



*Captura de carbono en suelo de cultivo de cacao (Theobroma cacao L.), opción para mitigación del cambio climático*

*Carbon capture in cocoa cultivation soil (Theobroma cacao L.), option for climate change mitigation*

*Captura de carbono em solo de cultivo de cacau (Theobroma cacao L.), opção para mitigação das mudanças climáticas*

María Agustina Montesdeoca Chávez <sup>I</sup>  
[maria\\_montesdeoca\\_mga@espam.edu.ec](mailto:maria_montesdeoca_mga@espam.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0851-9873>

Dalinda Alejandra Navarrete Molina <sup>II</sup>  
[dalinda.navarrete@espam.edu.ec](mailto:dalinda.navarrete@espam.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0001-6606-8310>

Marjorie Magdalena Mendoza Calderón <sup>III</sup>  
[marjorie.mendoza@espam.edu.ec](mailto:marjorie.mendoza@espam.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0008-2163-8421>

Leonardo Xavier León Castro <sup>IV</sup>  
[lxleon@espam.edu.ec](mailto:lxleon@espam.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9965-1783>

**Correspondencia:** [lxleon@espam.edu.ec](mailto:lxleon@espam.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 05 de enero de 2024 \* **Aceptado:** 27 de enero de 2024 \* **Publicado:** 25 de febrero de 2024

- I. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Manabí, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Manabí, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Manabí, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Manabí, Ecuador.



## Resumen

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el potencial de concentración de carbono (C) orgánico en el suelo en áreas cultivadas y no cultivadas con cacao. La unidad de estudio constó de tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95, distribuidas en 0.84 ha como área de estudio, con una distancia 4x4 m entre plantas y entre callejones, con un total de 205 plantas. Los factores en estudio fueron: superficie de cobertura vegetal/residuos (con sombra y sin sombra) y las cuatro profundidades (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30 cm. Se realizaron prácticas agrícolas: control de maleza y control fitosanitario. Se trabajó con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), como variable respuesta se analizó la concentración de C orgánico en el suelo. La mayor concentración de C orgánico en suelo (68.63 g kg m<sup>-2</sup>) se presentó en la variedad de cacao EET-95 con sombra y con una profundidad de 0-5 cm. Se concluye que el área de manejo del cultivo de cacao con sombra puede llegar a concentrar en el suelo hasta 19.16% C.

**Palabras Clave:** Prácticas agrícolas; captura de carbono; cobertura vegetal.

## Abstract

The objective of the present study was to quantify the potential concentration of organic carbon (C) in the soil in areas cultivated and not cultivated with cocoa. The study unit consisted of three cocoa clones (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95, distributed over 0.84 ha as a study area, with a distance of 4x4 m between plants and between alleys, with a total of 205 plants. The factors under study were: surface of vegetation cover/residue (with shade and without shade) and the four depths (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30cm. Agricultural practices were carried out: weed control and phytosanitary control. We worked with a completely randomized block design (DBCA), the concentration of organic C in the soil was analyzed as the response variable. The highest concentration of organic C in soil (68.63 g kg m<sup>-2</sup>) occurred in the EET-95 cocoa variety with shade and a depth of 0-5 cm. It is concluded that the shaded cocoa cultivation management area can concentrate up to 19.16% C in the soil.

**Keywords:** agricultural practices; carbon capture; plant cover.

## Resumo

O objetivo do presente estudo foi quantificar a concentração potencial de carbono orgânico (C) no solo em áreas cultivadas e não cultivadas com cacau. A unidade de estudo foi composta por três

clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95, distribuída em 0,84 ha como área de estudo, com distância de 4x4 m entre plantas e entre vielas, totalizando 205 plantas. Os fatores em estudo foram: superfície da cobertura/resíduo vegetal (com sombra e sem sombra) e as quatro profundidades (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30 cm. Foram realizadas práticas agrícolas: controle de ervas daninhas e controle fitossanitário. Trabalhamos com delineamento em blocos inteiramente casualizados (DBCA), sendo analisada a concentração de C orgânico no solo como variável resposta. A maior concentração de C orgânico no solo (68,63 g kg m<sup>-2</sup>) ocorreu na variedade de cacao EET-95 com sombra e profundidade de 0-5 cm. Conclui-se que a área de manejo sombreada do cultivo do cacao pode concentrar até 19,16% de C no solo.

