

## Contenido de carbono orgánico del horizonte arenoso de los suelos del sistema Carrizal Chone, Manabí, Ecuador

Leonardo Ramón Vera-Macías <sup>1</sup>, Alberto Hernández-Jiménez <sup>2</sup>, Ángel Monserrate Guzmán-Cedeño <sup>1,3</sup>, Freddy Wilberto Mesías-Gallo <sup>1</sup>, Ángel Frowen Cedeño-Sacón <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, km 2½ vía Calceta-El Gramal. Calceta, Manabí. Ecuador. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Carretera Tapaste km 3 1/2, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, Av. circunvalación-vía San Mateo. Manta. Correo electrónico: [lvera@espam.edu.ec](mailto:lvera@espam.edu.ec)

### RESUMEN

El sistema Carrizal Chone tiene como finalidad dotar de riego a 7.250 ha en la primera etapa. En la región predominan los suelos aluviales sometidos a procesos de erosión – deposición que originaron horizontes arenosos enterrados. El propósito de esta investigación consistió en evaluar las reservas de carbono orgánico de los horizontes arenosos presentes en los suelos del sistema Carrizal Chone, Manabí, Ecuador. Con base a ortofotos y hojas cartográficas se delimitaron contornos de suelos y se describieron 145 perfiles de acuerdo a la metodología USDA. Se tomaron muestras de suelo para determinación de densidad de volumen, composición granulométrica, clase textural, materia orgánica y cálculo de reservas de carbono. Los datos fueron comparados a través de sus estadísticos descriptivos, considerando medidas de tendencia central y de dispersión. El 51,7 % de los perfiles de suelos estudiados presentaron un horizonte arenoso Cs, ubicado, en mayor proporción, entre 30 y 90 cm de profundidad. La mayores reservas de carbono orgánico en el horizonte Cs fueron de 6,8 t.ha<sup>-1</sup> y se encuentra entre 30 y 60 cm de profundidad.

**Palabras clave:** Arena, materia orgánica, horizonte enterrado, erosión, deposición.

---

## Organic carbon content of the sandy horizon of the soils of the Carrizal Chone system, Manabí, Ecuador

### ABSTRACT

The Carrizal-Chone system aims to provide irrigation to 7,250 ha in the first stage. The region is dominated by alluvial soils subjected to erosion-deposition processes that created buried sandy horizons. The purpose of this research was to evaluate the organic carbon reserves of the sandy horizons present in the soils of the Carrizal Chone system, Manabí, Ecuador. Based on orthophotos and cartographic sheets, soil contours were outlined and 145 profiles were described according to the USDA methodology. Soil samples were taken to determine volume density, granulometric composition, textural class, organic matter and calculation of carbon reserves. The data were compared through their descriptive statistics, considering measures of central tendency and dispersion. 51.7 % of the soil profiles studied presented a Cs sandy horizon, located, in greater proportion, between 30 and 90 cm deep. The largest reserves of organic carbon in the Cs horizon were 6.8 t.ha<sup>-1</sup> and are located between 30 and 60 cm deep.

**Keywords:** Sand, organic matter, buried horizon, erosion, deposition.

## INTRODUCCIÓN

La represa La Esperanza constituye uno de los principales proyectos hídricos de Manabí. Su capacidad es de 450 millones de metros cúbicos de agua, la cual es destinada al consumo humano y riego para la agricultura. Su cuenca tiene un área de 445 km<sup>2</sup>, se ubica en la parroquia Quiroga, cantón Bolívar, a aproximadamente 12 kilómetros de Calceta, la cabecera cantonal. Las aguas del embalse abastecen directamente a cuatro cantones: Tosagua, Chone, Junín y Bolívar con una población aproximada de 236.474 habitantes, el 16 % de la población total de la provincia. Desde la represa La Esperanza se desprende el Sistema de Riego Carrizal-Chone en sus dos etapas, destinadas a irrigar en su primera fase a 7.250 hectáreas (INEC, 2014).

Debido a que en la región predominan los bosques primarios, las condiciones naturales de formación de suelos dan origen a la fuerte acumulación de materia orgánica (humificación), que da origen de suelos Feozems o de Molisoles y en las partes formadas de sedimentos de Fluvisoles o Fluvents; sin embargo, debido a la actividad antropogénica, parte de los suelos Feozems se han degradado y han dado lugar a Cambisoles o Inceptisoles (Vera *et al.* 2017). Mesías-Gallo *et al.* (2018) señalan que en los Grupos Referenciales de Suelos que se presentan en la región es notable la presencia de capas de arena en los primeros 50 cm del perfil de los Fluvisoles, por lo que las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) se mantienen bajas en la capa de 0-50 cm del perfil.

