

11

Fecha de presentación: marzo, 2021

Fecha de aceptación: mayo, 2021

Fecha de publicación: agosto, 2021

IMPACTO DE DOS USOS DE SUELO EN EL ALMACENAMIENTO CARBONO ORGÁNICO EN EL LITORAL ECUATORIANO

IMPACT OF TWO LAND USES ON ORGANIC CARBON INPUTS ON THE ECUADORIAN COASTAL AREA

Edwin Paul Torres Feijoo¹

E-mail: etorres3@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7547-6562>

Jaime Enriquez Maza Maza¹

E-mail: jemaza@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-5165>

Salomón Barrezueta Unda¹

E-mail: sabarrezueta@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Torres Feijoo, E. P., Maza Maza, J. E., & Barrezueta Unda, S. (2021). Impacto de dos usos de suelo en el almacenamiento de carbono orgánico en el litoral ecuatoriano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 78-85.

RESUMEN

Los cambios en los usos del suelo de un área forestal a un sistema agrario tienen consecuencia en algunas propiedades del suelo, y de manera directa en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS). El objetivo de la investigación fue comparar los niveles de COS almacenados en tres profundidades en dos usos del suelo. Para esto, se seleccionaron dos usos de suelo, uno con incidencia antrópica (banano) y un área forestal (bosque secundario), donde se delimitó parcelas de 25x25 m. En cada parcela se construyeron fosas de 1x1 m de donde se extrajeron muestras de suelo desde 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm de profundidad, para determinar varias propiedades fisicoquímicas. Las clases texturales fueron: franco arenoso (banano) y franca (área forestal). El valor máximo de densidad aparente (Da) fue 1,49 g/cm³ (0-10 cm) en el uso de suelo banano, mientras en área forestal fue de 1,36 g/cm³ (20-30 cm). El promedio de carbono orgánico (CO) por cada profundidad fue superior en el área forestal donde se registró un rango de 2,83 % (0-10 cm) a 0,69% (20-30 cm) de CO. Se determinó diferencia significativa entre los niveles de COS almacenado por uso de suelo y profundidad, siendo los promedios más altos: 29,83 Mg/h⁻¹ (área forestal; 0-10 cm), 11,67 Mg/ha⁻¹ (área forestal; 10-20 cm) y 11,43 Mg/ha⁻¹ (banano; 0-10 cm). Se descarta que el almacenamiento de COS esté relacionado de forma directa con la textura del suelo, pero se determinó una correlación negativa entre el COS y la Da.

Palabras clave:

Banano, área forestal, clase textural, densidad aparente.

ABSTRACT

The changes in land use between forest and agricultural systems have consequences on some soil properties, as well as directly on soil organic carbon (COS) storage. The aim of the research was to compare the levels of COS stored at three depths in two land uses. For this, it was necessary to select a land use with anthropogenic incidence (banana) and a forest area (secondary forest), where several plots of 25x25 m were delimited. In each plot, pits of 1x1 m were constructed from which soil samples were extracted from 0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm depth, to determine various physicochemical properties. The textural classes were: sandy loam (banana) and loam (forest area). The maximum value of bulk density (Bd) was 1.49 g/cm³ (0-10 cm) in the banana soil use, while in the forest area it was 1.36 g/cm³ (20-30 cm). The average organic carbon (OC) for each depth was higher in the forest area, where it ranged from 2.83% (0-10 cm) to 0.69% (20-30 cm) of OC. Significant differences were found between the levels of COS stored by soil use and depth, with the highest averages being: 29.83 Mg/h⁻¹ (forest area; 0-10 cm), 11.67 Mg/ha⁻¹ (forest area; 10-20 cm) and 11.43 Mg/ha⁻¹ (banana; 0-10 cm). COS storage was not directly related to soil texture, but a negative correlation was found between COS and Bd.

Keywords:

Banana, forest area, textural class, bulk density.

INTRODUCCIÓN

El cambio de los usos del suelo, de un paisaje forestal a un sistema agrario tiene impactos directo en el cambio climático (Lorenz & Lal, 2018). Este cambio se produce por el crecimiento constante de la población que ejerce presión sobre la provisión de alimentos (Barrezueta-Unda, et al., 2019). Entonces la gestión del recurso suelo resulta de mucha importancia, más aún cuando los sistemas agrarios utilizan con frecuencia fertilizantes y pesticidas para incrementar la productividad y controlar las plagas, estos insumos ocasionan un impacto negativo en las propiedades del suelo (Gaba, et al., 2015); así como, el incremento en la liberación de dióxido de carbono (CO₂) hacia la atmósfera (Lorenz & Lal, 2018).