**Palavras-chave:** práticas agrícolas; captura de carbono; cobertura vegetal.

## Introducción

A nivel mundial el cambio climático generado por las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) es un tema de gran preocupación para la humanidad, actualmente existe información científica que evidencia que es necesario implementar medidas efectivas a fin de evitar los efectos irreversibles de cambio en el clima (Hernández et al., 2021). Los fenómenos climáticos que se manifiestan, tales como el aumento de la temperatura, extinción de especies animales y vegetales, agotamiento de recursos naturales, se identifican como factores determinantes que tienen relación con las emisiones de carbono (C) (González et al., 2023). El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es el principal gas de efecto invernadero que ha aumentado de 275 a 414 partes por millón (ppm) a partir del año 2021. Actualmente existe un excedente de 64 ppm de CO<sub>2</sub>, que provoca repercusiones negativas sobre la agricultura, seguridad alimentaria y los recursos naturales (Marcelo et al., 2023). En la agricultura, el uso inadecuado de fertilizantes sintéticos y estiércol fresco conlleva a problemas ambientales graves como contaminación del agua, la acidificación del suelo y principalmente en la emisión de GEI como CO<sub>2</sub> (Alvarado et al., 2023). En este contexto es importante destacar que cerca de un tercio (27 %) de las emisiones mundiales de GEI proceden de la agricultura, y la ganadería. La transición para alcanzar emisiones del 0% o emisiones neutras dependerá de la forma en que se cultiva, lo que comemos y a cómo gestionamos los bosques y sumideros naturales de carbono (Wen et al., 2023). Uno de los servicios más relevantes a nivel mundial es la captura de C, debido a que posee una contribución directa en la disminución de los fenómenos causados tanto por el cambio climático y el calentamiento global (Trinidad et al., 2016).

Por esta razón en el protocolo de Kyoto en los artículos 1.3 (uso de la tierra) y 1.4 (cambio en el uso de la tierra y forestación) se hace referencia sobre el potencial de las plantaciones forestales para fijar y almacenar carbono en el suelo, este potencial es de 49,50% (Ledesma y Abreu, 2023). Los suelos son considerados las principales fuentes de almacenamiento de C orgánico en ecosistemas terrestres. No obstante, la utilización excesiva de los suelos por actividades antrópicas ha ocasionado una disminución en el contenido de C del suelo, resultando en la emisión de gases de efecto invernadero (Hurtado et al., 2023). De la misma forma hay especies vegetales que coadyuvan a la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> en el suelo, principalmente en especies arbustivas como el cacao, esta especie puede llegar a capturar C de 3.2 a 10 ton C<sup>-1</sup>, uno de los principales mecanismos es la descomposición de material vegetal (e.g. hojas, ramas y mazorcas) que caen al suelo, la descomposición se genera por la interacción distintos factores bióticos y bióticos (e.g. reacciones químicas de microorganismos, humedad y temperatura) (Ledesma y Abreu, 2023). Se reportado que en plantaciones de cacao el C puede llegar a almacenar hasta 13,8 Mg C ha<sup>-1</sup>, es por esta razón que los sistemas agroforestales de monocultivos de cacao han llamado la atención, por su capacidad de captura de C en el suelo. La capacidad de almacenar C en sistemas agroforestales de ciclo perenne, depende mucho de la edad de las plantaciones, tamaño, así como la densidad poblacional (Leiva y Ramírez, 2021). A nivel provincial, son pocos los estudios en relación con el contenido de C orgánico en suelos de cacao, pese a que Manabí es una región donde la agricultura tiene un valor muy importante. Mesías et al. (2018) cita que, en la Parroquia Membrillo del Cantón Bolívar, se han obtenido resultados sobre las características de los suelos y las reservas de C aplicando nuevas prácticas agrícolas. Desde el punto de vista de Tan y Kuebbing (2023) la adopción de nuevas prácticas agrícolas, reducen los efectos del cambio climático en un 0,4% anual (4 por mil), debido a que aumentan las reservas de C orgánico del suelo. Por lo tanto, es importante la aplicación prácticas agrícolas que mejoren el secuestro de C sin afectar otros beneficios del ecosistema (Kumara et al., 2023). En base a lo planteado anteriormente, existe un gran potencial en el área de reservas de C orgánico del suelo a través de cambios en las prácticas agrícolas, por ende, el secuestro de C tiene potencial para mitigar los aumentos de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico (Rodrigues et al., 2023). Finalmente, el objetivo de la presente investigación fue cuantificar el potencial de concentración de C orgánico en el suelo en áreas cultivadas y no cultivadas con cacao.