Los suelos arenosos son compuestos por una textura granular hasta 50 cm de profundidad y a consecuencia retienen pocos nutrientes, así como la capacidad de retención hídrica. Los horizontes donde predomina la arena poseen gran cantidad de poros grandes y su bajo contenido de arcilla provoca que se pierda más fácilmente agua y nutrientes, especialmente nitrógeno. Lo anterior ocasiona un desarrollo pobre de los cultivos al no cubrir sus necesidades nutricionales. La alta lixiviación y volatilización de nitrógeno en estos suelos hace necesario fraccionar la fertilización nitrogenada tanto como sea posible y la aplicación de materia orgánica. Por otra parte, la gran cantidad de poros grandes facilita la penetración y desarrollo del sistema radical de los cultivos (INTAGRI 2017).

Con respecto al movimiento del agua en los suelos arenosos secos, la lluvia se infiltra verticalmente hasta ir llenando todos los poros; sin embargo, si el suelo está saturado, el flujo de agua es horizontal; mientras que, en suelos no saturados, el flujo vertical de agua está condicionado por la gravedad, lo cual es fundamental en el manejo de riego y drenaje de un determinado predio, ya que los horizontes arenosos sirven de drenaje natural cuando el nivel freático es bajo, pero cuando este nivel freático sube se convierte el principal factor de saturación de agua en el suelo (Rosales-Naranjo *et al.* 2020).

En el contexto de la agricultura sostenible, los agricultores pretenden modificar sus prácticas para reducir los insumos químicos y los costos de la labranza, preservar la biodiversidad del suelo, promover el secuestro de carbono en el suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Uno de los principales desafíos que enfrenta el sistema agrícola actual es conciliar los objetivos de la agricultura sostenible con la necesidad de mantener la viabilidad económica garantizando rendimientos competitivos y calidad de los cultivos. Como resultado, a la materia orgánica se le ha asignado un papel más importante en el mantenimiento de la calidad del suelo (Mechri *et al.* 2023).

El carbono orgánico del suelo es una parte del ciclo global del carbono más amplio que implica el ciclo del carbono en los suelos y la atmósfera. Afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como la infiltración de agua, la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo, la densidad aparente y la actividad de los microorganismos del suelo (Marzouk *et al.* 2023).

El almacenamiento de COS a corto o largo plazo depende de su estabilidad fisicoquímica, además de la protección ejercida por los microagregados estables del suelo. De este modo, la reserva rápida de carbono conocida como lábil da lugar a la pérdida de gran porcentaje de la biomasa inicial en 1 o 2 años después de la incorporación del carbono orgánico fresco, comportándose como un indicador de las propiedades del suelo. La reserva inmediata está compuesta por el por CO estabilizado parcialmente en superficies minerales y su tiempo de rotación varía entre 10 y 100 años. La reserva lenta o estable ingresa en un periodo de muy lenta rotación (100 a

1000 años), siendo importante en el secuestro de COS a largo plazo (Ginebra-Aguilar et al. 2015).

Se ha descubierto que el calentamiento global puede acelerar la mineralización de la materia orgánica y originar el incremento de las emisiones de dióxido de carbono del perfil del suelo, lo cual ocurre de manera más acelerada en las capas superiores del suelo, por tanto, es importante centrar el secuestro de CO en horizontes más profundos. La acumulación y distribución de COS en el perfil del suelo está asociada con varios factores, que incluyen el clima, la topografía, el material parental, las propiedades del suelo, la interacción con los organismos y el uso y gestión de la tierra (Tripolskaja et al. 2022). Bajo este contexto, el presente trabajo se planteó como objetivo evaluar las reservas de carbono orgánico de los horizontes arenosos presentes en los suelos del sistema Carrizal Chone, Manabí, Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

El presente estudio se realizó en la zona de influencia del Sistema de Riego Carrizal-Chone primera etapa (7.250 ha), ubicada en la parte central de la provincia de Manabí, República del Ecuador. Se localiza entre las coordenadas 9914673 N, 9899560 S, 603946 E y 583965 O (Figura 1). El clima de la región es tropical subhúmedo con una precipitación promedio de 999 mm en el periodo 2012-2022 y con temperaturas promedio en el mismo periodo de 26 °C.