El CO₂, es el principal gas efecto invernadero (GEI), y la agricultura aporta con un 25% de este gas emitido a la atmósfera (Ywih, et al., 2017). Por otro lado, acumular carbono orgánico (CO) en el suelo significa mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y paralelamente disminuir las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera (Barrezueta-Unda, 2021); característica particular de los suelos bajo uso forestal.

La disminución de bosques ubicados laderas de las montañas en las regiones tropicales y subtropicales que se convierten en tierra agrícola o de otros usos, son los más afectados en la capacidad para almacenar CO (Ywih, et al., 2017). Para lograr una acumulación del carbono orgánico del suelo (COS) en terrenos agrícolas, es necesario aumentar la cantidad de biomasa vegetal y con esto se incrementa los porcentajes de materia orgánica en el suelo (Barrezueta-Unda, 2021). Por tanto, es necesario estudiar las propiedades del suelo en relación con el almacenamiento de COS, en especial cuando cambian de un uso forestal a un sistema agrario, con la finalidad de contribuir con la disminución de las emisiones de CO₂ (Lorenz & Lal, 2018).

Por otro lado, el banano es una fuente de alimentación esencial para una gran parte de la población mundial. La producción anual de esta fruta a nivel mundial creció un 3,7% entre los años 2000 y 2015, pasando de 68,2 millones de toneladas a 117,9 millones de toneladas, respectivamente (Laskar, et al., 2020). En Ecuador, el banano es el principal producto de exportación, y en los últimos años el área bananera ha crecido hacia zonas forestales y se desconoce si este cambio en el uso de suelo tiene incidencia en el almacenamiento de COS (Barrera-León, et al., 2020).

En este contexto, es necesario establecer una comparación entre los usos de suelo antropogénicos y los naturales. Por lo tanto, la investigación tiene como objetivo comparar los niveles de COS almacenados en tres profundidades en un suelo cultivado con banano

bajo un modelo de agricultura orgánica y de un suelo en un área forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en el sitio Palo Marcado, parroquia El Progreso, zona rural del cantón Pasaje (provincia de El Oro, Ecuador). La zona se caracteriza por un clima tropical megatérmico con temperatura entre 19 a 27 °C, con precipitaciones anuales de 1500 mm. Los suelos de la parroquia El Progreso son de origen aluvial con predominio de las fracciones gruesas (arena y limo) y un pH ácido, clasificados dentro del orden Inceptisoles (Villaseñor, et al., 2015).

Selección y muestreo de los usos del suelo. Las características de los usos de suelos seleccionaron fueron:

Terreno cultivado con banano (*Musa spp.*) clon Lacatan, sobre un área de 15 ha la cual se maneja con un modelo de agricultura orgánica. El tiempo de uso del suelo fue de 15 años durante la investigación. La principal fuente nutricional es el estiércol bovino y de ave. Carece de sistema de riego, el control de maleza es mediante la roza manual y el control fitosanitario del hongo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) se realiza mediante aplicaciones quincenales con una bomba de motor empleando productos orgánicos de marcas comerciales. El terreno presenta una pendiente entre 3,14% a 16,18% con un micro-relieve irregular ubicado en la sección superior de la montaña a 500 msnm (Barrezueta-Unda, 2021).

El segundo suelo fue una zona forestal conformado por un bosque secundario, ubicada a 5 km del predio bananero, pero en la sección media de la montaña a 150 msnm. El área delimitada fue de 10 ha y estaba cubierta de árboles frutales dispersos de *Citrus limon*, *Citrus sinensis* y *Theobroma cacao L.*, y de otras especies arbóreas como: *Cordia alliodora*, *Pseudosamanea guachapele*, *Swietenia macrophylla*, *Inga sp* y *citronella mucronata*. El terreno tiene una pendiente que fluctúa entre 5,42% a 19%, al igual que en el suelo cultivado con banano se produce una forma del terreno convexa (Barrezueta-Unda, 2021).

Diseño de la investigación, el trabajo corresponde a un nivel de investigación relacional y a un diseño no experimental, debido a que no se modificaron las variables: propiedades del suelo fisicoquímicas y el COS almacenado en dos usos de suelo. El factor en estudio fue la profundidad de muestreo de suelo que fueron: 0-10 cm; 10-20 cm y 20-30 cm; capas en que se midió la cantidad de COS almacenado.