## Metodología

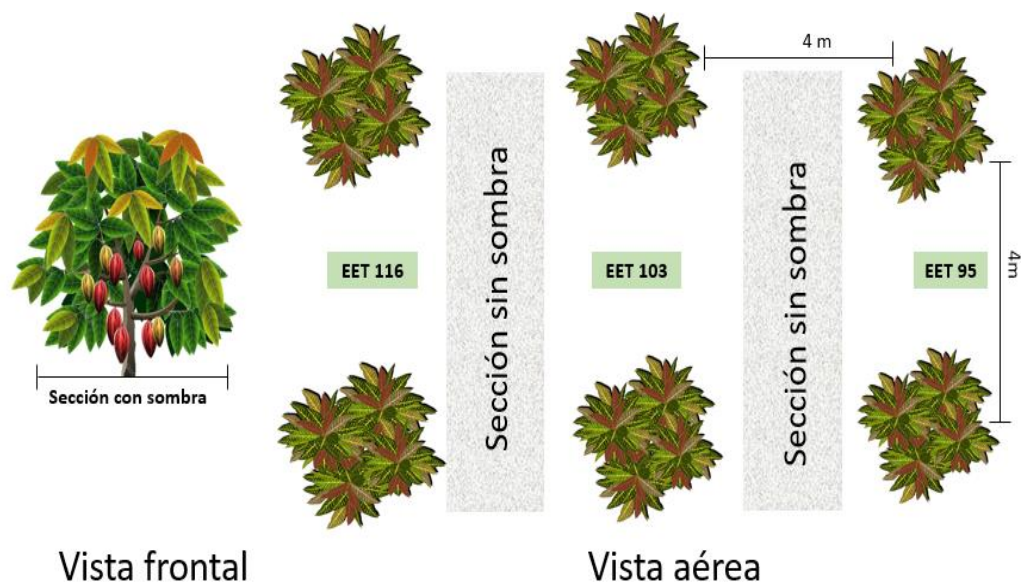
Este estudio se realizó en el año 2023, en la Unidad de Investigación de Cacao de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" (ESPAM MFL), sitio el Limón, Bolívar, Manabí (0° 49' 23" S; 80° 11' 01" O; 15 msnm). La temperatura media anual fue de 30.7°C y la media de precipitación anual de 1166 mm. El suelo fue caracterizado de acuerdo a parámetros físicos y químicos, lo que sirvió como línea base para la investigación.

La unidad de estudio constó de tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95 alternados en cada hilera (Figura 1). El área de estudio fue de 0.84 ha, con una distancia 4x4 m entre plantas y entre callejones, con un total de 205 plantas. Dentro del área de estudio existe un árbol de guachapele (*Albizia guachapele*) y un árbol de mango (*Mangifera indica*). La unidad de estudio se dividió en dos secciones: (1) con sombra y (2) sin sombra, que corresponde a la superficie de cobertura vegetal/residuos. (Figura 2)

Las principales prácticas que se realizaron fueron el control de malezas de forma mecánica con la guadaña cada 8 y 15 días. Por otro lado, el control fitosanitario se lo realizó mediante podas, lo cual consistió en la eliminación de frutos enfermos, brotes de los chupones y ramas, de igual manera se realizan dos podas al (1) inicio de época lluviosa (diciembre) y (2) al final de época lluviosa (abril), mientras que la fertilización edáfica consistió en la aplicación del fertilizante de manera radicular (directa en la base de la planta), la mezcla de fertilizante aplicado fue de nitrógeno 12% (nitrato y amoniacal), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 11%, K<sub>2</sub>O 18%, MgO 2.7%, azufre 8%, boro 0.015%, hierro 0.2%, manganeso 0.02% y zinc 0.02%, las aplicaciones se realizaron al inicio de época lluviosa (diciembre) y al final la época lluviosa (abril).

