



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**TÍTULO: ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DEL CARBONO EN SUELOS DE  
MANGLAR EN ECUADOR CONTINENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO A  
OPTAR EL GRADO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:  
RODRIGO ANTONIO MIRANDA MUÑOZ**

**SAMBORONDÓN, FEBRERO 2022**

## Resumen

Los manglares son plantas leñosas halófitas encontradas a lo largo de las costas subtropicales y tropicales que, gracias a su estructura radicular y las altas tasas de sedimentación, hacen que sus bosques sean los reservorios más grandes de carbono azul en el mundo. En el Ecuador abarcan una superficie aproximada de 1570 km<sup>2</sup> y han desarrollado un papel importante en la sociedad, sin embargo, han sufrido grandes perturbaciones antropogénicas en el tiempo. El objetivo de este estudio es analizar la concentración de carbono en suelos de manglar del Ecuador continental. Se registraron datos de dasometría y tomas de muestras de suelo a diferentes intervalos de profundidad en nueve sitios estuarinos a lo largo de la costa, para determinar el porcentaje de carbono total. Se realizó una estandarización de datos de la dasometría para crear un Índice y relacionarlo con el porcentaje de carbono total. El Salado se dividió en dos zonas, y fue el único sitio donde se estimó el carbono orgánico total. Cayapas Mataje e Isla Bellavista presentaron los valores más altos de carbono total. Existe una relación lineal ligera entre Índice Dasométrico y el porcentaje de carbono total, que disminuye conforme aumenta la profundidad. Los sitios de "El Salado" presentaron almacenamientos de carbono orgánico total de 30,01 a 21,50 MgC/ha, a pesar de ser un remanente de manglar urbano representan un importante reservorio para el secuestro de carbono, por lo que su conservación debe de ser prioritaria.

**Palabras claves:** Carbono Total, Dasometría, Carbono Orgánico, Manglares, Densidad Aparente.

## Abstract

Mangroves are halophytic woody plants found along subtropical and tropical coasts, which thanks to their root structure and high sedimentation rates, make their forests the largest blue carbon reservoirs in the world. In Ecuador they cover an area of approximately 1570 km<sup>2</sup> and have developed an important role in society, however, they have suffered great anthropogenic disturbances over time. The objective of this study is to analyze the carbon concentration in mangrove soils of continental Ecuador. The data from dasometry and soil sampling at different depth intervals were recorded at nine estuarine sites along the coast to determine the percentage of total carbon in mangrove soils. El Salado was divided into two zones, and was the only site where total organic carbon was estimated. Cayapas Mataje and Isla Bellavista had the highest total carbon values. There is a slight linear relationship between the Dasometric Index and the percentage of total carbon, which decreases as depth increases. The "El Salado" sites presented total organic carbon storage of 30.01 to 21.50 MgC/ha, even though they are a remnant of urban mangroves, they represent an important reservoir for carbon sequestration, so their conservation should be a priority.

**Key words:** Total Carbon, Dasometry, Organic Carbon, Mangroves, Bulk Density.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas importantes porque regulan los gases de efecto invernadero, almacenando grandes cantidades de carbono generados en la tierra (Debanshi & Pal, 2022). Entre estos los más característicos son los manglares, los pastos sumergidos, las llanuras de inundación deltaicas, los estuarios, lagos y selvas inundables (Yañez - Arancibia & Day, 2010). Los manglares son comunidades de plantas leñosas halófitas y se encuentran a lo largo de las costas subtropicales y tropicales (Alongi, 2008). Albergan una gran cantidad de especies de aves, peces, moluscos y crustáceos (Pernia et al., 2019). Cubren sólo el 0,1% (163,925 km<sup>2</sup>) de la superficie continental (Hamilton & Casey, 2016), siendo su distribución a mayor extensión en Asia (42%), siguiendo en África (20%), América del Norte y Central (15%), Oceanía (12%) y América del Sur (11%) (Giri et al., 2011).

En Ecuador los manglares abarcan una superficie de 1570 km<sup>2</sup>, siendo las mayores áreas de manglar en el país encontradas a lo largo de estuarios de río como: Cayapas-Mataje, Muisne, Cojimíes, Chone, Guayas y Jubones-Santa Rosa-Arenillas (Cornejo, 2014). este ecosistema ha jugado un importante papel en el desarrollo de la sociedad (Rojas & Rojas, 2019), sin embargo, han sufrido perturbaciones como la deforestación, contaminación por coliformes fecales, aumento de nutrientes, contaminación por hidrocarburos, metales pesados, tensoactivos, residuos físicos y pérdida de superficie debido a la transformación de suelo por el crecimiento urbano (Pernia et al., 2019).

Los manglares, gracias a su estructura radicular compleja, las altas tasas de sedimentación, sus suelos anegados y anóxicos, dan como resultado tasas de enterramiento de carbono de magnitud mayor y tasas de renovación de carbono del suelo más lentas que las de los bosques terrestres (Alongi, 2012), siendo capaces de almacenar grandes cantidades de

carbono en el suelo en escalas milenarias (Atwood et al., 2017), estas características hacen que sus bosques sean los más ricos en carbono de los trópicos (Donato et al., 2011) y los reservorios más grandes de carbono azul en el mundo (Pendleton et al., 2012).

Su almacenamiento forma parte del ciclo del carbono el cual está en constante transferencia entre la atmósfera, la biosfera (los organismos vivos), la hidrosfera (agua) y la pedosfera (el suelo) (Singh, 2018); el carbono se fija en el suelo a través de productores primarios absorbiendo CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis y por procesos de descomposición de materia orgánica (Lal et al., 1998), donde parte del carbono regresa a la atmósfera por su mineralización y otra se deposita en fondos marinos en formas inorgánicas y en suelos como carbono orgánico (Archer, 2010).

Gracias a estudios realizados en las reservas de carbono en los manglares de Indonesia, demuestran que la mayor parte de este elemento se almacena en los suelos con un 78%, el resto, se distribuye entre la biomasa con un 20% y en la madera muerta o derribada con un 2%, siendo esta distribución similar en muchos ecosistemas de manglares del mundo (Murdiyarso et al., 2015). Debido a que el suelo representa la mayor reserva de carbono en los ecosistemas de manglares (Murdiyarso et al., 2021) mejorar su cuantificación es crucial para detener su transformación a suelos acuícolas o agrícolas (Kauffman et al., 2020).

### **Objetivo General:**

Estudiar la concentración de carbono en los suelos de nueve sitios de manglar del Ecuador continental.