Para determinar el COS almacenado, en cada uso de suelo se delimitó parcelas de 25 x 25 m (banano=5

parcelas y forestal=4 parcelas). La ubicación de las parcelas fue seleccionadas al azar y estuvieron separadas a una distancia de 50 m entre sí.

Para la toma de muestras de suelo se utilizó el procedimiento recomendado por Barreuzeta-Unda, et al. (2019). En el centro de cada parcela se construyó una fosa de observación de 1 m de ancho y 1 m de largo por 0,5 cm de profundidad. Después, se procedió a tomar dos tipos de muestras cuyo procedimiento se detalla a continuación:

Primero se tomaron muestras de suelo inalteradas tomadas con un cilindro metálico de 5 x 10 cm para determinar la densidad aparente (D_a) por cada profundidad. Luego se pesaron en húmedo, y después secadas las muestras en horno a 105° C por 24 horas; con los resultados de la diferencia de peso se calculó (ecuación 1) la D_a .

$$D_a = \frac{PSN}{VCH} \quad (1)$$

Donde: D_a = densidad aparente (g/cm^3), PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro, VCH = Volumen de cilindro.

En los sitios donde se tomaron las muestras de D_a , también se tomaron aproximadamente 1 kg de muestra de suelo no disturbadas. Las muestras previo al análisis fueron secadas al ambiente, trituradas y tamizadas con una malla de 2 mm. A continuación, se determinó la propiedad física textura mediante el método de Bouyoucos. También se realizaron las determinaciones de las propiedades químicas: CO por el método de Walkley y Black, el pH y conductividad eléctrica (C.E) del suelo por medio de pasta de saturación relación 1:2.5 en un potenciómetro. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

Estimación almacenamiento de Carbono orgánico del suelo (COS)

Para establecer el volumen del suelo en $Mg\ ha^{-1}$, se utilizó la ecuación 2 para obtener los valores convertidos a Megagramos ($Mg\ h^{-1}$).

$$PVs\ (Mg\ ha^{-1}) = D_a \times Ps \times 10000 \quad (2)$$

Dónde: $PVs\ (Mg\ ha^{-1})$ = Peso del volumen de suelo, D_a = Densidad Aparente (g/m^3), Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo (cm), 10000 = Constante para transformar en megagramos.

El cálculo de carbono orgánico (CO) se multiplicó por el peso del suelo (PVs) en la ecuación 3.

$$CS\ (Mg\ ha^{-1}) = (PVs \times \% CO) / 100 \quad (3)$$

Dónde: $CS\ (Mg\ ha^{-1})$ = Carbono en el suelo, PVs = Peso del volumen de suelo, $\%C$ = porcentaje de C orgánico, analizados en laboratorio, 100 = Factor de conversión.

Análisis estadístico, para comparar los valores de las propiedades físicas y químicas, así como del COS almacenado se realizó un análisis descriptivo. En lo posterior se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y la prueba post-hoc HSD Tukey al 5% de significancia para los dos usos de suelos y las diferentes profundidades. También se realizó la matriz de correlación de Pearson entre la D_a , pH y el COS almacenado por profundidad; se utilizó estas variables debido a que son las más susceptibles a los efectos antropogénicos (Lorenz & Lal, 2018). Todas las operaciones estadísticas fueron realizadas en el programa SPSS versión 21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las propiedades físicas textura (limo, arena y arcilla) y de la D_a de los usos de suelo se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.-Estadística descriptiva de las propiedades físicas: arcilla, limo, arena y densidad aparente (D_a) por uso de suelo.

Propiedad	Profundidad	Banano				Área Forestal			
		Media	DS	Min	Max	Media	DS	Min	Max
Limo (%)	0-10	16,88	23,67	4,00	59,01	34,33	3,38	30,00	37,79
	10-20	17,24	12,97	3,93	37,51	27,76	4,13	22,00	31,37
	20-30	14,13	10,21	5,86	26,77	26,74	7,52	16,00	33,44