La base cartográfica del estudio estuvo constituida por ortofotos tomadas del Google Earth y hojas cartográficas emanadas del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador. Se siguió el método genético geográfico para la selección de puntos con barrenas y toma de perfiles, en base a las variaciones de los suelos según sus factores de formación (relieve,



**Figura 1.** Ubicación relativa del Sistema de Riego Carrizal Chone primera etapa, Provincia de Manabí, Ecuador.

material de origen, clima, vegetación y tiempo) afectados por la actividad antrópica. Siguiendo las normas de mapeo para un mapa escala 1:25.000, se delinearon los diferentes contornos de suelos para su caracterización, para lo cual se tomaron 145 perfiles, como resultado se identificaron 75 perfiles con horizontes arenosos en suelos clasificados como Feozem flúvico, Feozem cámbico y flúvico, Cambisoles flúvicos y Fluvisoles según IUSS Working Group WRB (2015).

### Caracterización del horizonte arenoso

A nivel de campo, se procedió a la descripción de los perfiles de acuerdo a la metodología USDA (Soil Survey Staff 2014), basada en los factores de formación de suelo, tomando como referencia la profundidad del horizonte arenoso, el espesor y su apariencia física. A continuación, se tomaron muestras por triplicado para determinación de la densidad de volumen (a partir de cilindros Uhland), la composición granulométrica, clase textural, materia orgánica y por cálculo reserva de carbono. Estas muestras fueron rotuladas y llevadas a laboratorio para sus respectivos análisis.

A nivel de laboratorio se determinó la textura del suelo a partir de la composición granulométrica de la muestra a través del método de la pipeta y con esos resultados la clase textural utilizando el triángulo textural (Soil Survey Staff 2014). Se consideró un horizonte arenoso aquellos que superen el 50 % de arena.

Para determinar la densidad de volumen o aparente, las muestras tomadas en campo fueron secas al horno (memmert U40) a 105 °C por 24 h para determinar el peso seco y proceder al cálculo. La materia orgánica se determinó por el método de Walkley-Black (1934) por cada horizonte. La estimación del carbono orgánico total se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CO} = \% \text{ MOS} / 1,724$$

Donde: CO = Carbono orgánico total (%)

MOS = Materia orgánica de Suelo (%).

Se empleó el factor de Van Benmelen de 1,724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58 % de carbono (1/0,58 =1,724). A continuación, el contenido de la reserva de carbono en suelos se calculó con base en la ecuación propuesta por González-Molina (2008).

$$\text{RCOS} = \text{CO} (\text{Da}) \text{ Ps}$$

Donde: RCOS = Reserva carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

CO= Carbono orgánico total (%)

Da= Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ )

Ps= Espesor del horizonte (cm)

La información obtenida fue tabulada y organizada a través del programa ofimático Excel®. La variabilidad de las observaciones fue estudiada a través de estadística descriptiva considerando como descriptores las medidas de tendencia central (promedio y mediana) y de dispersión de los datos (desviación estándar y coeficiente de variación).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudios previos en la zona han permitido determinar que el tiempo de formación de los suelos es relativamente joven, ya que provienen de materiales aluviales y aluviales-deluviales del Cuaternario. El material de origen está conformada de sedimentos fluviales (aluviales) de los ríos Carrizal y Canuto desde el sureste y norte de Calceta hasta La Estancilla, con influencia deluvial de la formación geológica Onzole ubicada en la zona alta de Tosagua-Bachillero. Los órdenes de suelos predominantes los Feozems (Mollisoles) y Fluvisoles (Fluvents) y en menor proporción, los Gleysoles. En gran parte de la región estudiada, se identificó el horizonte Cs (C = sedimento fluvial; s = sand = arena) (Vera *et al.* 2019).

Las evaluaciones de campo arrojaron la presencia de 75 perfiles de suelos con horizonte arenoso, lo cual representa el 51,7 % de los perfiles estudiados; con clases texturales que varían desde franco arenoso (45 perfiles de suelo con 64 horizontes), a arena franca (22 perfiles de suelo con 24 horizontes Cs) y arenoso (8 perfiles de suelo, con 8 horizontes Cs). Los horizontes de textura más arenosa se encuentran principalmente en los sedimentos más recientes, situados en las terrazas aluviales.