### **Objetivos Específicos:**

1. Analizar el porcentaje carbono total del suelo de los manglares de Ecuador continental.
2. Relacionar los datos de dasometría con el porcentaje de carbono total de los sitios muestreados.
3. Estimar la reserva de carbono orgánico del suelo en sitios del manglar de El Salado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de Estudio**

El área de estudio está distribuida en nueve sitios de manglar en el Ecuador continental (Tabla 1), ubicados en zonas estuarinas de cuatro provincias de la región costa: Esmeraldas, Manabí, Guayas y El Oro. Dentro de las áreas de estudio, se encuentran áreas protegidas como: reservas ecológicas (Cayapas-Mataje y Manglares Churute), reservas de producción faunística (El Salado), refugios de vida silvestre (isla Corazón y Fragatas), áreas nacionales de recreación, sitios Ramsar (isla Santay) y zonas de acuerdos de uso sustentable y custodia a usuarios ancestrales (Nuevo Porvenir, Puerto Pitahaya, Bellavista e isla Puna) (Yáñez, 2016). La costa ecuatoriana tiene un clima tropical con una temperatura promedio entre 22 y 26°C (Portilla Farfán, 2018). La precipitación promedio aproximadamente de 1600 mm al año (Morán et al., 2016), caracterizada por dos estaciones: una lluviosa influenciada por la corriente oceánica cálida de El Niño, que va desde diciembre a mayo, y una estación seca influenciada por la corriente oceánica fría de Humboldt, de junio a noviembre (Rossel & Cadier, 2009). Sin embargo, la costa norte presenta lluvias durante todo el año adquiriendo los mayores niveles de precipitación de la región (Gálvez & Regalado, 2007).

**Tabla 1.** Coordenadas de los sitios de estudio.

| <b>Sitio</b>            | <b>Latitud</b> | <b>Longitud</b> |
|-------------------------|----------------|-----------------|
| Bellavista              | -3°38'66.77"   | -80°25'26.98"   |
| Churute                 | -2°42'56.46"   | -79°66'14.69"   |
| Cayapas Mataje          | 1°17'20.11"    | -79°07'78.51"   |
| El Salado               | -2°16'51.43"   | -79°91'67.12"   |
|                         | -2°09'36.82"   | -79°54'08.71"   |
| Isla Corazón y Fragatas | -6°49'53.07"   | -80°37'48.63"   |
| Isla Santay             | -2°21'35.36"   | -79°87'38.81"   |
| Nuevo Porvenir          | -2°67'24.08"   | -79°71'72.74"   |
| Pitahaya                | -3°39'57.48"   | -80°07'26.35"   |
| Puna                    | -3°42'54.04"   | -80°08'61.27"   |

## **Diseño Experimental**

### **Recolección de Datos y Toma de Muestras de Suelo**

Se establecieron cuatro parcelas de 250m<sup>2</sup> en cada uno de los sitios de estudio, se identificaron los individuos y especies de flora, la medida del diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta diamétrica marca Forestry Suppliers modelo 283D/10M, se hizo una aproximación de la altura desde la base hasta el ápice con referencia a la altura del investigador (Cisneros & Molina, 2017) y la superficie de la copa se midió con una cinta métrica marca “stanley”. Con un barreno ruso de 50 cm de profundidad, se realizó una toma de muestra en el

suelo a nivel vertical, la cual se dividió en núcleos a diferentes intervalos profundidad, la primera de 0-10 cm, la segunda de 20-30 cm y la tercera de 40-50 cm. Se tomó una muestra por parcela a excepción de las parcelas pertenecientes a “El Salado”, donde se realizó este proceso cuatro veces por parcela y se homogeneizaron las muestras. Para el traslado de todas las muestras, se las colocaron en una bolsa hermética rotulada y fueron llevadas al laboratorio de suelos y nutrición vegetal de la Escuela Superior del Litoral (ESPOL) para determinar el porcentaje de carbono total de todos los sitios y porcentaje de carbono orgánico de El Salado.

En las parcelas de El Salado se cavó un hueco de 50 cm de profundidad para determinar densidad aparente, el cual, se realizó a través del método del cilindro (Campbell, 1994), donde se insertó un cilindro de cobre de 6,33 cm de diámetro y 8,00 cm de altura, realizando cuatro veces en cada intervalo de profundidad de suelo. Para el traslado de todas las muestras se las colocaron en una bolsa hermética rotulada y fueron llevadas al laboratorio de ciencias ambientales de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo.

#### - **Análisis de Laboratorio**

Las muestras destinadas para el análisis de porcentaje de carbono total y carbono orgánico fueron realizadas mediante el método “Analizador automático C/N”. Las muestras de densidad aparente fueron secadas en una estufa incubadora marca “Quimis” por 48 hasta 72 horas a una temperatura de 60°C hasta que se obtuvo una masa constante (Howard et al., 2014), el peso de las muestras secas se multiplicó por el volumen del cilindro (251,63 cm<sup>3</sup>) para obtener g/cm<sup>3</sup>.

#### **Estandarización de Datos de Dasometría**

Los promedios de la cantidad de individuos, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), altura y superficie de copa por sitio fueron estandarizados a una escala de 0 a 1 y sumados para crear

un solo valor indicador (Guisande González et al., 2013) a cada variable se le aplicó la siguiente formula formula:

$$\square\square = \frac{\square - \square\square\square}{\square\square\square - \square\square\square}$$

donde:

- $\square\square$  es el valor estandarizado.
- $\square\square\square$  valor máximo de la variable.
- $\square\square\square$  valor mínimo de la variable.
- $\square$  cada uno de los valores de cada variable.

### **Almacenamiento de Carbono Orgánico**

El Salado se dividió en dos sitios (Parque Lineal Kennedy y Parque Ecológico Urdesa) a los cuales se les estimó el almacenamiento de carbono orgánico total (COT) de manera independiente, para esto se necesitaron tres variables:

1. La profundidad del terreno (para obtener el volumen del suelo por área).
2. La densidad aparente ( para obtener la masa del suelo por área).
3. Porcentaje de carbono orgánico ( para convertir la masa por área en C).

El porcentaje de CO del suelo se multiplicó por la densidad aparente, para obtener la densidad del carbono, seguido del intervalo de profundidad del suelo correspondiente para obtener el almacenamiento de Carbono Orgánico total (COT) del suelo por unidad de superficie (MgC/ha) (Murdiyarsó et al., 2009).

$$\text{COT} = (\% \text{CO} * \text{Densidad Aparente}) * (\text{Profundidad del suelo})$$

## **Análisis de Datos**

Se utilizaron los softwares R y SPSS estadístico versión 28.0.1.0 para el análisis de datos multivariados, se realizó la prueba de Shapiro Wilks para verificar la normalidad de los datos, seguido de la Prueba de Levene para evaluar la homocedasticidad. Por medio de un análisis de varianza ANOVA de una vía entre las variables (%CT, DA, %CO, COT) y sus profundidades, y los sitios e Índice Dasométrico, se verificó diferencias estadísticas en los datos ( $p < 0,05$ ), seguido de una comparación múltiple a través del método Tukey ( $p < 0,05$ ) para los datos significativos (Tabla 1). Se empleó la prueba de Kruskal Wallis para verificar diferencia estadística en los datos ( $p < 0,05$ ) de %CO del Parque Lineal Kennedy y sus profundidades, seguido de la prueba de Dunn para obtener las comparaciones ( $p < 0,05$ ). Se efectuaron regresiones lineales estableciendo como variable independiente el Índice Dasométrico y variable dependiente el carbono total correspondiente a los intervalos de profundidad (Figura 1), por último, se realizó una correlación de Spearman entre la densidad aparente y el carbono orgánico para verificar la relación entre las dos variables. La significancia de los valores  $p$  es  $\alpha = 0,05$ .