Arena (%)	0-10	59,30	23,44	18,71	76,00	36,63	4,77	32,00	42,00
	10-20	58,30	15,65	32,07	74,00	37,19	9,57	32,00	51,51
	20-30	56,63	14,15	38,14	71,86	38,19	7,62	32,00	49,30
Arcilla (%)	0-10	23,76	3,74	19,58	29,72	29,04	6,66	22,00	38,00
	10-20	24,46	5,69	17,65	30,42	35,06	12,47	17,12	46,00
	20-30	29,24	9,15	21,79	40,14	35,08	11,54	21,19	48,00
Da (g/cm ³)	0-10	1,41	0,11	1,22	1,49	1,05	0,12	0,89	1,17
	10-20	1,40	0,07	1,28	1,48	1,29	0,07	1,19	1,33
	20-30	1,40	0,07	1,31	1,47	1,29	0,07	1,21	1,36

Ds=desviación estándar, Min= mínimo; Max= máximo

En el uso de suelo banano los valores de limo, arena y arcilla de forma individual tuvieron alta variabilidad a medida que se profundizó en el perfil. En el caso de los porcentajes de arena los promedios oscilaron entre 59,30% (0-10 cm) a 56,63% (20-30 cm), pequeña variación en comparación con el rango mínimo 18,71% y máximo 76% obtenidos en la primera capa; diferencia que se acortó a medida que se profundizó en el muestreo. Igual variación en los rangos se observa en las tres profundidades de porcentajes de limo, (4,00%-59,01%; 3,93%-37,51%; 5,86%-26,77%), siendo la disminución de los promedios entre 16,88 % (0-10 cm) a 14,13% (20-30 cm). Por otra parte, los porcentajes de arcilla se incrementaron de 23,76% (0-10 cm) a 29,24 % (20-30 cm), siendo menor la variación de rangos mínimos y máximos. Los valores obtenidos permitieron clasificar los suelos en la clase textural franco arenosa (Tabla 2). La alta variabilidad de las fracciones limo, arena y arcilla en usos de suelo con banano también fue reportada por Villaseñor et al., (2015), en los primeros 30 cm del suelo.

Tabla 2. Clases texturales por uso de suelo.

Usos del suelo	Profundidad	Clase textural
Banano	0-10	Franco arenosa
	10-20	Franco arenosa
	20-30	Franco arenosa
Bosque	0-10	Franco
	10-20	Franco
	20-30	Franco

En el área forestal, el suelo tuvo una menor variación de los porcentajes de arena, limo y arcilla, en comparación con el suelo bananero. los valores más altos se registraron en los porcentajes de arena, con una oscilaron entre 36,63 % (0-10 cm) y 38,19 % (20-30 cm), mientras que la menor y la mayor variación de los rangos fue de 32,00% a 42,00% (0 cm-10 cm) y 32,00% a 51,51% (10-20 cm), respectivamente. Mientras que los promedios de limo fluctuaron entre 34,33% (0-10

cm) a 26,74% (20-30 cm), en esta fracción del suelo se obtuvo rangos de 30,00 % a 37,79 % (0-10 cm) y un Tabla 2. Clases texturales por uso de suelo máximo de 16,00 % a 33,44 % en la última capa. En el caso de los valores de arcilla aumentaron entre 29,04% a 35,08 % de 0-10 cm a 20-30 cm, respectivamente, también se observa un incremento de los rangos en las dos últimas capas. Con los valores obtenidos se clasificó los suelos en la clase textural franco (Tabla 2). Esta clase textural también fue reportada por Barrezueta-Unda et al., (2019), en suelos de bosque secundarios con pendiente menor a 20%.

Villaseñor, et al., (2015), indican que la alta variabilidad en los porcentajes de limo, arena y arcilla en suelos de origen aluvial del orden inceptisol es producto de su evolución geológica, debido a que la meteorización de la roca madre es reciente. Por tanto, existe un predominio de la fracción granulométrica arena en los primeros 30 cm (Moreno, et al., 2016).

El análisis estadístico de la Da indicó valores muy homogénea en el suelo bananero, con una oscilación entre 1,40 g/cm³ (0-10 cm) a 1,41 g/cm³(20-30 cm), con un rango de máximo de 1,22 g/cm³ a 1,49 g/cm³. En investigaciones previas realizadas en suelos bananeros de la provincia El Oro también se reportan valores similares de Da por Chabla-Carrillo, et al., (2019), así como, en pasto y cacao de entre 1,20 g/cm³ a 1,50 g/cm³ (Barrezueta-Unda, et al., 2019).; ambas investigaciones relacionan la Da a la clase texturales dominantes, en este caso los valores de Da en el uso de suelo banano están asociados a la clase textural franco arenosa (United States Department of Agriculture, 1999) simplemente, como la "capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo". En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades del suelo para estimar la capacidad del suelo de realizar funciones básicas (por ej. mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes.

