

15

Fecha de presentación: diciembre, 2020

Fecha de aceptación: febrero, 2021

Fecha de publicación: marzo, 2021

SECUESTRO DE CARBONO

POR EL SUELO Y SUS FRACCIONES EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES DE LA REGIÓN COSTA ECUATORIANA

CARBON SEQUESTRATION BY SOIL AND ITS FRACTIONS IN TROPICAL AGROECOSYSTEMS OF THE ECUADORIAN COASTAL REGION

Hipólito Israel Pérez Iglesias¹

E-mail: hperez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-8716>

Irán Rodríguez Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Rigoberto Miguel García Batista¹

E-mail: rmgarcia@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Pérez Iglesias, H. I., Rodríguez Delgado, I., & García Batista, R. M. (2021). Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 141-149.

RESUMEN

Con el objetivo de evidenciar la influencia de agroecosistemas tropicales (maíz, pastos, cacao, banano y bosque) ubicados en la región costa de Ecuador en los porcentajes de carbono total secuestrado por el suelo, y sus fracciones gruesa y ligera. El secuestro de carbono en el suelo es la remoción del carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia orgánica estables y de larga vida en el suelo. Se determinó la cantidad total de carbono orgánico del suelo y las fracciones gruesas y ligeras por el método de Walkley-Black. El uso del suelo influye en el contenido de COT, los cinco agroecosistemas estudiados presentan valores diferentes en el secuestro de carbono. El suelo del cultivo de maíz obtuvo los valores más bajos, debido al exceso de labranza al que es sometido y textura arenosa; mientras los demás agroecosistemas mostraron mayor cantidad de carbono, correspondiendo al bosque los contenidos más altos. El agroecosistema de pasto, donde no se labra el terreno, presenta valores (aunque superiores) similares al maíz, debido posiblemente al sobre pastoreo a que es sometido. Las fracciones ligeras y gruesas de carbono del suelo presentaron una distribución similar al carbono total.

Palabras clave: Carbono orgánico total del suelo, fracción gruesa, fracción ligera, degradación, región costa de Ecuador.

ABSTRACT

With the objective of evidencing the influence of tropical agro-ecosystems (corn, pasture, cocoa, banana and forest) located in the coastal region of Ecuador on the percentages of total carbon sequestered by the soil, and its coarse and light fractions. Soil carbon sequestration is the removal of carbon from the atmosphere through plant photosynthesis and its storage as stable and long-lived forms of organic matter in the soil. The total amount of organic carbon in the soil and the coarse and light fractions were determined by the Walkley-Black method. Soil use influences the TOC content, the five agro-ecosystems studied show different values in carbon sequestration. The soil of the maize crop obtained the lowest values, due to the excess of tillage to which it is subjected and sandy texture; while the other agroecosystems showed greater amount of carbon, corresponding to the forest the highest contents. The pasture agroecosystem, where the land is not tilled, shows similar values (although higher) to corn, possibly due to the overgrazing to which it is subjected. The light and heavy fractions of soil carbon showed a distribution similar to the total carbon.

Keywords: Total soil organic carbon, coarse fraction, light fraction, degradation, coastal region of Ecuador.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas más investigados actualmente es el problema del cambio climático y sus consecuencias para la economía mundial. Para la comunidad científica internacional, el cambio climático es una de las preocupaciones más importantes que existen hoy en día, pues sus consecuencias pueden afectar la economía mundial, el ambiente y la salud de la población; problemas derivados de un inadecuado manejo por el hombre del ciclo del carbono, pues el carbono presente en los yacimientos de petróleo, en la biomasa de muchos bosques naturales que se han eliminado para el desarrollo de la agricultura y la ganadería, además, el desarrollo productivo de los sistemas agrícolas, con alto uso de la mecanización y productos químicos, han contribuido a la emisión del carbono a la atmósfera. Vela et al. (2012) establecieron que el 25% del dióxido de carbono (CO_2) emitido a la atmósfera durante los últimos 25 años, ha sido originado por los cambios efectuados en el uso del suelo, inducidos por la expansión de la agricultura y la ganadería.