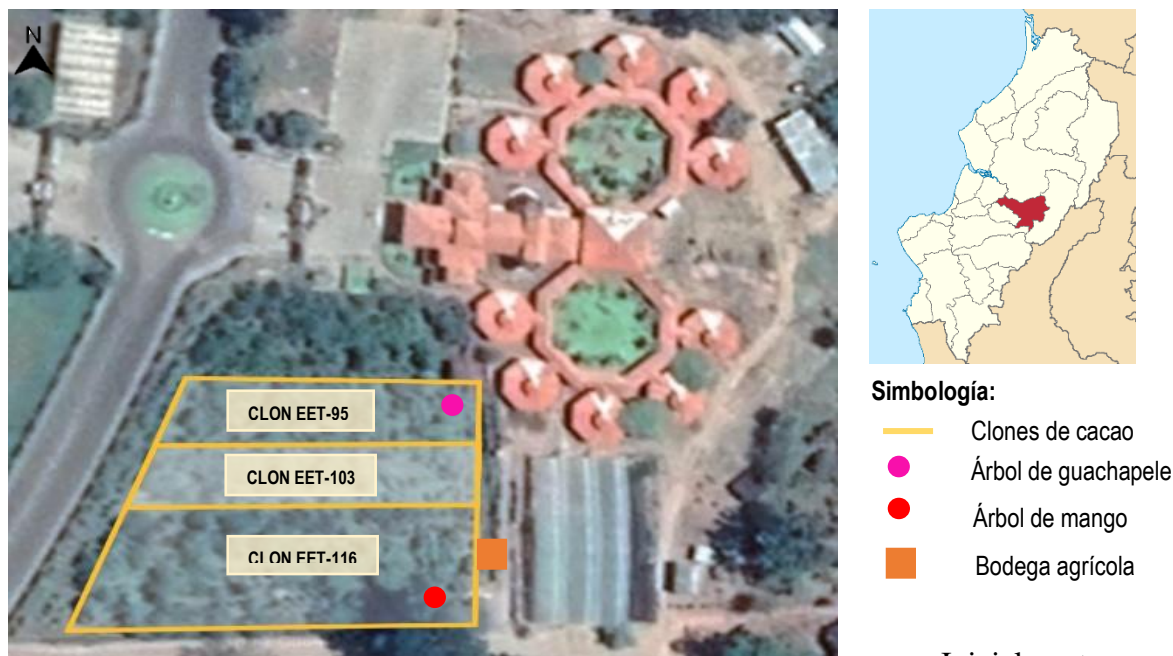
### Figura 1

Área de estudio de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De tres clones de cacao (1) EET-116, (2) EET-103, (3) EET-95. Áreas de producción, sin sombra y con sombra, ensayo realizado de marzo a agosto 2023. (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)



## Figura 2

*Relación del árbol de guachapele con el clon EET-95 y árbol de mango con el clon EET-116 en el cultivo de cacao de la Unidad de Investigación de cacao (*Theobroma cacao* L.). De los tres clones de cacao (1) EET-116; (2) EET-103; (3) EET-95 (Sitio el Limón, Bolívar, Manabí.)*



Inicialmente se realizó la excavación de una calicata de 2 m x 1 m y 1.50 m de profundidad, donde se identificó los diferentes parámetros físico-químicos.

Posteriormente se tomaron 240 muestras (120 en el área con sombra y 120 en el área sin sombra), para estimar la concentración de C orgánico en suelo a través del método de Walkley y Black (1934). El procedimiento inició con el pesado de 1.0 g de muestra de suelo seco al aire en un matraz de Erlenmeyer de 500 ml, luego se adicionó 10 ml de dicromato de potasio (0.167 M) y se agitó por un minuto para una correcta dispersión de la muestra de suelo en la solución. Así mismo se adicionó 20 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ). La solución anterior se dejó reposar por 30 minutos, pasado este tiempo se adicionó 200 ml de agua destilada con 4 gotas de o-fenantrolina. Se procedió a titular con sulfato de hierro (0.5 M) hasta que se observó que el color de la solución cambió de un tono verde a un rojo marrón. Se registró la cantidad de  $FeSO_4$  utilizado.

Posteriormente se procede a calcular el % de C usando la ecuación 1:



$$\%C = \frac{(B - S \times M_{Fe^{2+}} \times 0.003 \times 100 \times f \times mcf)}{W} \quad (1)$$

Dónde:

%C= Porcentaje de C orgánico en suelo

B= Volumen de titulante utilizado en el blanco (ml)

S= Volumen de titulante utilizado en la muestra (ml)

$M_{Fe^{2+}}$  = Concentración de solución estandarizada de  $FeSO_4$  (molaridad)

0,003= C oxidado

$f$ = Factor de corrección (1.3)

$mcf$ = Factor de corrección por la humedad

W= Peso de suelo (g)

Para el análisis de datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y así estimar la diferencia de captura de C entre las 240 muestras en estudio. Las comparaciones estadísticas entre tratamientos fueron analizadas mediante Tukey  $p < 0.05$ . Se planteó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con dos factores, siendo el factor A superficie de cobertura vegetal/residuos con dos niveles (1) con sombra y (2) sin sombra, mientras que el factor B correspondiente a las cuatro profundidades (1) 0-5; (2) 5-10; (3) 10-20; (4) 20-30 cm, como variable respuesta se analizó la concentración de C orgánico en el suelo.