Los valores de Da determinados en el suelo bajo uso forestal variaron entre 1,05 g/cm³ a 1,29 g/cm³, siendo el valor mínimo de 0,89 g/cm³ determinado en el primer horizonte y el máximo valor de 1,36 g/cm³ en la

mayor profundidad, oscilación que se relaciona a los porcentajes de arena que disminuyeron en la última capa. Valores que están relacionados con el mayor contenido de arcilla (United States Department of Agriculture, 1999) simplemente, como la “capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo”. En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades del suelo para estimar la capacidad del suelo de realizar funciones básicas (por ej. mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tampónar contra contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes, y similares a los obtenidos Nabiollahi, et al. (2019), también en un bosque secundario de clase textural franca y que fluctuaron entre 0,90 g/cm³ a 1,27 g/cm³, hecho que los autores relacionan a la mayor acumulación biomasa (aérea y radicular), la cual se transformó en materia orgánica, y que contribuye a la formación de agregados que de forma indirecta incide en los niveles de Da en los suelos.

La tabla 3, presenta la estadística descriptiva por uso de suelo de las propiedades químicas CO, pH y CE.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las químicas: carbono orgánico (CO), pH y conductividad eléctrica (C.E) por uso de suelo.

Propiedad	Profundidad	Banano				Área Forestal			
		Media	DS	Min	Max	Media	DS	Min	Max
CO (%)	0-10	2,33	0,54	1,56	2,84	2,83	0,43	2,32	3,24
	10-20	1,59	1,05	0,56	3,24	0,91	0,30	0,52	1,24
	20-30	0,29	0,30	0,08	0,80	0,69	0,40	0,32	1,24
pH	0-10	6,26	0,95	5,66	7,93	5,56	0,36	4,63	7,31
	10-20	5,99	1,07	4,38	7,38	5,17	0,61	5,24	6,08
	20-30	5,90	0,98	4,53	5,50	4,89	0,45	4,77	6,05
CE (dS/mm)	0-10	0,21	0,07	0,14	0,31	0,21	0,11	0,11	0,34
	10-20	0,13	0,14	0,04	0,37	0,09	0,05	0,06	0,16
	20-30	0,04	0,04	0,01	0,11	0,06	0,01	0,04	0,07

Los valores de CO en el suelo bananero variaron mayor a menor desde la superficie a la última capa de la siguiente forma: 2,33 %, 1,59 % y 0,29 % de CO. Mientras en el área forestal la variación fue de: 2,83 %, 0,91 % y 0,69 % de CO. Cuervo-Barahona, et al. (2016), explican que los valores de CO disminuyen a medidas que se profundiza en el perfil debido al aporte de la hojarasca, a la producción y la exudación de raíces, las cuales, que una vez en el suelo se metabolizan y son mineralizadas por los microorganismos en los primeros 15 cm. Por otra parte, los valores en los primeros 10 cm de profundidad en los dos usos del suelo son próximos a los obtenidos por Carvajal, et al. (2009), y deduce que valores entre 2% a 5% de CO en suelos cultivados es por la fertilización química con nitrógeno, la cual favorece la asimilación de Amonio por parte de las plantas, estimulando la producción de biomasa que posteriormente retorna al suelo y contribuye con los depósitos de materia orgánica.

Los valores obtenidos del pH permitieron establecer diferencias entre los usos del suelo sólo entre 0 a 10 cm. En el caso del uso de suelo banano se registró un promedio de 6,26 (neutralidad del suelo) y en el suelo del área forestal el pH fue 5,56 (acidez del suelo). Desde la segunda capa, los valores descendieron hasta un pH de 5,90 (uso de suelo banano) y 4,89 (uso de suelo área forestal), valores que indican acidez de los suelos (Pérez & Rodríguez, 2019). Esta característica está relacionada con metales como hierro, magnesio o cobre, los cuales se encuentran en altas concentraciones en suelos de montaña en la provincia de El Oro (Villaseñor, et al., 2015; Sversut, et al., 2018), los cuales en condiciones de acidez del suelo están disponibles para las plantas. Por otra parte, cuando los porcentajes de CO bajan el pH tiende hacia la acidez, por tanto, la actividad microbiana desciende afectando la retención de CO₂ en el suelo (Zhou, et al., 2018; Barrezueta-Unda, et al., 2019).