## **RESULTADOS**

El porcentaje de carbono total se encuentra de manera homogénea entre los intervalos de profundidad en los sitios de manglar, sin representar valores significativos entre las profundidades. Los análisis estadísticos demostraron diferencias significativas del porcentaje de carbono total entre sitios en su respectiva profundidad (Tabla 2). Los sitios con mayor porcentaje de carbono total fueron Bellavista y Cayapas-Mataje, mientras que los sitios isla Santay, Pitahaya e isla Puna fueron los que presentaron menores valores en correspondencia a

esta variable. El índice Dasométrico (ID) correspondiente a los valores de dasometría estandarizados, obtuvo el mayor valor en Cayapas-Mataje  $2,57 \pm 0,08$ , el cual presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con los demás sitios menos con el Estero Salado  $1,72 \pm 0,82$ . Puna por el contrario manifestó el valor de ID más bajo  $0,75 \pm 0,08$  y presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con Cayapas-Mataje y Estero Salado, el resto de sitios presentan similitudes. Las relaciones lineales entre el ID y los intervalos de profundidad dieron un  $R^2 = 0,36$  de 0-10 cm,  $R^2 = 0,34$  con el intervalo de 20-30 cm y  $R^2 = 0,28$  de 40-50 cm, con valores significativos ( $p < 0,05$ ) (Figura 1).

**Tabla 2.** Promedio del porcentaje de carbono total según los intervalos de profundidad, Índice Dasométrico (ID) y sus desviaciones estándar de los sitios de manglar en Ecuador Continental.

| Sitios           | Profundidad | %CT*                           | ID**                          |
|------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Isla Bellavista  | 0-10        | 10,49 $\pm$ 0,90 <sup>c</sup>  | 1,35 $\pm$ 0,15 <sup>ab</sup> |
|                  | 20-30       | 9,16 $\pm$ 1,32 <sup>d</sup>   |                               |
|                  | 40-50       | 9,54 $\pm$ 1,66 <sup>d</sup>   |                               |
| Cayapas - Mataje | 0-10        | 9,99 $\pm$ 3,10 <sup>bc</sup>  | 2,57 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup>  |
|                  | 20-30       | 10,04 $\pm$ 1,66 <sup>cd</sup> |                               |
|                  | 40-50       | 9,56 $\pm$ 1,67 <sup>d</sup>   |                               |
| Churute          | 0-10        | 4,51 $\pm$ 1,98 <sup>bc</sup>  | 1,47 $\pm$ 0,07 <sup>ab</sup> |
|                  | 20-30       | 4,30 $\pm$ 2,50 <sup>bc</sup>  |                               |
|                  | 40-50       | 5,30 $\pm$ 2,68 <sup>cd</sup>  |                               |
| El Salado        | 0-10        | 7,64 $\pm$ 3,15 <sup>bc</sup>  | 1,72 $\pm$ 0,82 <sup>bc</sup> |
|                  | 20-30       | 5,65 $\pm$ 2,12 <sup>cd</sup>  |                               |
|                  | 40-50       | 4,68 $\pm$ 1,80 <sup>c</sup>   |                               |

|                                |       |      |   |                     |                           |
|--------------------------------|-------|------|---|---------------------|---------------------------|
| <b>Isla Corazón y Fragatas</b> | 0-10  | 4,72 | ± | 6,20 <sup>b</sup>   | 1,49 ± 0,10 <sup>ab</sup> |
|                                | 20-30 | 4,45 | ± | 4,95 <sup>bc</sup>  |                           |
|                                | 40-50 | 4,27 | ± | 2,93 <sup>bcd</sup> |                           |
| <b>Isla Santay</b>             | 0-10  | 2,37 | ± | 1,10 <sup>ab</sup>  | 1,37 ± 0,17 <sup>ab</sup> |
|                                | 20-30 | 1,92 | ± | 0,92 <sup>ab</sup>  |                           |
|                                | 40-50 | 1,70 | ± | 0,71 <sup>ab</sup>  |                           |
| <b>Nuevo Porvenir</b>          | 0-10  | 2,71 | ± | 0,49 <sup>ab</sup>  | 1,42 ± 0,35 <sup>ab</sup> |
|                                | 20-30 | 3,81 | ± | 2,12 <sup>ab</sup>  |                           |
|                                | 40-50 | 2,75 | ± | 1,11 <sup>ab</sup>  |                           |
| <b>Pitahaya</b>                | 0-10  | 2,02 | ± | 2,20 <sup>ab</sup>  | 0,97 ± 0,35 <sup>ab</sup> |
|                                | 20-30 | 1,15 | ± | 2,37 <sup>a</sup>   |                           |
|                                | 40-50 | 0,92 | ± | 2,07 <sup>a</sup>   |                           |
| <b>Puna</b>                    | 0-10  | 0,82 | ± | 0,77 <sup>a</sup>   | 0,75 ± 0,08 <sup>a</sup>  |
|                                | 20-30 | 1,20 | ± | 1,11 <sup>a</sup>   |                           |
|                                | 40-50 | 2,00 | ± | 1,68 <sup>ab</sup>  |                           |

