia Mayabeque, Cuba.

No. Profile	Rate of profit or loss of COS in Mg ha ⁻¹ año ⁻¹		
	0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
35: <i>Ficus</i> (<i>Ficus</i> sp.) Of more than 100 years	+1.57	+2.29	+4.71
1: Mango (<i>Mangifera indica</i>) 50 years old	+1.07	+0.86	+1.07
36: Mango (<i>Mangifera indica</i>) 50 years old	+0.86	+0.86	+1.71
34: Arboretum of the INIFAT of more than 100 years	+1.50	+2.17	+2.50
10: Before bushes for 5 years intensive crop area	+0.14	+0.21	-0.14
3: Past pastures for 12 years intensive crop area intensive crops	-0.92	-1.50	-1.93

of 0-30 cm in depth, a gain of 4.71 Mg ha⁻¹ for the ficus grove, in the case of mango groves, the sequestration was between 1.07-1.71 and for Arboretum of 2.50 Mg ha⁻¹.

For cultivation areas, SOC losses were generally observed. Only in the medicinal plant garden, gains were obtained at 0-10 and 0-20 cm in depth but not at 0-30 cm in depth where there were SOC losses, this could be related to the presences of organic compost (cow manure) applied on soil at the depth of 0-20 cm in doses of 1 kg m² in each cultivation cycle, for which their decomposition process contributes to the preservation of soil carbon stocks at the depth of 0-20 cm.

Results showed that soils under groves gained SOC in all of their variants, being the soil of ficus grove the one with the highest gain, followed by the soil of secondary forest from INIFAT, which is a lighten grove, and then followed by the mango plantation, while in cultivated soils, there were generally losses in SOC stocks.

SOC gain in forests has been pointed out in many research works, Luis-Mejía *et al.* (2007) reported that carbon accumulation of carbon to in soil by deforestation, was of 62 and 18 %, at the depths of 0-5 and 5-10 cm, respectively, in twenty-years-old reforestations. Data adjustment by apparent density and the use of a quadratic model indicated that the average mass of incorporation was of 11.2 and 2.30

En cuanto a la tasa de ganancia o pérdida de SOC por años (Tabla 2), se aprecia que para cada una de las profundidades el balance es positivo, almacena por año para la capa de 0-30 cm de profundidad, una ganancia de 4.71 Mg ha⁻¹ para la arboleda de ficus, en el caso de las arboledas de mango, la captura se encuentra entre 1.07 – 1.71 y el Arboretum 2.50 Mg ha⁻¹.

Para las áreas de cultivo se observa que existieron de manera general pérdidas de SOC. Solo en el huerto de plantas medicinales se obtuvieron ganancias en las profundidades de 0-10 y 0-20 cm y no así de 0-30 cm donde hubo pérdidas en el SOC, esto puede estar relacionado con la presencia de abonos orgánicos (estiércol vacuno) aplicados al suelo en la profundidad de 0-20 en dosis de 1 kg m² en cada ciclo de cultivo, los cuales en su proceso de descomposición contribuyen a preservar las reservas de carbono del suelo en la profundidad de 0-20 cm.

Los resultados muestran que los suelos bajo arboledas, en todas las variantes ganan SOC, siendo el suelo bajo ficus el de mayor ganancia, le sigue el del bosque secundario del INIFAT, que es un bosque clareado, y después la plantación de mango, mientras que en los suelos cultivados de manera general se produjeron pérdidas en las reservas de SOC.

La ganancia de SOC en los bosques se viene señalando en muchos trabajos, Luis-Mejía *et al.* (2007) reportaron que la acumulación de carbono al suelo por reforestación fue de 62 y 18 %, en las profundidades de 0-5 y 5-10 cm

t C ha⁻¹ 20 years after, and accumulation rates of 0.561 and 0.11 t C ha⁻¹ year⁻¹ at the same depths.

In European mountainous lands, the conversion from pastures to groves has been observed to decrease organic carbon stocks from 110 t C ha⁻¹ to 81 t C ha⁻¹ for 40 years, but with the establishment of groves 90 years later, it increased up to 174 t C ha⁻¹ (Hunziker *et al.*, 2017).