Por otra parte, los valores de C.E no mostraron variaciones en la capa superficial, pero si descendieron a 0,04 dS/mm y 0,06 dS/mm para banano y el área forestal, respectivamente. Esta propiedad química tiene relación directa con los contenidos de CO y pH del suelo, si los valores de estas propiedades tienen un descenso también influyen en los niveles bajos de CE. Beer, et al. (1990), explican que en suelos de las regiones tropicales debido a la presencia prolongada de humedad se produce el consecuente lavado de bases de K, Ca, Mg, Na; por tanto, el valor de la CE desciende y junto con los valores de pH.

Los niveles de COS almacenado se presentan en la figura 1. El análisis de varianza indicó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los usos de suelo por profundidad. Al realizar la prueba HSD Tukey al 5%, se conformaron cuatro subconjuntos, en este caso el mayor valor corresponde a la primera capa del suelo en el área forestal con $29,83 \text{ Mg/h}^{-1}$, seguido por los valores de $11,67 \text{ Mg/ha}^{-1}$ y $11,43 \text{ Mg/ha}^{-1}$ de la segunda capa de los suelos en el área forestal y banano respectivamente. La segunda capa del suelo cultivado de banano y las capas de entre 20-30 cm en ambos suelos muestran un rango de $8,91 \text{ Mg/ha}^{-1}$ de COS (área forestal) a $1,08 \text{ Mg/ha}^{-1}$ de COS (banano).

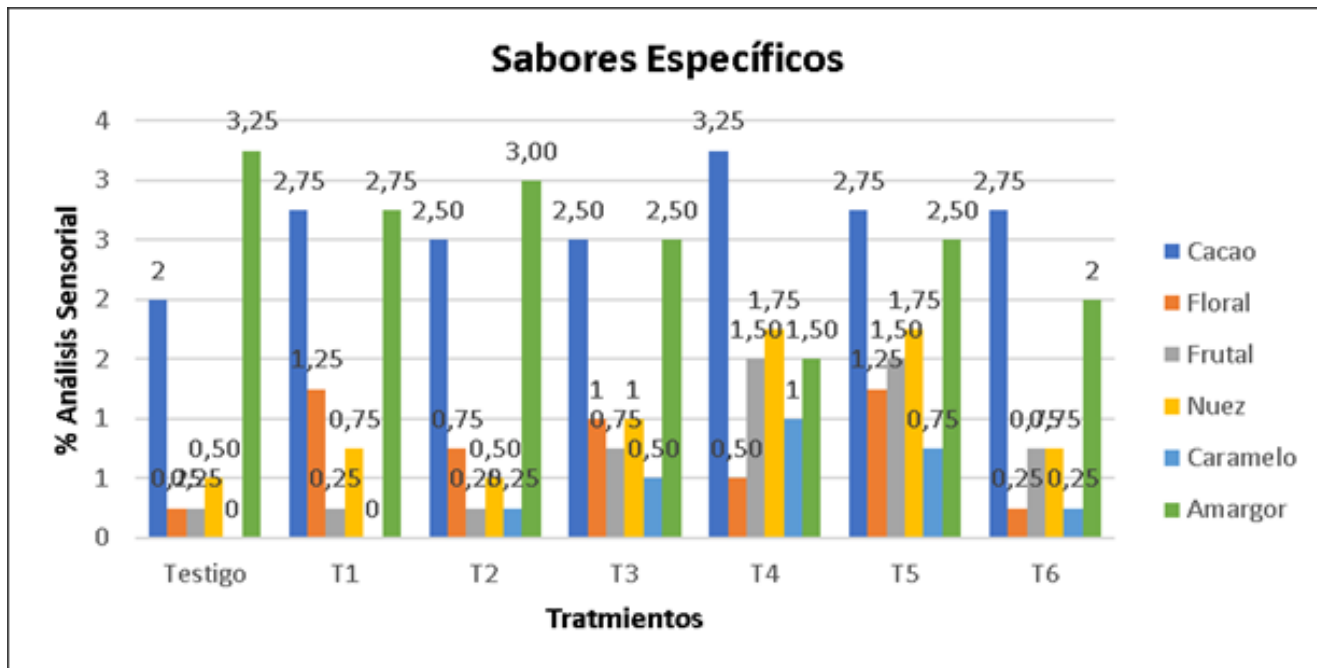


Figura 1. Test de Tukey ($p > 0,05$) por uso de suelo de los niveles de carbono orgánico almacenado (COS).