Para efectos de análisis, los perfiles de suelo fueron clasificados según su profundidad de aparición. En el Cuadro 1 se muestran los estadísticos que describen la profundidad y el espesor de los horizontes arenosos encontrados en los 75 perfiles de suelo del sistema Carrizal – Chome. En tal sentido, se identificaron 18 perfiles donde el horizonte Cs apareció a una profundidad menor de 30 cm donde

el promedio fue de 28,7 cm con un coeficiente de variación (CV) de 6,37 %; 27 perfiles presentaron el horizonte Cs entre 30 y 60 cm, con promedio de 53,8 cm y CV de 6,18 %; 20 de los perfiles mostraron el horizonte arenoso entre 60 y 90 cm, con promedio de 86,2 cm y CV de 4,37 %; mientras que, en 10 de los perfiles se encontró el horizonte Cs a más de 90 cm de profundidad con un promedio de 110,4 cm y el mayor coeficiente de variación con 12,9 %.

La mayor variabilidad en el espesor del horizonte arenoso se encontró en el estrato superficial del perfil, ya que en dichos perfiles alcanza un espesor promedio de 46,7 cm con un CV de 80,4 %. En el resto de los estratos el coeficiente de variación se ubicó alrededor del 35 %. Por otro lado, el mayor espesor del horizonte Cs correspondió a aquellos perfiles donde se encontró a profundidades entre 30 y 60 cm, con un espesor promedio de 72,8 cm, lo cual se asocia a un evento de erosión – deposición de gran magnitud.

En el Cuadro 2 se muestran las variaciones del contenido de arena y arcilla en los horizontes Cs identificados en los distintos perfiles de suelo. La mayor

proporción de arena en el horizonte Cs correspondió a los suelos donde el estrato arenoso se ubicó de manera superficial (menos de 30 cm), en los cuales se obtuvo un promedio de 81,2 % de arena, con una mediana de 84 % y un coeficiente de variación de 13 %. En los suelos donde el horizonte arenoso apareció a una profundidad mayor a 30 cm, el contenido de arena se ubicó alrededor del 65 %, con coeficientes de variación que fluctuaron entre 15 y 25 %.

En contraste, el contenido de arcilla se incrementó con la profundidad de aparición del horizonte Cs, con promedios de 2,5 % a profundidades menores de 30 cm y de 6,7 a 8 % en los suelos donde dicho horizonte se ubicó por debajo de los 30 cm. Cabe destacar que, para esta variable se obtuvo la mayor variabilidad con coeficientes de variación de 60 % para los horizontes superficiales y mayores de 75 % para los horizontes Cs más profundos.

En climas cálidos y húmedos, los horizontes arenosos que se encuentran más cerca de la superficie son más susceptibles a la erosión y la pérdida de materia orgánica, lo cual puede reducir la capacidad de los suelos

**Cuadro 1.** Medidas resumen para las variables profundidad y espesor del horizonte arenoso en suelos del sistema Carrizal Chone

Profundidad	N	Profundidad				Espesor			
		Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coeficiente de variación
<b>Menos de 30</b>	18	28,70	30,00	1,83	6,37	46,67	25,00	37,53	80,42
<b>30 a 60</b>	27	53,80	54,50	3,33	6,18	72,76	72,00	24,45	33,61
<b>60 a 90</b>	20	86,20	87,00	3,77	4,37	51,80	56,50	18,92	36,52
<b>Más de 90</b>	10	110,40	104,50	14,21	12,88	39,60	45,50	14,21	35,89

**Cuadro 2.** Medidas resumen para las variables contenido de arena y de arcilla del horizonte arenoso en suelos del sistema Carrizal Chone.

Profundidad	N	Arena (%)				Arcilla (%)			
		Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coeficiente de variación
<b>Menos de 30</b>	18	81,17	84,00	10,54	12,99	2,53	3,20	1,51	59,78
<b>30 a 60</b>	27	63,63	64,00	15,74	24,73	6,78	4,80	5,44	80,26
<b>60 a 90</b>	20	65,25	64,50	10,92	16,74	6,72	4,80	5,72	85,12
<b>Más de 90</b>	10	66,40	63,50	10,30	15,51	8,00	8,40	5,97	74,68

para capturar carbono. En general, la relación entre la captura de carbono y la profundidad del suelo no es lineal. La captura de carbono aumenta rápidamente en las capas superiores del suelo, pero luego se ralentiza a medida que la profundidad aumenta. Esto se debe a que la materia orgánica es más susceptible a la descomposición en las capas superiores del suelo, donde hay más oxígeno y otros factores que pueden acelerar la descomposición.