## Resultados

### Caracterización de los parámetros físico-químicos del suelo.

Los análisis físico-químicos permitieron obtener la línea base previo al inicio del experimento en los diferentes perfiles de suelo, de la parcela de estudio en tres clones de cacao EET-116; 2) EET-103; y 3) EET-95 (Tabla 1).

Para los diferentes perfiles de suelo, se obtuvieron los colores café gris, café amarillento, café pardo, gris, amarillo y gris muy oscuro. Así mismo se pudo clasificar en las clases texturales franco (0-20; 0-45), franco arenoso (5-61; 1-70; 0-80), arena franca (0-130; 0-150).

La propiedad química de pH osciló entre 6.85 y 7.60. En conductividad los valores están en un rango de 50.7 y 116.3 ms/cm. La densidad aparente en un rango de 1.03 a 1.20.

En la mayoría de los perfiles de suelo (0-20; 0-45; 5-61; 0-80) hubo presencia notable de lumbrídeos, mientras que en otros perfiles (1-70; 0-130; 0-150) no hubo presencia. Finalmente, en cuanto a la morfología de raíces, se evidenciaron raíces gruesas y finas, raicillas finas, raicillas y raíces finas.

**Tabla 1.**

*Parámetros físico-químicos del suelo en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) sitio el Limón, Bolívar, Manabí.*

Horizontes	Perfiles (cm)	Color <sup>†</sup>	Textura	Morfología de raíces	Presencia de lumbrícidos <sup>‡</sup>	pH	Conductividad (ms/cm)	Densidad aparente
Horizonte A00-20	10 Yr 6-1 Café Gris	Franco	Raíces gruesas y finas	Notable	7.14	116.3	1.2	
Horizonte B	20-45 Yr 5-6 Café amarillento	Franco	Raicillas	Notable	6.97	74.1	1.11	
Horizonte A2	45-61 10 Yr 6-3 Café pardo	Franco arenoso	Raicillas Finas	Notable	6.88	63.6	1.15	
Horizonte CS	61-70 10 Yr 6-3 Café pardo	Franco arenoso	Raicillas Finas	Sin presencia	6.94	50.7	1.13	
Horizonte A3	70-80 10 Yr 5-1 Gris	Franco arenoso	Raicillas Finas	Notable	6.85	67.4	1.03	
Horizonte CS2	80-130 10 Yr 7-6 Amarillo	Arena franca	Raicillas y raíces finas	Sin presencia	7.16	70.7	1.19	
Horizonte A4	30-150 10 Yr 3-2 Gris muy oscuro	Arena franca	Raicillas	Sin presencia	7.6	73.9	1.19	

<sup>†</sup> = Colores determinados de acuerdo a la tabla de Munsell.

**Estructura**= Definido por el manual de la ESPAM.

**Morfología de raíces**= Se determinó visualmente la presencia y forma de raíz.  
<sup>‡</sup>= Presencia de lumbrícidos se determina mediante la observación de los perfiles por número de lombrices.

En la tabla 2 se observa la concentración de C orgánico obtenido de la unidad en estudio con sombra y sin sombra, en las cuatro profundidades y en tres clones de cacao. Los resultados no indicaron diferencias estadísticas significativas ( $p=0.6010$ ), sin embargo, la concentración más alta de C Orgánico fue de  $68.63 \text{ kg m}^{-2}$  en el área de muestreo con sombra, en la profundidad de 0-5 cm en el clon EET-95. La concentración más baja de C se obtuvo en el área sin sombra, en la profundidad de 20-30 cm, en el clon EET-95, con una media de  $7.17 \text{ kg m}^{-2}$

**Tabla 2.**

*Cuantificación de la concentración de carbono orgánico en el suelo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) área con sombra (a), área sin sombra (b) en cuatro profundidades (1) 0-5, (2) 5-10, (3) 10-20, (4) 20-30 cm, en tres clones de cacao 1) EET-116, 2) EET-103, y 3) EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí.*