In temperate climate as well, in forest areas of the Monarch butterfly in Michoacán, México, Pérez-Ramírez *et al.* (2013), in their research, showed differences in SOC content found under different types of vegetation and grove conditions. These authors demonstrated that conserved sacred fir round patches of land have 153 Mg ha⁻¹ of SOC in average, while the exploited and altered ones have 95 and 125 Mg ha⁻¹, respectively. Results showed that the average of SOC in conserved forests of pines-oaks is 103 Mg ha⁻¹, while the exploited and altered ones have 39 and 13 Mg ha⁻¹, respectively. Conserved forests stored between 40-80 % of SOC in soil A horizons. SOC content should be considered for determining the impact of forest management and of any other preservation policies.

These results occurred for tropical climates as well, for LRF soils in Cuba, where this work demonstrated that the intensive and continuous agricultural activity causes losses in SOC content resulting in the most affected agricultural layer (0-20 cm) by anthropogenic activity. Similarly, Hernández-Jiménez *et al.* (2007) established changes in SOC under different coverages (groves, pastures, and cultivation areas), determining a higher SOC content in groves, followed by pastures and the lowest SOC contents recorded in continuous cultivation areas.

Bojórquez *et al.* (2015) on the analysis of the changes in SOC for pine forests, in pastures, in avocado cultivations and in cultivated lands with sugarcane, located in the basin of Mololoa river, Nayarit, found similar results to the ones obtained in this study, where the stable coverages of forest and pasture generated SOC gains, being pasture the one that recorded the highest quantity, followed by oak forest, pine forest and finally, avocado orchard. The coverage of cultivation with sugarcane,

en reforestaciones de 20 años. El ajuste de los datos por densidad aparente y el uso de un modelo cuadrático indicó que la masa promedio de incorporación es 11.2 y 2.30 t C ha⁻¹ a los 20 años, y tasas de acumulación de 0.561 y 0.11 t C ha⁻¹ año⁻¹ en las mismas profundidades.

En tierras montañosas europeas se ha visto que la conversión de pastizales a siembras de arboledas disminuyó las reservas de carbono orgánico de 100 t C ha⁻¹ a 81 t C ha⁻¹ durante 40 años, pero con el establecimiento de las arboledas a los 90 años, aumentó a 174 t C ha⁻¹ (Hunziker *et al.*, 2017).

También en clima templado, en áreas forestales de la mariposa Monarca en Michoacán, México, Pérez-Ramírez *et al.* (2013) en sus investigaciones muestran diferencias en el contenido de SOC que se encuentran bajo diferentes tipos de vegetación y condiciones del arbolado. Estos autores demuestran que en los rodales de oyamel conservado tienen en promedio 153 Mg ha⁻¹ de SOC, mientras que los aprovechados y perturbados tienen 95 y 125 Mg ha⁻¹, respectivamente. Los resultados muestran que el promedio de SOC en bosques conservados de pino-encino es de 103 Mg ha⁻¹, mientras que los aprovechados y perturbados tienen 39 y 13 Mg ha⁻¹, respectivamente. Los bosques conservados almacenan entre 40-80 % del SOC en los horizontes A del suelo. El contenido de SOC debería ser considerado para determinar el impacto del manejo forestal o de cualquier otra política de conservación.

Estos resultados también ocurren para los climas tropicales, para suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de Cuba, donde este trabajo demostró que la actividad agrícola intensiva y continuada, ocasiona pérdidas en el contenido de SOC resultando la capa agrícola (0-20 cm) la más afectada por la actividad antropogénica. Igualmente, Hernández-Jiménez *et al.* (2017) establecen los cambios en SOC bajo diferentes coberturas (arboledas, pastizales y áreas de cultivo), determinando mayor contenido de SOC en las arboledas, les siguen los pastizales y las más bajas se registran en las áreas de cultivo continuado.

Bojórquez *et al.* (2015) en el análisis de los cambios de SOC para bosques de pino, en pastizal, en cultivo de aguacate y en terrenos cultivados con caña de azúcar localizados en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, encontraron resultados similares a los obtenidos en este estudio, donde las coberturas estables de bosque y pastizal generan ganancias en el SOC, siendo el pastizal el que registra

where burning for harvesting and re-burning of residues were practiced generated SOC losses.