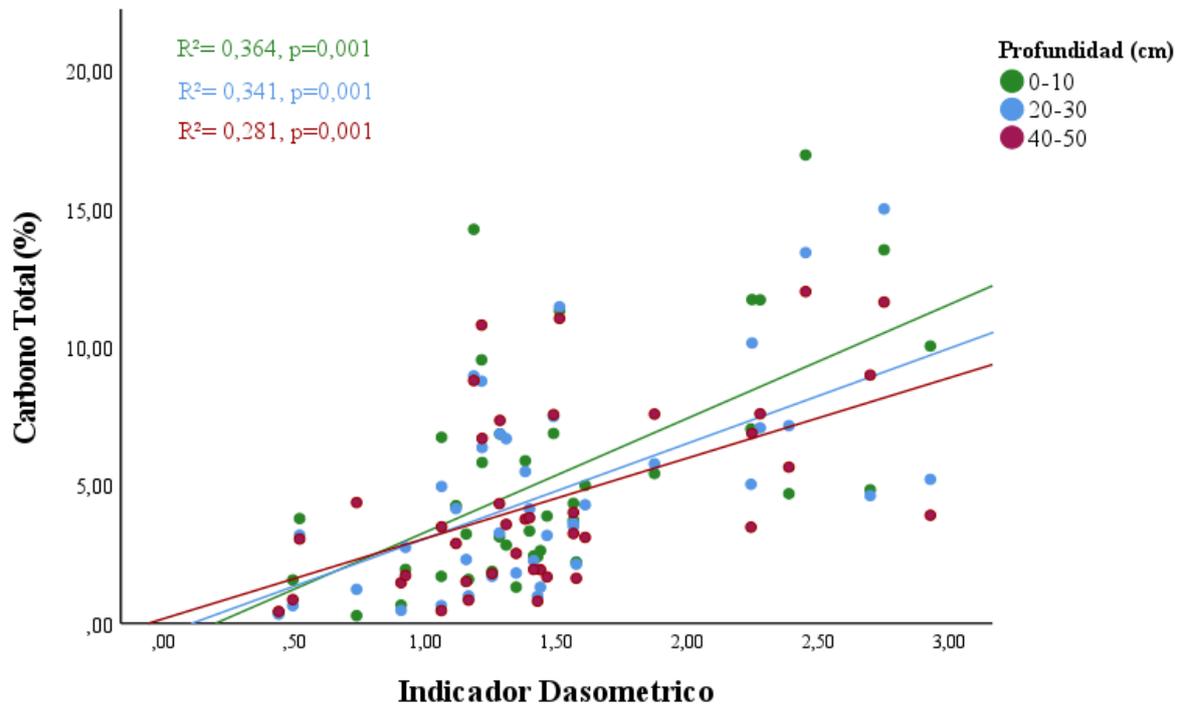
Estero salado presentó un n=8, mientras que en el resto de los sitios su n=4.

\*Superíndices con letras diferentes en “%CT” mostraron diferencias significativas entre sitios en respectiva profundidad.

\*\*Superíndices con letras diferentes en “ID” mostraron diferencias significativas entre sitios (p<0,05).

La densidad aparente varió de 0,50±0,29 a 0,64±0,28 g/cm<sup>3</sup> para el Parque Lineal Kennedy y de 0,52±0,16 a 0,73±0,10 g/cm<sup>3</sup> en Parque Ecológico Urdesa, tiende a aumentar la densidad aparente a medida que aumenta la profundidad del suelo (Tabla 3). La densidad aparente no presentó valores significativos entre las profundidades y su respectivo sitio. El porcentaje de carbono orgánico presentó valores 6,42±0,86 a 3,95±1,08 para el Parque Lineal Kennedy y valores de 4,31±1,40 a 2,97±0,45 en el Parque Ecológico Urdesa, en los dos sitios

disminuyó este valor a medida que aumentó la profundidad del suelo (Tabla 3). El Parque Lineal Kennedy presentó valores significativos ( $p < 0.05$ ) entre el porcentaje de carbono orgánico y los intervalos de profundidad. Se encontró una correlación inversa significativa ( $R_{\text{spearman}} = -0,68$ ,  $p = 0,001$ ) entre la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico (Figura 2).



**Figura 1.** Relaciones lineales entre el Indicador Dasométrico y el carbono total a distintas profundidades.

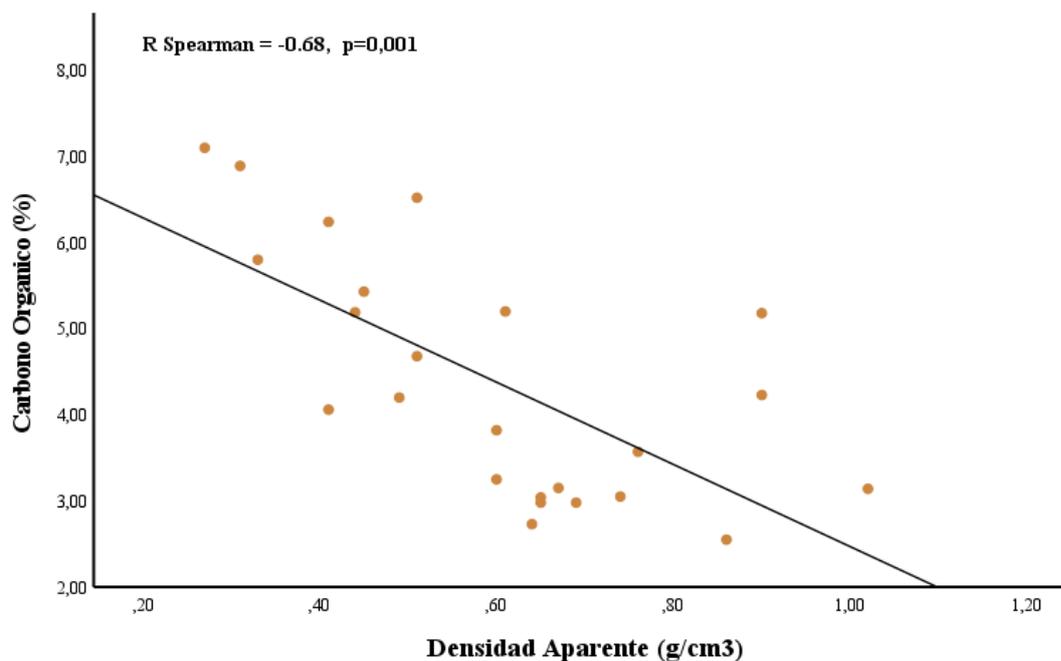
El COT en los dos sitios de El Salado no obtuvieron valores significativos entre los intervalos de profundidad. No obstante, se presenta una ligera disminución de COT en el Parque lineal Kennedy a medida que aumenta la profundidad. El Parque Ecológico Urdesa, presenta valores cercanos entre sus profundidades obteniendo el mayor COT en el intervalo de profundidad de 20-30 (Tabla 3). Se obtuvo mayores valores de COT en el Parque Lineal Kennedy respecto al Parque Ecológico Urdesa siendo estos de  $30,01 \pm 12,53$  MgC/ha a

20,36±1,64 MgC/ha de 0-10 cm, 27,51±7,17 MgC/ha a 23,58±5,6 MgC/ha de 20-30 cm y 23,53±6,52 MgC/h a 21,50±4,13 de 40-50 cm, esta última siendo valores cercanos.