El calentamiento global, como resultado del constante aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera, ha sido uno de los temas interdisciplinarios más debatidos que enfrenta la sociedad mundial y que trae consigo el incremento de la temperatura media del planeta, como consecuencia del aumento, de origen antrópico, de los gases de efecto invernadero (GEI), sobre todo el CO_2 , gas metano (CH_4) y óxido de nitrógeno (N_2O), en cuya dinámica, el suelo como almacén de carbono orgánico, ejerce una función clave (Orellana, et al., 2012).

El cambio climático global, guarda una clara relación con procesos de naturaleza antrópica que, a su vez, se entrelazan con los modelos de desarrollo que dominan en el mundo, en estas circunstancias, dicho cambio representa uno de los mayores problemas ambientales que la sociedad mundial deberá resolver para velar por la continuidad de la vida en el planeta Tierra.

Frente al problema global del cambio climático, el suelo y su componente biorgánico, pueden contribuir a mitigar el cambio climático, en la medida en que se racionalice el uso del suelo y se preserve el carbono orgánico del mismo, mediante prácticas de manejo idóneas que inclinen la balanza a favor de la fijación o secuestro de carbono, antes que a la salida del carbono del sistema suelo, con la consiguiente formación de GEI. Por tanto, resulta indispensable contar con soportes científicos que apoyen la conservación del recurso suelo y las funciones ambientales que este cumple en la naturaleza, a fin de garantizar de forma sostenida la seguridad alimentaria de una población que crece constantemente (Burbano, 2018).

La agricultura no sólo es responsable de una parte importante de las emisiones de GEI, sino que también puede contribuir a su mitigación, a través del secuestro de carbono atmosférico, como carbono orgánico en los suelos; mediante la remoción del carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia orgánica estables y de larga vida en el suelo.

Para alcanzar niveles aceptables de CO_2 en la atmósfera es necesario la implementación articulada de acciones mitigantes; entre las que se encuentran; mejorar la eficiencia en la generación de energía; reemplazar fuentes de energía por otras con menores niveles de emisión de CO_2 y aplicar prácticas agrícolas que permitan almacenar CO_2 en el suelo (Santibáñez, 2014).

La composición de cualquier agroecosistema se encuentra integrada por componentes bióticos y abióticos; componentes que interrelacionan de forma compleja y dinámica. Los abióticos (suelo, agua, luz solar, temperatura, humedad, aire) inciden directamente en el crecimiento y desarrollo de los vegetales, los cuales realizan el proceso de fotosíntesis o transformación del carbono inorgánico a carbono orgánico, de este modo los sistemas de producción agrícolas, agroforestales y agropecuarios, constituyen importantes reservorios de carbono orgánico, sin embargo, los agroecosistemas se sustentan y desarrollan en el suelo, del cual se nutren y transforman (degradan o conservan, según el manejo); por lo que, el suelo constituye un importante material que secuestra carbono, acción que mitiga la emisión de GEI a la atmósfera y el calentamiento global.

En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben principalmente a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica. Las pérdidas de suelo por erosión van de 1 a 10 t/ha/año, y en casos extremos hasta 50 t/ha/año (Hernández, et al., 2014).

En las tierras cultivadas, la labranza es la práctica más importante que puede tener un efecto considerable sobre la existencia de carbono, ya sea negativo cuando se usan los métodos convencionales o positivos cuando se aplica la labranza de conservación. En el caso de la labranza de conservación, muestra un rango de variación de la captura de carbono de 0,1 a 0,2 t ha⁻¹ en las regiones semiáridas y de 0,2 a 0,5 t ha⁻¹ en las regiones tropicales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2002).

Las zonas tropicales húmedas y semihúmedas son altamente productivas, pero están propensas a la degradación de los suelos, por lo que son vulnerables al cambio climático. Muchos son los trabajos de investigación que

se han realizado para determinar la cantidad de carbono que pueden secuestrar los bosques, los cultivos, los pastos, mediante el proceso de fotosíntesis, sin embargo en el caso de Ecuador, no abundan trabajos que traten sobre la cantidad de carbono que puede almacenar el suelo bajo diferentes agroecosistemas de producción y establecer prácticas de manejo agronómico que contribuyan al secuestro de carbono y así evitar, la degradación de ese importante recurso natural, patrimonio universal de la humanidad, que es el suelo.