The profile 5 was found in a cultivation area of medicinal plants where agro-ecological practices are performed like the application of cow-manure-based organic fertilizer, which contributes to decrease SOC losses. In reference to the above-mentioned, studies realized by Acevedo *et al.* (2015), found that in the organic management, there was a higher production of SOC and a higher quantity soil carbon sequestration (SCS), as well as an apparent lesser soil density in comparison with the conventional management.

Conclusions

In LRF soils from the Mayabeque province, there were SOC gains in quantity as well as in the annual rate in the groves, being higher in ficus groves and in the secondary forest (*Arboretum*), while in cultivated soils, there were SOC losses, although these losses were not present where agro-ecology was practiced with application of organic compost.

References

- Acevedo, D. C., Hernández Acosta, E., Maldonado Torres, R., Sánchez, Á., Edna, M., Acevedo, D. C. and Edna, M. (2015). Variabilidad espacial del carbono en un suelo después de 10 años de retiro e incorporación de residuos de cosecha. *Terra Latinoamericana*, 33(3): 199-208. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792015000300199&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Battle-Bayer, Batjes N.H. and Bindraban, P.S. (2010). Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 47-58 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.003>
- Bojórquez Serrano, J. I., Castillo Pacheco, L. A., Hernández Jiménez, A., García Paredes, J. D., and Madueño Molina, A. (2015). Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*, 36(4): 63-69. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000400008&lng=es&tlng=es
- Cánepa Ramos, Y., González, T., Abdón, J., González Mederos, A. and Hernández Jiménez, A. (2015). Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa Lázaro Peña de la provincia Artemisa. *Cultivos Tropicales*, 36(1): 80-85. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000100010&lng=es&tlng=es
- Cerri, C.C., Bernoux, M. and Graeme J. Blair. (1996). Reservas y flujo de carbono en sistemas naturales y agrícolas del Brasil y las implicaciones para el balance global de CO₂. *TERRA*, vol. 154, No. 1: 1-12. ISSN 0187-5779.
- Chen, C., Liu, W., Jiang, X., and Wu, J. (2017). Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use. *Geoderma*, 299: 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.021>
- Cuevas, R. S., Martínez, S. A., García, J. L. and Román, D. F. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. *Revista De Investigación*

la mayor cantidad, seguido por el bosque de encino, el bosque de pino y finalmente la arboleda de aguacate. La cobertura de cultivo con caña de azúcar, donde se practica la quema para la cosecha y la requema de los residuos agrícolas, genera pérdidas en el SOC.

El perfil 5, se encuentra en un área de cultivo de plantas medicinales donde se realizan prácticas agroecológicas como la aplicación de abono orgánico a base de estiércol vacuno, lo que contribuye a minimizar las pérdidas en el SOC. Con referencia a lo anterior, estudios realizados por Acevedo *et al.* (2015), encontraron que en el manejo orgánico existió una mayor proporción de SOC y de cantidad de carbono capturado por el suelo (SCS), así como una menor densidad aparente del suelo en comparación con el manejo convencional.

Conclusiones

En suelos LRF de la provincia de Mayabeque, en las arboledas hay ganancias en el SOC tanto en cantidad como en la tasa anual, siendo mayores en las arboledas de Ficus y en el bosque secundario (*Arboretum*), mientras que, en los suelos cultivados, se manifiestan las pérdidas de SOC, aunque donde se practica la agroecología, con aplicación de abono orgánico, no se presentan estas pérdidas.