**Tabla 3.** Promedio de la densidad aparente (DA), porcentaje de carbono orgánico (CO), y carbono orgánico total (COT) con sus desviaciones estándar de los sitios del Estero Salado: Parque Lineal Kenny (PLK) y Parque Ecológico Urdesa (PEU) según sus intervalos de profundidad.

| Variables               | Profundidad (cm) | N | PLK                       |       | PEU          |   | p     |
|-------------------------|------------------|---|---------------------------|-------|--------------|---|-------|
|                         |                  |   | Media                     | p     | Media        | p |       |
| DA (g/cm <sup>3</sup> ) | 0-10             |   | 0,50 ± 0,29               |       | 0,52 ± 0,16  |   |       |
|                         | 20-30            |   | 0,61 ± 0,21               | 0,739 | 0,62 ± 0,10  |   | 0,109 |
|                         | 40-50            |   | 0,64 ± 0,28               |       | 0,73 ± 0,10  |   |       |
| CO (%)                  | 0-10             |   | 6,42 ± 0,86 <sup>b</sup>  |       | 4,31 ± 1,40  |   |       |
|                         | 20-30            | 4 | 4,74 ± 1,06 <sup>ab</sup> | 0,019 | 3,86 ± 1,06  |   | 0,225 |
|                         | 40-50            |   | 3,95 ± 1,08 <sup>a</sup>  |       | 2,97 ± 0,45  |   |       |
| COT (MgC/ha)            | 0-10             |   | 30,01 ± 12,53             |       | 20,36 ± 1,64 |   |       |
|                         | 20-30            |   | 27,51 ± 7,17              | 0,616 | 23,58 ± 5,67 |   | 0,560 |
|                         | 40-50            |   | 23,53 ± 6,52              |       | 21,50 ± 4,13 |   |       |

\*Superíndices con letras diferentes mostraron diferencias significativas entre profundidades del mismo sitio (p<0,05)



**Figura 2.** Correlación de Spearman entre densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico.

## DISCUSIÓN

El carbono total fue más alto en cuatro áreas protegidas (Cayapas-Mataje, Churute, isla Corazón y fragatas y El Salado) y en un área concesionada a usuarios ancestrales del manglar (Isla Bellavista). Sin embargo, en un área protegida como isla Santay los niveles de carbono fueron más bajos al igual que otras áreas concesionadas a usuarios ancestrales (Puerto Pitahaya, isla Puná y Nuevo Porvenir).

En el caso de la reserva ecológica Cayapas-Mataje, los estudios realizados por Hamilton et al. (2016), demostraron que dentro de su bosque maduro existen los manglares más desarrollados en altura, tronco y sistema radicular en el pacifico sur, con manglares rojos (*Rhizophora spp.*) de 50 metros de alto y 100 cm de diámetro de tronco, y algunos manglares negros (*Avicennia germinans*) de 80 cm de diámetro de tronco (Cornejo, 2014), considerando que los bosques de manglar maduros están asociados con altas tasas de carbono en el suelo

(Donato et al., 2011) y que su Índice Dasométrico fue el más alto de todos los sitios ( $2,57 \pm 0,08$ ), esto podría explicar sus altos porcentajes. Las otras áreas protegidas como Manglares Churute e isla Corazón y Fragatas presentaron valores medios de carbono total entre los sitios muestreados y valores ID similares, esto evidencia que las áreas protegidas concentran mayores porcentajes de carbono.

El Salado presentó un Índice Dasométrico por debajo de Cayapas-Mataje, ya que si bien se observaron árboles de gran tamaño durante la recolección de datos, sus parcelas presentaron parches de alta deforestación, y según Lang'at et al. (2014), la degradación y perturbación del manglar puede afectar rápidamente el carbono en más allá de un metro de profundidad, además, dentro de estos suelos se ha encontrado desplazamiento de manglar por asentamientos urbanos (Rojas & Rojas, 2019) y contaminación por metales pesados como: B, Cd, Cu, Pb, Se, V y Zn dentro de sus sedimentos (Fernández Cadena et al., 2014), sin embargo se encontraron valores de carbono total mayores ( $7,65$ -intervalo superficial a  $4,68$  intervalo profundo) a áreas protegidas muestreadas, probablemente por su interacción con efluentes con carga de materia orgánica y carbono inorgánico provenientes de la urbe.

La Isla Bellavista en cambio es una zona de manglar cercana a las 36.065 hectáreas concesionadas a la asociación de pescadores con Acuerdo de Uso Sustentable y Custodia del Manglar (Naranjo et al., 2018), este presenta valores de porcentaje de carbono total altos en los intervalos de profundidad, muy semejantes a los de Cayapas-Mataje, sin embargo su Índice Dasométrico es significativamente diferente al de este sitio ( $ID 1,35 \pm 0,15$ ), por esto, su semejanza de carbono se puede relacionar con el material orgánico particulado procedente de los efluentes de los estanques de camarón cercanos, como lo demostraron Aschenbroich et al. (2015), en los sedimentos de manglar de la bahía de San Vicente al oeste de Nueva Caledonia,

donde la actividad acuícola enriqueció de materia orgánica fresca, específicamente de bacterias, hongos y diatomeas, que aceleraron la descomposición de hojarasca de la zona.

Por el contrario, las muestras de la Puerto Pitahaya, Isla Puná e Isla Santay presentaron los valores de carbono total más bajos ( $\%CT < 2,50$ ), en los dos primeros sitios mencionados, su valor de Índice Dasométrico es similar y se encontró por debajo a 1, además, las muestras fueron recolectadas en salitrales, y su baja concentración está relacionada a que en estos ambientes exorreicos el carbono es más bajo debido a que están limitados por la amplitud de las mareas y las entradas de agua dulce son insignificantes, perdiendo propiedades del suelo y disponibilidad de nutrientes, obteniendo condiciones áridas (Castaneda-Moy et al., 2013; MacKenzie et al., 2020), concentraciones similares se pueden observar en manglares en la bahía de Tampa y el Golfo Árabe (3%-0.5%) (Schile et al., 2016; Dontis et al., 2020). La baja concentración en la Isla Santay no se puede asociar a estos ambientes, pero sí a la presencia de 12 especies de plantas exóticas (Herrera et al., 2018), puesto que estas afectan a los microorganismos del suelo (Vilà & Weiner, 2004).

Las regresiones entre el Indicador y los intervalos de profundidad da a entender que las variables dasométricas influyen con un 0,36 de 0-10 cm, 0,34 de 20-30 cm, 0,28 de 40-50 cm en el carbono total sobre las profundidades antes mencionadas, sin embargo, estos valores corresponden a carbono orgánico e inorgánico, teniendo en cuenta que se pueden encontrar concentraciones de carbonatos en los suelos de manglar de origen alóctono, litógeno y producido por organismos calcificadores (Guan et al., 2018). Por lo que seguramente si se hace un análisis del porcentaje de carbono orgánico en los sitios y se relacionan con los datos de dasometría, esta podría aumentar, pero hay que tener presente que esta relación no es tan estrecha (Herrera et al., 2016), dado que, si bien una fracción significativa del carbono en estos

suelos es gracias a la vegetación (Alongi & Tirendi, 1989) a través de la hojarasca, las raíces o muerte de plantas individuales (Alongi et al., 2005; Mukherjee et al., 2013), existen otras fuentes que proporcionan importantes aportes al carbono orgánico (Kristensen et al., 2008) como: material alóctono fluvial o marino, producción autóctona por especies bentónicas o epífitas, micro o macroalgas, y producción local de columna de agua por fitoplancton (Bouillon et al., 2004), estas contribuciones dependen de la ubicación del bosque (Alongi, 2014).