Se ha considerado a los suelos como un sumidero de carbono, debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg a 1 m de profundidad y 2456 Pg a 2 m de profundidad) e inorgánica (1700 Pg), la cual sobrepasa considerablemente la que presentan la vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) (International Geosphere-Biosphere Programme, 1998).

Acumular carbono orgánico en el suelo, significa mejorar las propiedades de los suelos y su capacidad para producir biomasa y paralelamente disminuir la contaminación de la atmósfera y la hidrósfera con compuestos de carbono (Pérez, et al., 2015).

El objetivo de la investigación fue evidenciar la influencia de agroecosistemas tropicales (maíz, pastos, cacao, banano y bosque) ubicados en la región costa de Ecuador en los porcentajes de carbono total secuestrado por el suelo, y sus fracciones gruesa y ligera.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la granja Santa Inés, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, perteneciente a la Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5.5 de la vía Machala-Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador; en las coordenadas UTM 620701 latitud sur y 9636128 latitud oeste, a una altitud de 5 msnm (Figura 1). La zona de estudio según los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador (2015), presenta una temperatura media anual de 25°C, precipitación media anual de 427 mm. De acuerdo a las zonas de vida natural de Holdridge se clasifica dentro de la formación de bosque muy seco-Tropical (bms-T)

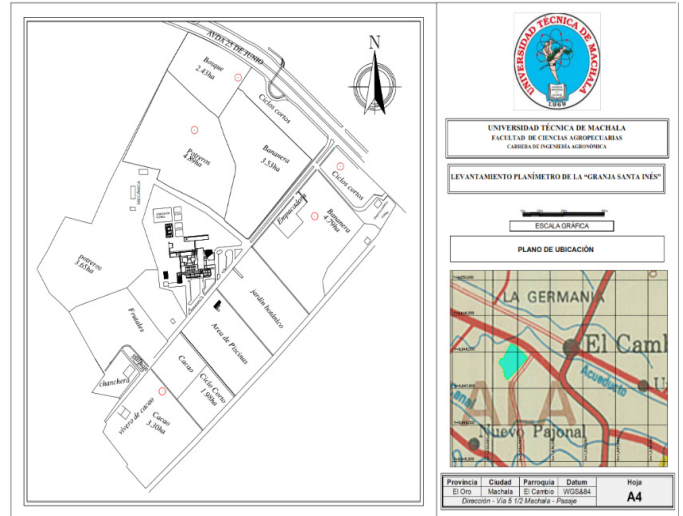


Figura 1. Puntos permanentes de muestreo utilizados para la toma de muestras de suelo en los agroecosistemas seleccionados en la granja Santa Inés.

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron cinco agroecosistemas (área de cultivos de ciclo corto con maíz, pastos, cacao, banano y un bosque secundario (Figura 2).

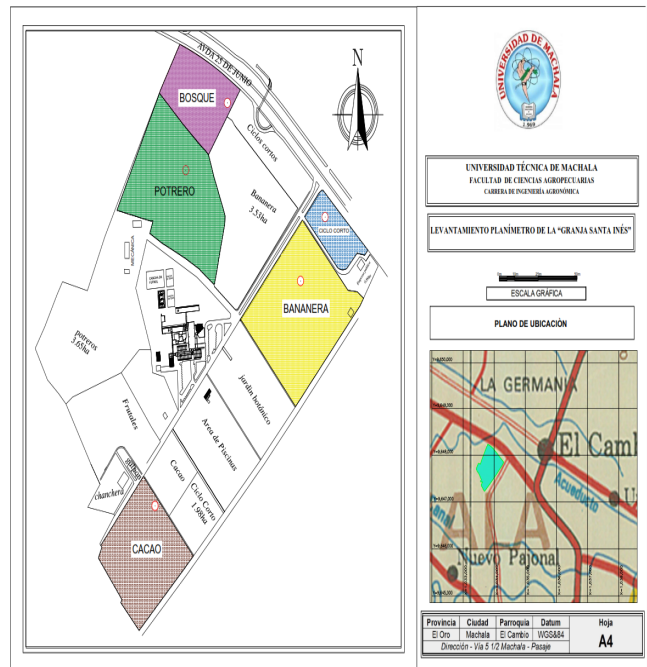


Figura 2. Ubicación de los cinco agroecosistemas seleccionados para el estudio en la granja Santa Inés.