- Agraria Y Ambiental (RIAA)*, 5(1): 29–45. <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/riaa/article/view/905/898>
- Forsythe, W., Perumpral, J. V., Francois-Haugrain, M. O., Barbeau, G., Ramnanan, G., N Warnisley, D. and Vargas, B. (1975). *Manual de laboratorio: Física de suelos*. IICA, San José (Costa Rica).
- Fujisaki, K., Perrin, A.-S., Garric, B., Balesdent, J. and Brossard, M. (2017). Soil organic carbon changes after deforestation and agrosystem establishment in Amazonia: An assessment by diachronic approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 245(1): 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.011>
- González-Molina, L., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., Báez Pérez, A., Camacho, G. and Manuel, J. (2014). Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 5(7): 1275-1285. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342014000700011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hernández-Jiménez, A., Cabrera Rodríguez, A., Borges Benítez, Y., Vargas Blandino, D., Bernal Fundora, A., Morales Díaz, M. and Ascanio García, M. O. (2013). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*, 34: 45-51. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000300007&nrm=iso
- Hernández-Jiménez, A., Morales Díaz, M., Cabrera Rodríguez, A., Ascanio García, M.O., Vargas Blandino, D., Borges Benítez, Y., Ríos Labrada, H. Funes Monote, F., Bernal Fundora, A. and González Cañizares, P.J. (2014). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de las provincias Mayabeque y Artemisa por el cultivo continuado y algunos resultados sobre su mejoramiento. Editorial INCA, ISBN: 978-959-7023-67-8. Mayabeque, Cuba, 158p.
- Hernández-Jiménez, A., Vargas-Blandino, D., Bojórquez-Serrano, J. I., García-Paredes, J. D., Madueño-Molina, A. and Morales-Díaz, M. (2017). Carbon losses and soil property changes in ferralic Nitisols from Cuba under different coverages. *Scientia Agrícola*, 74(4): 311-316. <https://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0117>
- Hunziker, M., Caviezel, C. and Kuhn, N. J. (2017). Shrub encroachment by green alder on subalpine pastures: Changes in mineral soil organic carbon characteristics. *CATENA* 157: 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.005>
- Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (1999). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana, 90 p.
- Lal, R., Follett, R. F., Stewart, B. A. and Kimble, J. M. (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*, 172(12): 943–956. <https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31815cc498>
- Lok, S., Fraga, S. and Noda, A. (2013). Bancos de biomasa con Pennisetumpurpleum. CT-115. Su efecto en el almacenamiento de carbono en el suelo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(3): 301–304. <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193029230014.pdf>
- Luis-Mejía, S., Gómez-Guerrero, A., Etchevers-Barra, J. D., Ángeles-Pérez, G., López-López, M. A. and Horwath, W. R. (2007). Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de Pinus michoacana. *Agrociencia*, 41(7): <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30220237001>
- Morales, M. & Hernández, A. (2011). Consideraciones sobre el aumento de pH en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en las provincias Mayabeque y Artemisa. *Agrotecnia de Cuba*. Vol. 35(2): 27-31. ISSN: 0538 3114.
- Muñoz-Rojas, M., Abd-Elmabod, S. K., Zavala, L. M., De la Rosa, D. and Jordán, A. (2017). Climate change impacts on soil organic carbon stocks of Mediterranean agricultural areas: A case study in Northern Egypt. *Quantification and mitigation of greenhouse gas emissions in Mediterranean cropping systems, Agricultura, Ecosistema y medio Ambiente* 238: 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.001>
- Murray-Núñez, R. M., Bojórquez-Serrano, J. I., Hernández-Jiménez, A., García-Paredes, J. D., Madueño-Molina, A., Bugarin-Montoya, R. and Orozco-Benítez, M. G. (2012). Pérdidas de carbono en suelos de la Llanura Costera de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias*, 1(4): <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.05>
- Nunes Carvalho, J.L., Avanzi, J.C., Naves Silva, M.L., Rogério de Mello C. and Cerri, C.E. (2010). Potencial de secuestro de carbono en diferentes biomas de Brasil. *Revista Brasileira de Ciências de Solo* 34(2): Viçosa Mar./Apr. 201. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>
- Pérez-Ramírez, S., Ramírez, M. I., Jaramillo-López, P. F. and Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo*

- serie ciencias forestales y del ambiente*, 19: 157-173. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.042>
- Planos, G.E., Rivero, V.R. and Guevara, V.V. (2013). Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Medio Ambiente y Tecnología, La Habana, Cuba, 430 pp. Primera Edición. ISBN: 978-959-300-039-0.
- Schiedung, H., Bornemann, L. and Welp, G. (2017). Seasonal Variability of Soil Organic Carbon Fractions Under Arable Land. *Pedosphere*, 27(2): 380-386. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60326-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60326-6)
- Walkley, A. & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29–38.