La presencia de los horizontes arenosos ocurre, en mayor proporción, en la cuenca baja del río Carrizal, como consecuencia de los procesos de inundación que transportan sedimentos fluviales, que incluyen arena, a los horizontes inferiores del suelo, estando en la superficie la arcilla que es la partícula más pequeña, luego de este proceso natural por acción de las lluvias y un adecuado drenaje las partículas de arcillas son transportadas hacia abajo proceso denominado iluviación lo cual explica el aumento del promedio de arcillas en los horizontes a medida que aumenta la profundidad.

Huang y Hartemink (12) consideran que los suelos arenosos son más sensibles al cambio climático y a las actividades antrópicas en comparación con otros, y debido al crecimiento demográfico y la urbanización, se han utilizado ampliamente en el suministro de alimentos y otros productos y servicios para la sociedad. La fragilidad de los arenales, debido a las características morfogénicas del suelo donde se presentan los procesos de barrancos y cárcavas, condiciona un alto riesgo de degradación del paisaje por la ocupación del suelo por cultivos y forestación (Searchinger *et al.* 2018).

En relación a las reservas de carbono orgánico, se obtuvo un promedio de 0,15 t.ha<sup>-1</sup> en los horizontes Cs ubicados a menos de 30 cm de profundidad, 1,40 t.ha<sup>-1</sup> de CO para horizontes ubicados entre 30 y 60 cm, 0,34 t.ha<sup>-1</sup> para aquellos ubicados entre 60 y 90 cm, y promedios de 0,26 t.ha<sup>-1</sup> de CO para horizontes Cs ubicados por debajo de 90 cm de profundidad (Cuadro 3). En todos los casos, los altos coeficientes de variación (superiores a 65 %), indican una gran variabilidad en las reservas de carbono en el suelo, siendo el caso más crítico el de los horizontes encontrados a profundidades de 30 a 60 cm, donde el coeficiente de variación alcanzó una proporción de 315 %.

Las reservas de carbono orgánico en el perfil mantuvieron la misma tendencia que las reservas en el horizonte Cs, con menores proporciones en horizontes ubicados superficialmente, en los cuales se obtuvo un promedio de 6,8 t.ha<sup>-1</sup> y la mayor variabilidad debido a un CV de 122,5 %. Las mayores reservas de CO en el perfil (15,1 t.ha<sup>-1</sup>) se obtuvo en suelos donde el horizonte Cs se ubicó entre 30 y 60 cm de profundidad, seguido de los suelos donde el horizonte arenoso se encuentra de 60 a 90 cm y más de 90 cm de profundidad, con 12 y 9,5 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente; para dichos perfiles de suelo, los coeficientes de variación fluctuaron entre 57 y 69 % (Cuadro 3).

Wiesmeier *et al.* (2019) afirman que existen múltiples factores ambientales que afectan las reservas espaciales y temporales del carbono orgánico en el suelo, como las condiciones hidroclimáticas, la vegetación, la elevación, la topografía, la pendiente, la exposición, el material parental e incluso los diferentes procesos de formación del suelo.

**Cuadro 3.** Medidas resumen para las variables reserva de carbono en el horizonte arenoso y en el perfil de suelos del sistema Carrizal Chone.

Profundidad	N	RCO en el horizonte Cs (t.ha <sup>-1</sup> )				RCO en el perfil (t.ha <sup>-1</sup> )			
		Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación
<b>Menos de 30</b>	18	0,15	0,08	0,14	91,72	6,83	2,00	8,37	122,51
<b>30 a 60</b>	27	1,40	0,26	4,41	314,56	15,14	11,00	10,43	68,88
<b>60 a 90</b>	20	0,34	0,26	0,22	65,92	11,98	9,00	8,08	67,44
<b>Más de 90</b>	10	0,26	0,28	0,17	66,47	9,50	10,50	5,42	57,06

Feller (1995) informó que la distribución del CO varió con la textura del suelo, ya que en suelos arenosos a arenosos-arcillosos de África occidental, las fracciones 20-2000  $\mu\text{m}$  y 0-2  $\mu\text{m}$  representan el 30 y el 36 % del carbono total del suelo, respectivamente, mientras que en los suelos arcillosos representan el 17 y el 58 % del carbono total del suelo, respectivamente.