En cada agroecosistema seleccionado se estableció de forma aleatoria un punto permanente de muestreo, donde se abrieron tres calicatas para realizar la toma de

muestras a tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) del suelo (Figura 3). La muestra de suelo enviada al laboratorio de suelos fue de 1 kg y fue previamente homogeneizada y etiquetada doblemente.



Figura 3. Toma de muestras en las tres profundidades de suelo con el empleo de pala.

Las determinaciones del contenido de carbono orgánico total y sus fracciones se realizaron por el método de combustión húmeda descrito por Walkley-Black. La interpretación del contenido de COT del suelo se realizó según la clasificación agronómica establecida por Rodríguez & Rodríguez (2015) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación agronómica para la interpretación de los niveles de carbono orgánico total del suelo.

Carbono orgánico total	Clasificación agronómica
< 0.35	Muy bajo
0.35 - 1.05	Bajo
1.05 - 2.30	Mediano
2.30 - 3.50	Alto
>3.50	Muy alto

Fuente: Rodríguez & Rodríguez (2015).

La separación de las fracciones gruesa y ligera de carbono orgánico del suelo se realizaron con la técnica descrita por Arzola & Machado (2013).

Para conocer si existe o no diferencias estadísticas significativas entre los agroecosistemas de maíz, pastos, cacao, banano y bosque en función del porcentaje de carbono orgánico total, fracción gruesa de carbono y fracción ligera de carbono se realizó un análisis de varianza de un factor intergrupos, segmentado para las tres profundidades del suelo (0-15, 15-30 y 30-45 cm). Previamente se verificó el cumplimiento de los requisitos de normalidad de datos, independencia de observaciones y homogeneidad de varianzas. Cuando se presentaron diferencias estadísticas entre los agroecosistemas estudiados se ejecutaron pruebas post hoc (Scheffe) con la finalidad de determinar entre que cultivo se encuentran diferencias o similitudes.

El análisis de datos se efectuó con el programa estadístico SPSS versión 24 de prueba para Windows con una confiabilidad de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de carbono orgánico total (COT) del suelo en los cinco agroecosistemas, presenta valores diferentes estadísticamente en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, lo que indica que el uso del suelo tiene una marcada influencia en el secuestro de carbono. El bosque acumula el mayor porcentaje de carbono, con valores que varían entre 2.75, 1.74 y 1.08% en las profundidades de 0-15, 15-30 y 30-45 cm respectivamente; este sistema de producción presenta diferencias significativas en las tres profundidades con el sistema productivo de maíz; siendo este agroecosistema donde se registran los valores más bajos. Los cultivos de pastos, cacao y banano muestran un contenido intermedio entre el maíz y el bosque en la segunda profundidad, sin diferencias significativas con ambos agroecosistemas, mientras que en 30-45 cm se registran los valores más bajos en todos los sistemas de producción, el bosque presenta el valor más alto con 1.08% y el maíz el más bajo con 0.29%, aunque no difieren estadísticamente. En los cinco agroecosistemas el porcentaje de COT del suelo disminuye a medida que se profundiza en el perfil (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de los agroecosistemas de maíz, pastos, cacao, banano y bosque en el porcentaje de COT del suelo a tres profundidades del perfil.

Profundidad en el perfil de suelo (cm)	Maíz	Pastos	Cacao	Banano	Bosque
	Carbono orgánico total (%)				
0-15	0.59a	1.89b	2.21b	2.68b	2.75b
15-30	0.43a	1.04ab	1.01ab	1.28ab	1.74b
30-45	0.29a	0.61a	0.45a	0.65a	1.08ab

*Letras diferentes, entre agroecosistemas dentro de cada profundidad del suelo, difieren estadísticamente para un p-valor < 0.05.

El hecho de que el agroecosistema de maíz presente el menor porcentaje de COT, se debe fundamentalmente al exceso de labranza, al tratarse de un cultivo de ciclo corto, mientras los sistemas de producción como el banano, cacao y el bosque son cultivos perennes, que tienen más de 30 años de establecidos, donde se acumula las ramas y hojas que después de descompuestas devuelven al suelo la materia orgánica, así como el resto de los nutrientes que contienen estos residuos. Sin embargo, el sistema de pastos es sometido a pastoreo, motivo por el cual presenta valores de COT del suelo, aunque superiores, más cercanos a los del agroecosistema de maíz.