Las bajas densidades aparentes en los sitios del Estero Salado y su aumento conforme incrementa la profundidad, evidencia que la superficie presenta suelos con baja compactación, alta porosidad y mayor retención de agua, mientras que a más profundidad la compactación aumenta, la porosidad y retención de agua disminuye (Soane & Ouwerkerk, 1995; Greacen & Sands, 1980). Estos valores concuerdan con estudios realizados en bosques de manglar de la Reserva Natural Zhanjiang al sur de China (Zhang et al., 2021) y manglares en la Reserva de la Biosfera de Marismas Nacionales, Nayarit en México (Agraz et al., 2020).

El porcentaje de carbono orgánico en los dos sitios muestreados presentan valores bajos (< 7%) en comparación al suelo de bosques de manglares altos y medianos en el caribe de México donde sitios como isla Pitaya y Laguna Negra donde sus suelos presentaron valores mayores a 20% en todas sus profundidades hasta 50 cm (Adame et al., 2013). La influencia de mareas presenta un papel importante en este resultado, dado que sus suelos no permanecen la totalidad del tiempo inundados, dando paso a procesos aeróbicos (Alongi, 2012). Por otro lado, el porcentaje de carbono orgánico disminuye conforme aumenta la profundidad, este es un patrón natural común de los bosques, definido como disminución regular del carbono orgánico (Bornemisza & Fassbender, 1987), ya que generalmente la capa superficial es la que recibe mayor aporte de carbono orgánico (materia orgánica) (Alongi, 2014). El carbono orgánico

aumenta la macroporosidad del suelo y es por esto que se encuentra relacionada inversamente con la densidad aparente, esta información se corrobora con la correlación ( $R_{\text{spearman}} = -0,68$ ,  $p=0,001$ ) (Figura 2) y con estudios realizados por Kauffman et al. (2014), determinan que las muestras de carbono orgánico más bajas en Manglares del Parque Nacional Montecristi en República Dominicana tienen generalmente mayor densidad aparente.

El COT encontrado en El Salado (Tabla 3) demuestra la capacidad del suelo de manglar para almacenar grandes cantidades de carbono (Donato et al., 2011). Los mayores valores que presenta el parque lineal Kennedy en los intervalos de 0-10 cm y 20-30 cm en comparación al parque ecológico Urdesa se debe a su mayor porcentaje de carbono orgánico, debido a que en este sitio se encontraron mejores condiciones del bosque de manglar con mayor cantidad de individuos, árboles con mayor altura y diámetro, capaces de retener mayor sedimento y de producir mayor carbono autóctono (Alongi, 2012). A pesar de que estos suelos se encuentran dentro de una urbe, sobrepasan valores de suelo de bosque maduro en la bahía de Tampa (Dontis et al., 2020) y se acercan a valores de manglares de Punta Gorda dentro de la Reserva de Biosfera Sian Ka'an en México (Adame et al., 2013) (Tabla 4), pero el COT encontrado es bajo en comparación con sitios como Ruunuw en micronesia ( 55,10-70,00 MgC/ha) y más aún, comparándolo con los manglares de Punta Gorda (139,00-180,00 MgC/ha) (Tabla 4) donde obtuvieron mayores valores de porcentaje de carbono orgánico dentro de sus suelos (>20%).

**Tabla 4.** Comparación de COT en diferentes ecosistemas de manglar en el mundo.

| Sitio                    | Profundidad | MgC/ha        | Referencia   |
|--------------------------|-------------|---------------|--------------|
| El Salado (PLK), Ecuador | 0-10        | 30,01 ± 12,53 | Este estudio |
|                          | 20-30       | 27,51 ± 7,17  |              |

|                          |       |        |   |       |                       |
|--------------------------|-------|--------|---|-------|-----------------------|
|                          | 40-50 | 23,53  | ± | 6,52  |                       |
|                          | 0-10  | 20,36  | ± | 1,64  |                       |
| El Salado (PEU), Ecuador | 20-30 | 23,58  | ± | 5,67  | Este estudio          |
|                          | 40-50 | 21,50  | ± | 4,13  |                       |
|                          | 0-15  | 37,00  | ± | 4,00  |                       |
| Punta Gorda, México      | 15-30 | 35,00  | ± | 1,00  | Adame et al., 2013    |
|                          | 30-50 | 46,00  | ± | 5,00  |                       |
|                          | 0-15  | 139,00 | ± | 15,10 |                       |
| Isla Pitaya, México      | 15-30 | 115,00 | ± | 14,10 | Adame et al., 2013    |
|                          | 30-50 | 180,00 | ± | 12,90 |                       |
|                          | 0-15  | 55,10  | ± | 9,90  |                       |
| Ruunuw, Micronesia       | 15-30 | 62,00  | ± | 13,00 | Kauffman et al., 2011 |
|                          | 30-50 | 70,00  | ± | 6,50  |                       |
|                          | 0-10  | 24,30  | ± | 4,30  |                       |
|                          | 10-20 | 18,90  | ± | 2,90  |                       |
| Bahía Tampa, USA         | 20-30 | 12,70  | ± | 2,20  | Dontis et al., 2020   |
|                          | 40-50 | 11,30  | ± | 6,20  |                       |

---

A pesar de que se evidencia la capacidad de los manglares para almacenar grandes cantidades de carbono. El potencial para corregir el desequilibrio de CO<sub>2</sub> y frenar el cambio climático es mínimo, esto, porque la cantidad de carbono secuestrado seguiría siendo minúscula en comparación con la tasa anual de emisiones de CO<sub>2</sub> (30,6 Gt) generados a la atmósfera (Alongi, 2014) (Farmer & Cook, 2015), sin embargo, evitar las emisiones de gases

de efecto invernadero (GEI) por la pérdida de estas reservas de C del suelo por el cambio de uso de suelo (0,2% por año) es una opción de bajo coste para mitigar el cambio climático (Atwood et al., 2017).

### **Límites del Estudio**

- 1.- Los sitios de El Salado (PLK y PEU) fueron los únicos donde se analizó el carbono orgánico y la densidad aparente. Debido a que en los otros sitios solo se analizó el carbono total, no fue posible comparar el almacenamiento de carbono orgánico total entre todo el área de estudio.
- 2.- Para el análisis del carbono total y orgánico no se consideraron las profundidades propuestas por autores de estudios similares, sino que se tomó la recomendación del laboratorio de suelos y nutrición vegetal de la ESPOL (0-10, 20-30,40-50 cm)

### **CONCLUSIÓN**

Los bosques maduros de manglares (Cayapas-Mataje) y bosques intervenidos (isla Bellavista y El Salado) almacenan más carbono aunque estos últimos reciben efluentes de zonas urbanas y acuícolas con materia orgánica, que incrementa los niveles de carbono, mientras que los sitios de salitrales con baja cobertura vegetal tuvieron porcentajes de carbono total más bajos (<2,5).