Al comparar los niveles de COS almacenados con otras investigaciones, estos fueron superiores a los obtenidos en plantaciones bananeras de Los Ríos, Guayas y El Oro por (Ortiz-Ulloa, et al., 2021), donde obtuvo medias de COS entre: $4,18 \text{ Mg/ha}^{-1}$, $5,44 \text{ Mg/ha}^{-1}$ y $5,13 \text{ Mg/ha}^{-1}$, respectivamente. Por otra parte, Guimaraes et al., (2014) reportan valores de $22,8 \text{ Mg/ha}^{-1}$ de COS en los primeros 10 cm de profundidad en suelos bananeros bajo un manejo orgánico, siendo el aporte de la biomasa la causa del alto nivel de COS. En el caso del banano ecuatoriano se reportó un aporte de biomasa entre 3,79 ton a 2,65 ton de biomasa seca la cual está constituida en un 78% por la hoja y el 12% por el pseudotallo y el cormo del banano (Ortiz-Ulloa, et al., 2021).

Los valores de COS determinados en otras investigaciones fluctuaron en los suelos forestales en la provincia de El Oro entre $36,30 \text{ Mg/ha}^{-1}$ a $37,64 \text{ Mg/ha}^{-1}$ en los primeros 10 cm del suelo y desciende a $1,34 \text{ Mg/ha}^{-1}$ a los 30 cm de profundidad (Barrezueta-Unda, et al., 2019). En esta investigación, los niveles son altos en el área en estudio entre 20-30 cm, los cuales pueden ser atribuidos a la cantidad de biomasa acumulada y por la actividad microbiana característicos de suelos tropicales de montaña que lixivian parte del CO recalcitrante a profundidades mayores a 30 cm de profundidad (Leuschner, et al., 2013). En este contexto, Barrezueta-Unda, et al. (2019), reportan una relación positiva del COS y el pH del suelo entre 6,0 a 5,5 con la flora bacteriana; explicado que a mayor actividad microbiana que fija CO mayor COS almacenado, observación reportada en un suelo bajo uso de bosque secundarios en la provincia de El Oro. Aunque en la investigación no se realizó una medición de la flora bacteriana el pH extremadamente ácido desde los 10-20 cm en adelante pudo incidir en que los niveles de COS sean afectados.

La matriz de Pearson (tabla 4), muestra una alta correlación negativa entre el almacenamiento de COS y la Da ($-0,592^{**}$), también se observa similar correlación entre la profundidad y el pH ($-0,537^{**}$), y una baja correlación negativa entre la Da y la profundidad del muestreo ($-0,454^*$). Estos resultados interpretan que a mayor Da los niveles de COS disminuye, en el caso del suelo bananero la clase textural franco arenosa influyó en los valores de Da como lo detallan Chabla-Carrillo, et al. (2019). Por otra parte, los niveles de COS producto del aporte de la biomasa tiene relación con la cohesión de partículas que ejerce la materia orgánica adicionada al suelo, sin embargo, en los suelos francos el nivel de COS es alto en la capa superior y desciende de forma no tan abrupta entre 20 cm a 30 cm de profundidad, como sucedió en otros estudios (Leuschner, et al., 2013; Barrezueta-Unda et al., 2019).

Tabla 4. Matriz de Correlación de Pearson.

Correlación de Pearson	Profundidad	Da (g/cm ³)	COS almacenado (Mg/ha-1)	pH
Profundidad	1	-0,454*	0,160	-0,537**
Da (g/cm ³)	-0,454*	1	-0,592**	0,370
COS almacenado (Mg/ha-1)	0,160	-0,592**	1	0,040
pH	-0,537**	0,370	0,04	1

CONCLUSIONES

Los niveles de COS fueron diferentes en cada uso del suelo y por cada profundidad en estudio. El mayor porcentaje arena con respecto al resto de fracciones del suelo y a un pH neutro en la primera capa en el cultivo de banano pudo incidir en una mayor Da y un nivel medio de CO, respectivamente; aunque los niveles de COS no superaron a los obtenidos en el suelo bajo uso forestal (bosque secundario), donde la acumulación de CO fue mayor en las dos primeras capas.