El COS determina la calidad del suelo en la medida en que participa en procesos bioquímicos y físicos que posibilitan la presencia de biomasa aérea y subterránea, que también actúa como reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres (Fuentes, et al., 2012).

Pulido, et al. (2010), plantean que el COT en suelos que se encuentran en uso agrícola es menor que en suelo de bosque secundario, lo cual está relacionado a una mínima proporción de materia orgánica o restos vegetales, pero puede diferir según las condiciones del bosque donde existe variedad de plantas con diferente ciclo de senescencia.

Sin embargo, Vásquez & Macías (2016), encontraron que el contenido de COT del suelo en el cultivo de banano (1.84%) fue superior al de bosque (1,76%), estos autores consideran que esto se debe al aporte de materia orgánica vegetal que realiza el cultivo del banano. Ambos valores de COT fueron inferiores a los obtenidos en el presente trabajo 2.68% para el banano y 2.75% en el bosque.

El contenido de COT del suelo en los agroecosistemas de banano y bosque se encuentra en la categoría de alto en la capa de 0-15 cm, mientras el cultivo de pastos a esa profundidad es de contenido mediano. El banano y el bosque a la profundidad de 15-30 cm son de categoría media y en el cultivo de pastos es bajo. A la profundidad de 30-45 cm el cultivo de pastos y el banano clasifican como bajo y el bosque con medio contenido de COT.

Las actividades agrícolas afectan principalmente la reserva de COS. Adicionalmente, la degradación del carbono en el suelo lleva a importantes pérdidas en la calidad del suelo y representa una amenaza para los sistemas de producción agrícola y seguridad alimentaria. Al asegurar la sustracción neta del dióxido de carbono de la atmósfera hacia el suelo, se incrementa la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Verhulst, et al., 2015).

Resultados obtenidos por Muhammad, et al. (2006), sobre el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, en diferentes usos de la tierra, en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, mostraron que las pasturas degradadas fueron

donde se almacenó menos carbono total, mientras el suelo de los bosques fue donde se almacenó mayor cantidad de carbono total. Las actividades de manejo, tanto para la producción animal como el aprovechamiento forestal, también afectaron el secuestro de carbono.

El suelo del agroecosistema de maíz en las tres profundidades evaluadas (0-15, 15-30 y 30-45 cm) presenta una textura arenosa, con valores de 45.33, 49.10 y 53.10% respectivamente, lo cual guarda estrecha relación con el bajo contenido de COT que presenta el suelo de este sistema agroproductivo, comprobándose que el suelo presenta mayor degradación, por el exceso de labranza a que es sometido, por tratarse el maíz de un cultivo de ciclo corto. En el resto de los agroecosistemas predominan las texturas entre limo y arcilla y en sentido general presentan menor degradación, que el suelo bajo cultivo de maíz, debido a que son cultivos perennes, donde la labranza es mínima o tiende a cero, manteniéndose la superficie del suelo protegida con cobertura vegetal, además la hojarasca y las ramas al descomponerse aportan materia orgánica y nutrientes la suelo, que mejoran la fertilidad física, química y biológica, lo cual se manifiesta por un mayor contenido de COT del suelo (Tabla 3). Se demuestra lo obtenido por Figuera, et al. (2011), quienes definieron que la diferencia en la textura del suelo ejerce marcada influencia en el contenido de las fracciones gruesa y ligeras de carbono orgánico.

Tabla 3. Composición textural del suelo de los agroecosistemas de maíz, cacao y bosque en las profundidades de 0-15, 15-30 y 15-45 cm en el perfil.