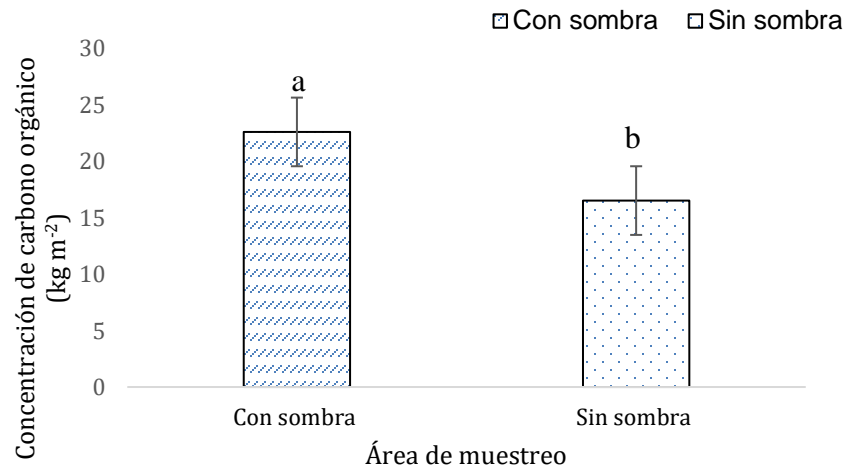
Clones de cacao	Área de muestreo	Profundidad (cm)			
		0-5	5- 10	10 -20	20-30
		$\text{kg m}^{-2}$			
EET-116	Con sombra	59.47 *a	12.60 cd	10.01 d	9.25 d
	Sin sombra	30.72 bcd	16.97 cd	14.81 cd	11.51 cd
EET-103	Con sombra	53.69 ab	12.94 cd	9.04 d	7.91 d
	Sin sombra	34.66 bc	13.45 cd	13.37 cd	8.81 d
EET-95	Con sombra	68.63 a	10.04 d	8.79 d	8.75 d
	Sin sombra	25.20 cd	12.87 cd	8.52 d	7.17 d
p_valor	0.6010				

**Nota:** Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ).

El C acumulado en el suelo del área en estudio presentó diferencias significativas ( $p =0.0020$ ), la media más representativa se detectó en los árboles con sombra, obteniendo una media de  $22.59 \text{ kg m}^{-2}$ ; los árboles sin sombra presentaron un promedio de  $16.51 \text{ kg m}^{-2}$  (figura 5).

### Figura 3.

Concentración del C en el suelo de dos áreas de estudio (Con Sombra y Sin sombra) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en tres clones EET-116; EET-103; EET-95. Sitio el Limón, Cantón Bolívar, Manabí. Letras sobre las barras significan la comparación horizontal por sección.



### Discusión

Las propiedades físicas y químicas del suelo en el cultivo de cacao, permitieron obtener una línea base para la concentración de C en el suelo del cultivo de cacao. Es importante mencionar que la capacidad de captura de C es favorecida por las condiciones del suelo indicadas en el análisis físico-químico. Al observar los resultados de la presente investigación (Tabla 1), se puede evidenciar diferentes texturas (franco, franco arenoso y arena franca), las cuales tienen influencia en la concentración de C en el suelo (0.6-1.2 kg m<sup>-2</sup>), sosteniendo que la capacidad de concentración del suelo se basa principalmente en suelos que contienen partículas franco arenosas (Hou et al., 2023). Por otro lado, el pH guarda relación directa con el C presente en el suelo, principalmente en dos profundidades (0-15 y 15-30 cm). En suelos cacaoteros generalmente el pH se encuentran en valores de 7 a 7.5, lo que guarda relación directa entre el rango de neutralidad y el incremento de C de 3.09% (Barrezueta, 2019). Así mismo, se observó que la profundidad de las raíces de cacao es < 20 cm, lo cual contribuye positivamente a aumentar las reservas de C orgánico del suelo en perfiles superiores aproximadamente hasta 3,41 kg m<sup>-2</sup>, en estos perfiles las poblaciones de microorganismos pueden incrementarse en 10 % (Siegwart et al., 2023). Generalmente los procesos

de descomposición de microorganismos inician en la parte superior del suelo y la cantidad de C disminuye a mayor profundidad, lo que guarda relación con los resultados obtenidos en la presente investigación, en donde la mayor concentración de C se obtuvo a una profundidad de 0-5 cm y la menor concentración a una profundidad de 20-30 cm (Zavala et al., 2018).