Existe una relación lineal ligera significativa entre los datos dasométricos y el porcentaje de carbono total (datos), evidenciando que, al aumentar la densidad de individuos,

diámetro, altura y cobertura, el porcentaje de carbono total aumenta, por tanto, la conservación del manglar es esencial para el almacenamiento de carbono.

La densidad aparente presenta valores bajos ( 0,50-0,73 g/cm<sup>3</sup> ) y se encuentra inversamente relacionada con el porcentaje de carbono orgánico del suelo. El carbono orgánico de los sitios de El Salado osciló entre 6,41 a 4,31 en el intervalo de suelo superficial y disminuye a medida que aumenta la profundidad del suelo llegando a valores 3,95 a 2,97, debido al constante flujo de entrada y mineralización del carbono de la superficie. Se evidenció que el carbono orgánico total en sitios de El Salado a diferentes intervalos de profundidad presentó valores entre 30,01 y 20,36 MgC/ha, a pesar que los sitios estudiados son un remanente de manglar urbano representan un importante reservorio para el secuestro de carbono, por lo que su conservación debe ser prioritaria.

En futuros estudios de carbono se recomienda analizar el carbono orgánico e inorgánico, para diferenciar su almacenamiento, además, medir la densidad aparente porque permite analizar la compactación y porosidad del suelo, el volumen de retención del agua que influye en el crecimiento de las raíces de los árboles.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Adame, M., Kauffman, J. B., Medina<sup>1</sup>, I., Gamboa, J., Torres, O., Caamal, J. P., Reza, M., & Herrera-Silveira, J. A. (2013). Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8(2).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056569>

- Agraz, C., Chan, C., Chávez, J., Osti, J., Expósito, G., Alonso, V., Muñoz, R., Ruiz, A., Hascibe, L., Sánchez, J., & Rivera, E. (2020). Reserva de carbono en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años. *Revista mexicana de biodiversidad*, *91*. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2910>
- Alongi, D. M. (2008, January). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *76*(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, *3*(3), 313-322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>
- Alongi, D. M. (2014). Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *The Annual Review of Marine Science*, *6*, 195–219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Alongi, D. M., Pfitzner, J., Trott, L. A., Tirendi, F., Dixon, P., & Klumpp, D. W. (2005). Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove *Kandelia candel* in the Jiulongjiang Estuary, China. *63*(4), 605-618. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.01.004>
- Alongi, D. M., & Tirendi, F. (1989). Effect of exported mangrove litter on bacterial productivity and dissolved organic carbon fluxes in adjacent tropical nearshore sediments. *Marine Ecology Progress Series*, *56*, 133-144. <https://doi.org/10.3354/MEPS056133>
- Archer, D. (2010). *The Global Carbon Cycle*. Princeton University Press.
- Aschenbroich, A., Marchand, C., Molnar, N., Deborde, J., Hubas, C., Rybarczyk, H., & Meziane, T. (2015, April 15). Spatio-temporal variations in the composition of organic matter in surface sediments of a mangrove receiving shrimp farm effluents

(New Caledonia). *Science of the Total Environment*, 512–513, 296-307.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.082>

Atwood, T. B., Connolly, R. M., Almahasheer, H., Carnell, P. E., Duarte, C. M., Ewers Lewis, C. J., Irigoien, X., Kelleway, J. J., Lavery, P. S., Macreadie, P. I., Serrano, O., Sanders, C. J., Santos, I., L. Steven, A. D., & Lovelock, C. E. (2017, June 26). Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, (7), 523-528. Nature. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>

Bornemisza, E., & Fassbender, H. W. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA.

Bouillon, S., Moens, T., Overmeer, I., Koedam, N., & Dehairs, F. (2004, September). Resource utilization patterns of epifauna from mangrove forests with contrasting inputs of local versus imported organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 278, 77-88. <https://doi.org/10.3354/meps278077>

Campbell, D. J. (1994). Chapter 6 - Determination and Use of Soil Bulk Density in Relation to Soil Compaction. *Developments in Agricultural Engineering*, 11, 113-139. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88286-8.50014-3>

Castaneda-Moy, E., Twilley, R. R., & Rivera-Monroy, V. H. (2013). Allocation of Biomass and Net Primary Productivity of Mangrove Forests along Environmental Gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. *Forest Ecology and Management*, 307, 226-241. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.011>

Cisneros Bohórquez, J. C., & Molina Moreira, N. (2017, Marzo). Evaluación del Bosque Seco Tropical del Parque Histórico Guayaquil. *Investigatio*, (9), 1-27.

Cornejo, X. (Ed.). (2014). *Plants of the South American Pacific Mangrove swamps: (Colombia, Ecuador, Perú)*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales.

- Debanshi, S., & Pal, S. (2022, February 20). Assessing the role of deltaic flood plain wetlands on regulating methane and carbon balance. *Science of the Total Environment*, 808(152133). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152133>
- Donato, D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011, April 03). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293-297. <https://doi.org/10.1038/NGEO1123>
- Dontis, E. E., Radabaugh, K. R., Chappel, A. R., Russo, C. E., & Moyer, R. P. (2020, March 18). Carbon Storage Increases with Site Age as Created Salt Marshes Transition to Mangrove Forests in Tampa Bay, Florida (USA). *Estuaries and Coasts*, 43, 1470–1488. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00733-0>
- Farmer, G. T., & Cook, J. (2015). *Climate Change Science: A Modern Synthesis: Volume 1 - The Physical Climate*. Springer Netherlands.
- Fernandez Cadena, J. C., Andrade, S., Silva Coello, C. L., & de la Iglesia, R. (2014, May 15). Heavy metal concentration in mangrove surface sediments from the north-west coast of South America. *Marine Pollution Bulletin*, 82(1-2), 221-226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.016>
- Gálvez, H., & Regalado, J. (2007). Características de las precipitaciones, la temperatura del aire y los vientos en la costa ecuatoriana. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 14(1), 201-205.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011, January). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Greacen, E., & Sands, R. (1980). Compaction of forest soils. A review. *Australian Journal of Soil Research*, 18(2), 163-189. <https://doi.org/10.1071/SR9800163>