Profundidad en el perfil de suelo (cm)	Agroecosistemas	Arena	Limo	Arcilla
		Composición textural (%)		
0-15	Maíz	45.33	31.80	22.87
	Pastos	13.53	69.37	17.10
	Cacao	26.43	36.00	37.57
	Banano	28.44	40.03	31.53
	Bosque	22.00	39.77	38.23
15-30	Maíz	49.10	29.33	21.57
	Pastos	14.90	77.57	7.53
	Cacao	21.10	41.33	37.57
	Banano	28.43	39.37	32.20
	Bosque	23.00	46.45	30.55
30-45	Maíz	53.10	40.03	6.87
	Pastos	34.23	54.90	10.87
	Cacao	23.37	52.30	24.33
	Banano	29.10	43.13	27.77
	Bosque	21.57	54.20	24.23

Independientemente del sistema agroproductivo que se implemente, el COFG disminuye según aumenta la profundidad del perfil. En el agroecosistema de maíz, sometido a una labranza continua, el contenido de la fracción gruesa de carbono del suelo es significativamente inferior al resto de los agroecosistemas, que no han sido sometidos a ningún tipo de labranza por más de 30 años, siendo esta fracción de carbono a 0-15 cm de profundidad igual que en el suelo de pastos (1.15%), cacao (1.28%), banano (1.55%) y bosque (1.43%) (Tabla 4).

Las fracciones gruesas de carbono presentan menor grado de transformación en el suelo. Ambas fracciones de carbono (gruesas y ligeras), separadas físicamente son importantes indicadores para detectar cambios producidos por las prácticas de manejo en la mayoría de los suelos (Ferrer, et al., 2014). Por su parte, Galantini & Suñer (2008), mencionan que el cambio que genera las fracciones orgánicas en cada sistema agrícola se relaciona al tipo de cultivo, labranza y fertilización, además de las especies vegetales que abundan en el sector.

Tabla 4. Efecto de los agroecosistemas de maíz, pastos, cacao, banano y bosque en el porcentaje de carbono orgánico fracción gruesa del suelo a tres profundidades del perfil.

Profundidad en el perfil de suelo (cm)	Maíz	Pastos	Cacao	Banano	Bosque
	Carbono orgánico fracción gruesa (%)				
0-15	0.35a	1.15b	1.28b	1.55b	1.43b
15-30	0.24a	0.47a	0.57a	0.89ab	1.02b
30-45	0.17a	0.39a	0.55a	0.35a	0.64a

*Letras diferentes, entre agroecosistemas dentro de cada profundidad del suelo, difieren estadísticamente para un p-valor<0.05.

El contenido de COFL es menor en las tres profundidades estudiadas del agroecosistema de maíz, respecto a los demás sistemas de producción. El banano y el bosque difieren de forma significativa en la capa de 0-15 cm con los demás agroecosistemas y profundidades, además presentan los valores más altos de esta fracción de carbono con cifras de 1.13% y 1.32%. Los agroecosistemas de maíz, pastos y cacao presentan valores no significativos entre ellos en todas las profundidades, incluso el banano y el bosque en las dos últimas capas el contenido de COFL no muestra diferencias con los demás agroecosistemas. En todos los agroecosistemas se puede evidenciar como a medida que se profundiza en el perfil del suelo el contenido de COFL disminuye (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de los agroecosistemas de maíz, pastos, cacao, banano y bosque en el porcentaje de carbono orgánico fracción ligera del suelo a tres profundidades del perfil.

Profundidad en el perfil de suelo (cm)	Maíz	Pastos	Cacao	Banano	Bosque
	Carbono orgánico fracción ligera (%)				
0-15	0.24a	0.73a	0.93a	1.13b	1.32b
15-30	0.19a	0.57a	0.44a	0.39a	0.72a
30-45	0.15a	0.22a	0.35a	0.27a	0.44a

*Letras diferentes, entre agroecosistemas dentro de cada profundidad del suelo, difieren estadísticamente para un p-valor<0.05.

La fracción ligera de carbono, se encuentra en los residuos de cosecha, los cuales en el agroecosistema de maíz no fueron integrados al suelo, ya que la labranza se realiza por el sistema convencional, evitando la formación de cobertura vegetal, al estar sometido a un sistema de laboreo continuo; mientras que en los demás agroecosistemas se crea una cobertura con los residuos de cosecha, podas y la hojarasca y otros residuos vegetales, que se acumulan y descomponen en la superficie del suelo. Entre menos cobertura vegetal tenga un suelo presenta menor contenido materia orgánica, menor carbono y, mayor degradación biológica afectando la calidad y fertilidad del suelo.