Respecto a la concentración de C orgánico en el suelo no se observó diferencias significativas ( $p=0.6010$ ) en las áreas de manejo (con o sin sombra), sin embargo, la concentración de C más alta fue de  $68.63 \text{ kg m}^{-2}$  en el área con sombra, en la profundidad de 0-5 cm. Previamente, se ha reportado que la reserva de C en suelo aumenta en un 20% en monocultivos con sombra y además aliviar la degradación del suelo (Sun et al. 2023). De igual manera, Teixeira et al. (2023) establece que la relación entre la agricultura y el tipo de plantación aumenta en un 41.5% ( $18.79 \text{ kg m}^{-2}$ ) la reserva de C en el suelo. En el caso particular del cultivo de cacao Adiyah et al. (2023), reportó que el CO del suelo en sistemas agroforestales de cacao poseen una reserva de C orgánico de  $121 \text{ Mg C ha}^{-1}$  a una profundidad de 20 a 60 cm, estos autores mencionan que la hojarasca de cacao se convierte en la capa principal del suelo, lo que genera el aumento de la captura de C del suelo. En el presente estudio la concentración de C resultó mayor en 19.16% en el área de manejo con sombra.

Las prácticas agrícolas empleadas (control de maleza y control fitosanitario) tienen influencia en la concentración de C, debido a que el suelo muestra mejor capacidad en capturar C en el rango de  $3.98$  a  $23.61 \text{ kg m}^{-2}$  (Somoza y Vázquez, 2023). Por esta razón se ha considerado que las prácticas agrícolas aplicadas en esta investigación tales como el control de malezas y podas, pueden ser consideradas como una práctica cultural que puede contribuir a la mitigación de  $\text{CO}_2$ , teniendo en cuenta la variedad y el área.

Finalmente es importante mencionar que los árboles de cacao son una excelente reserva de carbono capaces de almacenar  $196,94 \text{ kg m}^{-2}$  y contribuyen a la captura de C en 48,15% en el suelo (Getachew et al., 2023), esto puede explicar la diferencia de valores en captura de carbono en el área con sombra ( $22.59 \text{ kg m}^{-2}$ ) y sin sombra ( $16.51 \text{ kg m}^{-2}$ ).

## Conclusión

La mayor concentración de C orgánico en suelo se genera en áreas de manejo con sombra, en perfiles superiores  $<5 \text{ cm}$ , que está influenciado principalmente por biomasa radicular y residuos de materiales vegetales generados por prácticas culturales típicas del cultivo de cacao, lo que

contribuye en el aumento de la concentración de C en el suelo en 19.16% en comparación al área de manejo sin sombra.

### **Agradecimiento**

Al equipo técnico del laboratorio de suelos y estudiantes de la ESPAM MFL Ecuador. Financiación de la ESPAM MFL con el Proyecto de Investigación CUP:91880000.0000.388095 SEMPLADES, Ecuador.

### **Referencias**

- Adiyah, F; Csorba, Á; Dawoe, E; Ocansey, C; Asamoah, E; Szegi, T & Michéli, E. (2023). Soil organic carbon changes under selected agroforestry cocoa systems in Ghana. *Geoderma Regional*, 35, e00737. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009423001335>
- Alvarado, H; Escamilla, P; Estrada, M; Pérez, F y Moreno, K. (2023). La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*, 119(1): 2-18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8875199>
- Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155-166. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-78582019000200155](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582019000200155)
- Getachew, M; Verheyen, K; Tolassa, K; Tack, A, Hylander, K; Ayalew, A; Böckx, P; Landuyt, D y Frenne, P. (2023). Efectos de las especies de árboles de sombra sobre la biogeoquímica del suelo y la calidad del grano de café en plantaciones de café. *Agricultura ecosistemas y medio ambiente*, 347(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880923000130>
- González, M; Carvajal, J; Núñez, J.; Marinero, E. (2023). Factores determinantes en las emisiones de CO<sub>2</sub> en Colombia originados por la explotación del carbón. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, (9)17, 2107-2117. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943882007/3943882007.pdf>