Las perturbaciones antropogénicas (deforestación, cambio de uso de suelo, alteración de patrones hidrológicos) tienen gran impacto en las reservas de carbono, y hay evidencia clara de que la degradación de suelos en ecosistemas frágiles reduce en gran medida los contenidos de CO y aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> (Norton *et al.* 2011; De Carlo *et al.* 2019).

Por su parte, Srank y Simansky (2020) afirman que las reservas de CO en los suelos cultivables se pueden aumentar aplicando varios tipos de fertilizantes orgánicos (estiércol, biocarbón, abono verde) o minimizando la labranza; la aplicación de diferentes prácticas agronómicas pueden afectar la acumulación de CO, dependiendo de la tasa de mineralización de carbono, la cantidad y etapa de descomposición de los residuos vegetales y las adiciones de insumos orgánicos agregados, así como también, la conversión del uso de la tierra cultivable a otro tipo puede afectar las reservas de COS de manera diferente.

En el caso particular del ecosistema de la llanura Carrizal-Chone (Ecuador), Hernández-Jiménez *et al.* (2023) reportaron degradación de las propiedades físicas de suelos Feozem flúvico y cámbico, principalmente en el horizonte superior húmico acumulativo, debido al uso agrícola continuo y a la utilización de prácticas inadecuadas que condujeron a pérdidas de la condición de horizonte mólico.

Sandoval-Aparicio *et al.* (2022) encontraron que, en los suelos ribereños, la mayor acumulación de CO ocurre en los horizontes superficiales (54,8 %  $\pm$  22,8 %), en donde incorporación de la materia orgánica autóctona es el proceso más importante debido a la conservación de la vegetación; mientras que los horizontes enterrados y los depósitos de sedimentos contienen una porción importante del CO total del perfil (20,0 %  $\pm$  8,37 % y 10,04 %  $\pm$  9,53 %, respectivamente).

En la Reserva de la Biosfera Los Volcanes (México) se encontró que la diferencia de la reserva de carbono orgánico de los Fluvisoles entre las capas de 0-30 cm

y 0-50 cm era relativamente baja, lo cual se atribuyó a capas de arena de 30-40 cm presentes en los primeros 50 cm de la parte superior del perfil, los cuales tienen poca capacidad de captación de carbono en el suelo; en contraste, la diferencia del contenido de CO entre 50-100 cm en estos suelos es muy alto, debido a la presencia de horizontes A enterrados en estos Fluvisoles (Sandoval-Aparicio *et al.* 2022).

Estudios realizados por Ricker *et al.* (2012) en cuencas agrícolas con suelos aluviales profundos han reportado aportes importantes de CO mediante procesos de erosión – sedimentación (enterramiento). Similarmente, otras investigaciones reportaron más de 50 % del total del CO del suelo se almacenaba por debajo de 30 cm (Ricker *et al.* 2013) e incluso se encontraron horizontes enterrados ricos en C por debajo de 1,5 m (Blazejewski *et al.* 2009).

La transferencia de carbono orgánico a horizontes más profundos del suelo está relacionada con la lixiviación de compuestos orgánicos móviles de las capas superiores; dependiendo del suelo, las condiciones climáticas y las medidas agrotécnicas, la lixiviación de carbono orgánico puede variar de 8 a 10 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> hasta 170 a 310 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (Watkins *et al.* 2019). Cuando el CO se transporta a horizontes más profundos del suelo, el carbono orgánico contribuye al almacenamiento de carbono en el subsuelo y a la estabilidad de las sustancias húmicas.

Las prácticas de gestión de la tierra alteran las trayectorias hidrológicas y la dinámica del ciclo del carbono orgánico en las cuencas agrícolas. Los sistemas de cultivo intensivo son más propensos a la erosión superficial del suelo, particularmente en cuencas irrigadas, donde el transporte de sedimentos desde los campos al agua superficial promueve la solubilización de la materia orgánica (Spencer *et al.* 2019).

Para el proyecto de riego del sistema Carrizal – Chone, se puede esperar que las variaciones inducidas por el riego en el ciclo del C del suelo sean diferentes dependiendo de los efectos de las nuevas prácticas de manejo del agua y del suelo sobre los aportes y los mecanismos de estabilización del carbono en el suelo, así como la interacción crítica de las características físico-químicas del suelo y la naturaleza de la fase mineral del suelo con ellas, lo cual ha sido documentado en varias investigaciones (Zhou *et al.* 2016, Vázquez *et al.* 2020).