- Guan, W., Xiong, Y., & Liao, B. (2018, November). Soil inorganic carbon in mangroves of tropical China: patterns and implications. *Biology Letters*, *14*(11), 2-5.  
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0483>
- Guisande González, C., Vaamonde Lise, A., & Barreiro Felpeto, A. (2013). *Tratamiento de datos con R, Statistica y SPSS*. Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Hamilton, S., Lovette, J. P., Borbor, M. J., & Millones, M. (2016, October). The Carbon Holdings of Northern Ecuador's Mangrove Forests.  
<http://dx.doi.org/10.1080/24694452.2016.1226160>
- Hamilton, S. E., & Casey, D. (2016, March 21). Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, *25*(6), 729-738.  
<https://doi.org/10.1111/geb.12449>
- Hernández de la Torre, B. (2007). *Carbono en ecosistemas acuáticos de México* (B. Hernández de la Torre & G. Gaxiola Castro, Eds.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Herrera, I., Ordoñez, L., Cruz-Cordovez, C., & Rizzo, K. (2018, Noviembre). Malezas y Plantas Exóticas en las Cercanías de una Ciclo-vía en un Área Protegida y Sitio Ramsar (Isla Santay) en la Costa de Ecuador. *Investigatio*, (11), 17-28.  
<https://doi.org/10.31095/investigatio.2018.11.2>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., E, P., & M, T. (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Kauffman, J. B., Adame, M. F., Arifanti, V. D., Schile-Beers, L., Bernardino, A. F., Bhomia, R., Donato, D., Feller, I. C., Ferreira, T., Jesus Garcia, M. d. C., Mackenzie, R.,

- Megonigal, P., Murdiyarso, D., Simpson, L., & Hernandez Trejo, H. (2020, January). Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological Monograph*, *90*(2). <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>
- Kauffman, J. B., Heider, C., Cole, T. G., Dwire, K. A., & Donato, D. C. (2011). Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. *Wetlands*, *31*, 343–352. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0148-9>
- Kauffman, J. B., Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. (2014). Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, *24*(3), 518–527. <https://doi.org/10.1890/13-0640.1>
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., & Marchand, C. (2008, August). Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, *89*(2), 201-219. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
- Lal, R., Stewart, B. A., Kimble, J. M., & Follett, R. F. (Eds.). (1998). *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC-Press.
- Lang'at, J. K. S., Kairo, J. G., Mencuccini, M., Bouillon, S., Skov, M. W., Waldron, S., & Huxham, M. (2014, September). Rapid Losses of Surface Elevation following Tree Girdling and Cutting in Tropical Mangroves. *PLoS ONE*, *9*(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107868>
- MacKenzie, R., Sharma, S., & Rovai, A. (2020). *Chapter 12 - Environmental drivers of blue carbon burial and soil carbon stocks in mangrove forests*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816437-2.00006-9>
- Millennium Ecosystem Assessment (Program). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.

Ministerio Del Ambiente. (2014). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje*.

Monserate, L., Medina, J., & Calle, P. (2011). *Estudio de Condiciones Físicas, Químicas y Biológicas en la Zona Intermareal de Dos Sectores del Estero Salado con Diferente Desarrollo Urbano* [Tesis de grado presentada para la Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Guayaquil.

Morán, E., Bazo, J., López, J., Aguilar, E., Azorín, C., Sanchez, A., Martínez, R., Nieto, J. J., Mejía, R., Martín, N., & Vicente, S. (2016). Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.4597>

Mukherjee, J., Ray, S., & bhusan, P. (2013, March). A system dynamic modeling of carbon cycle from mangrove litter to the adjacent Hooghly estuary, India. *Ecological Modelling*, 252(1), 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.06.036>

Murdiyarso, D., Donato, D., Kauffman, J. B., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2009). Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems. A preliminary account from plots in Indonesia. *Center for International Forestry Research*.

Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015, July 27). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5, 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>

Murdiyarso, D., Sasmito, S. D., Sillanpää, M., MacKenzie, R., & Gaveau, D. (2021, June 10). Mangrove selective logging sustains biomass carbon recovery, soil carbon, and sediment. *Scientific Reports*, 11(12325). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91502-x>

Naranjo, C., Toledo, E., López, F., Morocho, J., Riofrío, M., & Jurrius, I. (2018). Hacia un manejo adaptativo de los ecosistemas costeros de la provincia de El Oro, Ecuador.

Sistematización de la aplicación de la metodología Manejo Adaptativo de Riesgo y Vulnerabilidad en Sitios de Conservación (MARISCO).

Ola, A., Staples, T. L., Robinson, N., & Lovelock, C. E. (2020). Plasticity in the Above- and Below-Ground Development of Mangrove Seedlings in Response to Variation in Soil Bulk Density. *Estuaries and Coasts*, 43, 111–119. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00660-9>

Pendleton, L., Donato, D., Murray, B., Crooks, S., Jenkins, W., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., & Alexis Baldera, A. (2012, September 04). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9), 1-7. Plos One. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>

Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018, Junio). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>

Pernia, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador. In *Manglares del Ecuador* (pp. 374-419). Universidad de Especialidades Espíritu Santo.

Portilla Farfán, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Editorial Abya-Yala.

Rojas, M., & Rojas, D. (2019, Junio). El Estero Salado en el Desarrollo Urbano de Guayaquil Crónicas de un Recurso Natural en Decadencia. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*, 11. <https://doi.org/10.5821/SIIU.6590>

- Rossel, F., & Cadier, E. (2009, October 30). El Niño and prediction of anomalous monthly rainfalls ~ in Ecuador. *Hydrological Processes*, 23(22), 3253–3260.  
<https://doi.org/10.1002/hyp.7401>
- Schile, L. M., Kauffman, J. B., Crooks, S., Fourqurean, J. W., Glavan, J., & Megonigal, J. P. (2016, December). Limits on Carbon Sequestration in Arid Blue Carbon Ecosystems. *Ecological Applications*, 27(3). <https://doi.org/10.1002/eap.1489>
- Singh, B. (Ed.). (2018). *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03949-9>
- Soane, B. D., & Ouwerkerk, C. V. (1995). Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil and Tillage Research*, 35(1-2), 5-22.  
[https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00475-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00475-8)
- Vilà, M., & Weiner, J. (2004, March 22). Are invasive plant species better competitors than native plant species? – evidence from pair-wise experiments. *OIKOS*, (105), 229/238.  
<https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.12682.x>
- Yáñez, P. (2016, Junio). Las Áreas Naturales Protegidas del Ecuador: Características y Problemática General. *Qualitas*, 11, 45-55.
- Yáñez - Arancibia, A., & Day, J. (2010). La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero. *Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino*, 3-22.  
[http://etzna.uacam.mx/epomex/publicaciones/Cambio\\_Climatico/CCMexico1B.pdf](http://etzna.uacam.mx/epomex/publicaciones/Cambio_Climatico/CCMexico1B.pdf)
- Zhang, Y., Yu, C., Xie, J., Du, S., Feng, J., & Guan, D. (2021). Comparison of fine root biomass and soil organic carbon stock between exotic and native mangrove. *Catena*, 204(105423). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105423>