- Hernández, H; Hernán, J y Suárez, J. (2021). Revista de Biología Tropical, 61(1), 352-368.  
[https://www.researchgate.net/publication/348340012\\_Almacenamiento\\_de\\_carbono\\_en\\_sistemas\\_agroforestales\\_en\\_los\\_Llanos\\_Orientales\\_de\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/348340012_Almacenamiento_de_carbono_en_sistemas_agroforestales_en_los_Llanos_Orientales_de_Colombia)
- Hou, W; Xu, Y; Xue, S; Li, J; Yang, Y; Yi, Z & Fu, T. (2023). Effects of soil physics, chemistry, and microbiology on soil carbon sequestration in infertile red soils after long-term cultivation of perennial grasses. GCB Bioenergy, 15(2), 239-253.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.13019>
- Hurtado, M; Alulema, R y Palacios, T. (2023). Captura de carbono orgánico en zonas con distinto nivel de intervención en páramos de Sayaro. Investigación y desarrollo, 16(2), 79-92.  
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/4323/5928>
- Kumara, K; Pal, S; Chand, P & Kandpal, A. (2023). Carbon sequestration potential of sustainable agricultural practices to mitigate climate change in Indian agriculture: A meta-analysis. Sustainable Production and Consumption, 35, 697-708.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550922003360>
- Ledesma, R y Abreu, R. (2023). Evaluación de residuos forestales de especies potenciales para la obtención del carbono como energía limpia de la Amazonía ecuatoriana. Enfoque UTE, 14(2), 35-51. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422023000200035](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422023000200035)
- Leiva, E y Ramírez, R. (2021). Carbono almacenado en cacao y suelo en sistemas agroforestales. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, 4(1), 5331-5346.  
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/38265/29204>
- Marcelo, F; Mantilla, W; Baselly, R; Vargas, J y Pajares, U. (2023). Uso potencial de *Eucalyptus viminalis* Labill. para la captura de carbono en un sistema silvopastoril, Perú. Colombia forestal, 26(1), 64-78. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/19043>
- Mesías, F; Hernández, A; Vera, L; Guzmán, A; Cedeño, A; Ormaza, K y López, G. (2018). Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador. Cultivos tropicales, 39(4), 27-33.  
[https://www.researchgate.net/publication/331825237\\_Reservas\\_de\\_Carbono\\_Orgánico\\_en\\_Suelos\\_de\\_la\\_Llanura\\_Fluvial\\_Calceta-Tosagua,Manabí-Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/331825237_Reservas_de_Carbono_Orgánico_en_Suelos_de_la_Llanura_Fluvial_Calceta-Tosagua,Manabí-Ecuador)



- Rodrigues, C; Brito, L & Nunes, L. (2023). Soil carbon sequestration in the context of climate change mitigation: A review. *Soil Systems*, 7(3), 64. <https://www.mdpi.com/2571-8789/7/3/64>
- Siegwart, L; Jourdan, C y Piton, G. (2023). Root distribution and properties of a young alley-cropping system: effects on soil carbon storage and microbial activity. *Plant Soil*, 482, 601–625. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-022-05714-9>
- Somoza, A y Vázquez, P. (2023). Variación espacio temporal del stock de carbono orgánico y su relación con los cambios en el uso del suelo. Partido de Tandil, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, (70), 476-513. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-25632023000100476](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25632023000100476)
- Sun, H; Zhang, F; Raza, S; Zhu, Y; Ye, T; Rong, L & Chen, Z. (2023). Three decades of shade trees improve soil organic carbon pools but not methane uptake in coffee systems. *Journal of Environmental Management*, 347, 119166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723019540>
- Tan, S & Kuebbing, S. (2023). A synthesis of the effect of regenerative agriculture on soil carbon sequestration in Southeast Asian croplands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 349, 108450. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923001093>
- Teixeira, C; Malysz, M y Savanciski, S. Monocultures negatively influence ecosystem services provided by roots, plant litter and soil C stocks in subtropical riparian zones. *Environ Dev Sustain*, 25(12). <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-023-03214-z>
- Trinidad, W; Sol, A y Galindo, A. (2016). Evaluación de la rentabilidad económica y captura de carbono en plantaciones de cacao en el Plan Chontalpa, Tabasco. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 52-71. [https://www.researchgate.net/publication/325014123\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_rentabilidad\\_economica\\_y\\_captura\\_de\\_carbono\\_en\\_plantaciones\\_de\\_cacao\\_en\\_el\\_plan\\_Chontalpa\\_Tabasco](https://www.researchgate.net/publication/325014123_Evaluacion_de_la_rentabilidad_economica_y_captura_de_carbono_en_plantaciones_de_cacao_en_el_plan_Chontalpa_Tabasco)
- Wen, L; Guang, F; Wang, Y & Basil, S. (2023). Decarbonization in New Zealand – where and how: a combination of input–output approach and structural decomposition analysis. *New Zealand Economic Papers*, 1(21), 0077-9954. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00779954.2023.2196676>

Zavala, W., Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501.  
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/2179/2056>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).