Las fracciones más ligeras de la materia orgánica son más sensibles a los cambios producidos por el manejo de suelo y de cultivo, debido que se descomponen más rápido que las gruesas, que están fuertemente ligadas a las partículas finas del suelo. Una de las principales funciones de la materia orgánica es que actúa como reservorio de carbono y nutrientes para las plantas. El tipo de suelo determina el efecto del manejo agrícola sobre las fracciones de la materia orgánica. La fracción lábil está compuesta por restos vegetales, animales y hongos en distintos grados de descomposición y presenta una relación alta de C/N (Eiza, et al., 2005).

CONCLUSIONES

El uso del suelo mostró marcada influencia en el contenido de COS, los cinco agroecosistemas estudiados presentan valores diferentes en el secuestro de carbono. El sistema productivo de maíz muestra los valores más bajos de COS, debido a la influencia de un exceso de labranza, al tratarse el maíz de un cultivo de ciclo corto; mientras los demás agroecosistemas poseen mayor cantidad de carbono, correspondiendo al bosque los contenidos más altos. El agroecosistema de pastos, aunque no se labra el terreno, presenta valores también (aunque superiores) iguales estadísticamente al área ocupada con maíz, debido posiblemente al pastoreo excesivo a que ha sido sometido durante más de 30 años.

El suelo del agroecosistema de maíz en las tres profundidades evaluadas presenta una textura predominantemente arenosa, con valores entre 45.33, 49.10 y 53.10%, lo cual guarda estrecha relación con el bajo contenido de COT que se presenta en este sistema productivo, lo cual confirma que el suelo, en las condiciones descritas, presenta mayor degradación, atribuido al exceso de labranza a que es sometido, por constituir un cultivo de ciclo corto.

Las fracciones ligeras de carbono se descomponen con mayor facilidad, por lo que son menos estables y presentan valores inferiores a las fracciones gruesas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arzola, N., & Machado, J. (2013). New focus for the phosphoric fertilization of sugar cane. *Centro Agrícola*, 40(3), 23-28.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). Anuario Meteorológico No 52-2012. INAMHI. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>
- Eiza, M. J., Fioriti, N., Studdert, G. A. (2005). Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. *Ciencia del suelo*, 23(1), 59-67.
- Ferrer, J., Cabrales, E., Hernández, R. (2014). Fraccionamiento físico de la materia orgánica del suelo bajo diferentes usos en la Colonia Tovar, Venezuela. *Observador del Conocimiento*, 2(5), 9-18.
- Figuera, K. C., Lozano, Z. C., & Rivero, C. (2011). Caracterización de diferentes fracciones de la materia orgánica de tres suelos agrícolas venezolanos. *Venezuelos*, 13, 34-46.
- Fuentes, M. H., Etchevers, J. D., & Briones, O. (2012). El papel del programa mexicano del carbono en México en relación a los suelos. En, F., Paz, M. Bazán y V. Saynes (Editores), *Dinámica del carbono en el suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones*. (pp. 45-50). Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo. https://www.researchgate.net/publication/268206610_El_papel_del_Programa_Mexicano_del_Carbono_en_Mexico_en_relacion_a_los_suelos
- Galantini, J., & Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agricentia*, 25(1), 41-55.
- Hernández, J. E., Tirado, D., & Beltrán, R. I. (2014). Captura de carbono en los suelos. *Boletín de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>
- International Geosphere-Biosphere Programme. (1998). The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto protocol. *Science*, 280(5368). 1393-1394.
- Muhammad, I., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., & Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45, 28-36.
- Orellana, G., Sandoval, M. L., Linares, G., García, N. E., & Tamariz, J. V. (2012). Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(1), 123-135.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. FAO. <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>
- Pérez, H., Rodríguez, I., & Arzola, N. (2016). Aprovechamiento sostenible de los residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura. Editorial UTMACH.
- Pulido, M., Flores, B., Rondón, T., T., Hernández, R. M., & Lozano, Z. (2010). Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, inceptisol y ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro*, 22(3), 201-210.
- Rodríguez, H., & Rodríguez, J. (2015). Métodos de análisis de suelo y plantas: criterios de interpretación. Trillas.
- Santibáñez, E. (2014). Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30(3) 235-245.
- Vásquez, J., & Macías, M. (2016). Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 7-17.

Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 77, 18-30.

Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. Centro de Mejoramiento del Maíz y el Trigo.