## CONCLUSIONES

El 51,7 % de los perfiles de suelos estudiados (75 perfiles) presentaron un horizonte arenoso Cs, el cual se encuentra, en mayor proporción, entre 30 y 90 cm de profundidad con 62,6 % de los horizontes.

La mayor reserva de carbono orgánico en el horizonte Cs correspondió a los ubicados entre 30 y 60 cm de profundidad con 6,8 t.ha<sup>-1</sup>, el cual tiene el mayor espesor en el perfil de suelo con un promedio 72,8 cm y está asociado a un gran evento de erosión – deposición ocurrido en el Cuaternario.

## LITERATURA CITADA

- Blazejewski, GA; Stolt, MH; Gold, AJ; Gurwick, N; Groffman, PM. 2009. Spatial distribution of carbon in the subsurface of riparian zones. *Soil Science Society of America Journal*, 73(5): 1733-1740. doi: [10.2136/sssaj2007.0386](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0386)
- De Carlo, ND; Oelbermann, M; Gordon, AM. 2019. Carbon dioxide emissions: Spatiotemporal variation in a young and mature riparian forest. *Ecological Engineering* 138: 353-361. doi: [10.1016/j.ecoleng.2019.07.036](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.036)
- Feller, C. 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments fonctionnels. Une approche granulométrique. Collection TDM, vol. 144, ORSTOM, Paris. 218 p.
- Ginebra-Aguilar, M; Rodríguez Alfaro, M; Calero Martín, B; Ponce de León, D; Font Vila, L. 2015. Carbono lábil como un indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos. *Cultivos Tropicales*, 36(3): 64-70. <https://bit.ly/3GZ1lg4>
- González-Molina, L; Etchevers-Barra, JD; Hidalgo-Moreno, C. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*, 42(7): 741-751. <https://bit.ly/487H6Oy>
- Hernández-Jiménez, A; García-Arteaga, DJ; Cabrera-Rodríguez, A; Vera-Macías, LR; Guzmán-Cedeño, AM. 2023. Cambios en las propiedades físicas de un suelo Feozem flúvico cámbico por el uso agrícola. *Cultivos Tropicales* 44(3): cu-id. <https://bit.ly/4av6aRn>
- Huang, J; Hartemink, AE. 2020. Soil and environmental issues in sandy soils. *Earth-Science Reviews* 208: 103295. doi: [10.1016/j.earscirev.2020.103295](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). 2014. Encuesta de superficie y Producción Agropecuaria Continua. INEC. Quito, Ecuador.
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma. 218 p. <https://bit.ly/3txsDfK>
- Marzouk, SH; Tindwa, HJ; Massawe, BH; Amuri, NA; Semoka, JM. 2023. Pedological characterization and soil fertility assessment of the selected rice irrigation schemes, Tanzania. *Frontiers in Soil Science*, 3: 1171849. doi: [10.3389/fsoil.2023.1171849](https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1171849)
- Mechri, M; Bouajila, K; Ziadi, N; Raza, T; Beltayef, H; Eash, NS; Jedidi, N; Gharbi, A; Hashem, A; Abd, EF. 2023. Soil Aggregation and Associated Organic Carbon and Total Nitrogen in a Sandy Loam Soil under Long-Term Tillage Effects. *Agronomy*, 13(10): 2520. doi: [10.3390/agronomy13102520](https://doi.org/10.3390/agronomy13102520)
- Mesías-Gallo, FW; Hernández-Jiménez, A; Vera-Macías, LR; Guzmán-Cedeño, AM; Cedeño-Sacón, ÁF; Ormaza-Cedeño, KP; López-Alava, GA. 2018. Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 27-33. <https://bit.ly/3TBrXRj>
- Norton, JB; Jungst, LJ; Norton, U; Olsen, HR; Tate, KW; Horwath, WR. 2011. Soil carbon and nitrogen storage in upper montane riparian meadows. *Ecosystems*, 14(8): 1217-1231. doi: [10.1007/s10021-011-9477-z](https://doi.org/10.1007/s10021-011-9477-z)
- Ricker, MC; Donohue, SW; Stolt, MH; Zavada, MS. 2012. Development and application of multi-proxy indices of land use change for riparian soils in southern New England, USA. *Ecological Applications* 22(2): 487-501. doi: [10.1890/11-1640.1](https://doi.org/10.1890/11-1640.1)