Se descarta que el almacenamiento de COS esté relacionado de forma directa con la textura del suelo, pero se determinó una correlación negativa entre el COS y la Da. Se recomienda seguir con mediciones de COS en diferentes periodos, a mayor profundidad para establecer correlaciones entre el tiempo de uso de los suelos y el almacenamiento de COS por uso de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrera León, J., Barrezueta Unda, S., & García Batista, R. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 182–190.

Barrezueta-Unda, S. (2021). Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Ciencia UNEMI*, 14(35), 43–53.

Barrezueta-Unda, S., Velepucha-Cuenca, K., Hurtado-Flores, L., & Jaramillo-Aguilar, E. (2019). Soil properties and storage of organic carbon in the land use pasture and forest. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(2), 31–45.

Beer, J., Bonnemann, A., Chavez, W., Fassbender, H. W., Imbach, A. C., & Maertel, I. (1990). Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laures (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 12, 229–249.

Carvajal, A., Feijoo, A., Quintero, H., & Rondón, M. (2009). Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Rev. Cienc. Suelo Nutr.*, 9(3), 222–235.

Chabla-Carrillo, J., Vidal-Vázquez, E., Barrezueta-Unda, S., & Bustamente-Leon, M. (2019). Determinación del intervalo Hídrico Óptimo en un suelo Inceptisol bananero, bajo sistemas de riego. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 38–44.

Cuervo-Barahona, E., Cely-Reyes, G., & Moreno-Perez, D. (2016). Determinación de las fracciones de carbono orgánico en el suelo del páramo La Cortadera, Boyacá. *Ingenio Magno*, 7(2).

Gaba, S., Lescourret, F., Boudsocq, S., Enjalbert, J., Hinsinger, P., Journet, E.-P., Navas, M.-L., Wery, J., Louarn, G., Malézieux, E., Pelzer, E., Prudent, M., & Oziere-Lafontaine, H. (2015). Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 607–623.

Guimaraes, D. V., Gonzaga, M. I. S., & Melo Neto, J. de O. (2014). Management of soil organic matter and carbon storage in tropical fruit crops. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 18(3), 301–306.

Laskar, S. Y., Sileshi, G. W., Nath, A. J., & Das, A. K. (2020). Allometric models for above and below-ground biomass of wild *Musa* stands in tropical semi evergreen forests. *Global Ecology and Conservation*, 24.

Leuschner, C., Moser, G., Hertel, D., Erasmi, S., Leitner, D., Culmsee, H., Schuldt, B., & Schwendenmann, L. (2013). Conversion of tropical moist forest into cocoa agroforest: consequences for carbon pools and annual C sequestration. *Agroforestry Systems*, 87(5), 1173–1187.

Lorenz, K., & Lal, R. (2018). Carbon Sequestration in Cropland Soils. En, *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems*. Springer International Publishing.

Moreno, J., Sevillano, G., Valverde, O., Loayza, V., Haro, R., & Zambrano, J. (2016). Soil from the Coastal Plane. En, J. Espinosa, J. Moreno, & G. Bernal (Eds.), *The Soils of Ecuador*. (pp. 1–195). Springer International Publishing.

Nabiollahi, K., Eskandari, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., & Triantafyllis, J. (2019). Assessing soil organic carbon stocks under land-use change scenarios using random forest models. *Carbon Management*, 10(1), 63–77.

- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa* spp.) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research International*, *28*(15), 18741–18753.
- Pérez Iglesias, H. I., & Rodríguez Delgado, I. (2019). Sequestro de carbono por el suelo en agroecosistemas tropicales muy secos de la provincia El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, *7*(2), 125-131.
- Sversut Barbieri, R., Lossavaro de Almeida, E., Bandeira, D. H., Barrezueta-Unda, S., Chabla-Carrillo, J. E., Montanari, R., & Paz-González, A. (2018). Evaluation of the spatial distribution of selected soil attributes in the El Oro Province, Ecuador. (Ponencia). *21 World Congress of Soil Science*. Rio de Janeiro, Brazil.
- United States Department of Agriculture. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. USDA-NRCS.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*, *1*(2), 28–34.
- Ywih, H., Amiera, M., Ibrahim, B., Othman, S. B., & Young Liew, J. (2017). Assessment of soil carbon storage between secondary forest and banana plantation. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, *3*(4), 371–376.
- Zhou, Z., Wang, C., & Luo, Y. (2018). Effects of forest degradation on microbial communities and soil carbon cycling: A global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography: A Journal of Macroecology*, *27*(1), 110–124.