- Ricker, MC; Stolt, MH; Donohue, SW; Blazejewski, GA; Zavada, MS. 2013. Soil organic carbon pools in riparian landscapes of southern New England. *Soil Science Society of America Journal*, 77(3): 1070-1079. doi: [10.2136/sssaj2012.0297](https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0297)
- Rosales-Naranjo, L; Pérez-Rodríguez, M; Herrera-Puebla, J; González-Rodríguez, JA; Cid-Lazo, G. 2020. Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(4): 20-30. <https://bit.ly/3RV84Dt>
- Sandoval-Aparicio, JC; Gutiérrez Castorena, M; Cruz Flores, G; Ortiz Solorio, CA. 2022. Reservas de carbono y micromorfología de la materia orgánica en suelos ribereños en tres ecosistemas de alta montaña: volcán Iztaccíhuatl. *Madera y Bosques* 28(2). doi: [10.21829/myb.2022.2822469](https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822469)
- Searchinger, TD; Wiersenus, S; Beringer, T; Dumas, P. 2018. Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature* 564: 249–253. doi: [10.1038/s41586-018-0757-z](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0757-z)
- Soil Survey Staff. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. Versión en español. Oncena edición. USDA, 392 p.
- Spencer, RG; Kellerman, AM; Podgorski, DC; Macedo, MN; Jankowski, K; Nunes, D; Neill, C. 2019. Identifying the molecular signatures of agricultural expansion in Amazonian headwater streams. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences* 124 (6): 1637–1650. doi: [10.1029/2018JG004910](https://doi.org/10.1029/2018JG004910).
- Srank, D; Simansky, V. 2020. Differences in soil organic matter and humus of sandy soil after application of biochar substrates and combination of biochar substrates with mineral fertilizers. *Acta Fytotechn Zootechn* 23: 117–124. doi: [10.15414/afz.2020.23.03.117-124](https://doi.org/10.15414/afz.2020.23.03.117-124)
- Tripolskaja, L; Kazlauskaitė-Jadzevice, A; Baksienė, E; Razukas, A. 2022. Changes in organic carbon in mineral topsoil of a formerly cultivated Arenosol under different land uses in Lithuania. *Agriculture*, 12(4), 488. doi: [10.3390/agriculture12040488](https://doi.org/10.3390/agriculture12040488)
- Vázquez E, Benito M, Espejo R, Teutscherova N. Response of soil properties and microbial indicators to land use change in an acid soil under Mediterranean conditions. *Catena*. (2020). 189:104486. doi: [10.1016/j.catena.2020.104486](https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104486)
- Vera Macías, A; Hernández Jiménez, A; Mesías Gallo, FW, Cedeño Sacón, AF; Guzmán Cedeño, AM. 2019: Características de los suelos en las llanuras del Sistema Carrizal-Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Cultivos Tropicales*, Volumen 40, No. 2. <https://bit.ly/3RvCKd2>
- Vera Macías, LR; Mesías Gallo, FW; Cedeño Sacón, AF; Guzmán Cedeño, AM; Hernández Jiménez, A; Zambrano Pasmíño, DE. 2017. Aportes al conocimiento edafológico para lograr la agricultura sostenible del Sistema Carrizal-Chone. 1ra. Edición. Editorial Humus. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Calceta, Ecuador. ISBN: 974-9942-773-04. 187 p.
- Walkley, A; Black, IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263. doi: [10.1097/00010694-193401000-00003](https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003)
- Watkins, M.D.; Hulugalle, N.R.; Weaver, T.B.; Finlay, L.A.; McCorkell, B.E. Leaching of dissolved organic carbon and nitrogen under cotton farming systems in a Vertisol. *Soil Use Manag.* 2019, 35, 443–452. doi: [10.1111/sum.12510](https://doi.org/10.1111/sum.12510)
- Wiesmeier, M; Urbanski, L; Hobbey, E; Lang, B; Von Lütow, M; Marin-Spiotta, E; Van-Wesemael, B; Rabot, E; Lieb, M; Garcia-Franco, N; Wollschläger, U; Vogel, HJ; Kögel-Knabner, I. 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333: 149-162. doi: [10.1016/j.geoderma.2018.07.026](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026)
- Zhou, X; Zhou, L; Nie, Y; Fu, Y; Du, Z; Shao, J; Zheng, Z; Wang, X. 2016. Similar responses of soil carbon storage to drought and irrigation in terrestrial ecosystems but with contrasting mechanisms: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 228: 70-81. doi: [10.1016/j.agee.2016.04.030](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.030)