

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“ANÁLISIS DEL SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE
MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO EN ZONAS DE
HUMEDALES COSTEROS EN EL CARIBE Y PACÍFICO
DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ”**

BRILLIT ARLET DELLA SERA CHAVEZ
CEDULA: 8-915-209

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2025

**"ANÁLISIS DEL SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA Y CARBONO EN ZONAS DE HUMEDALES COSTEROS EN EL
CARIBE Y PACÍFICO DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ"**

**TRABAJO DE TESIS SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

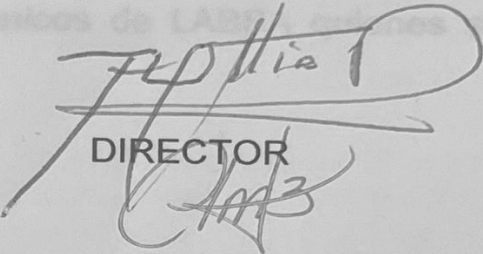
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL
DEBE SER OBTENIDO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.**

APROBADO:

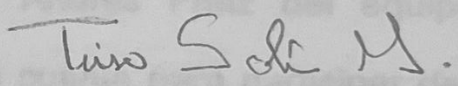
ING. AMILCAR BEITIA MSc.


DIRECTOR

Dra. Ana Villareal


JURADO

Ing. Tirso Solís MSc.


JURADO

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme el don de la vida y dejar algún aporte al conocimiento científico, por darme la fortaleza necesaria para no doblegarme antes las adversidades y sobre todo por mantenerme con salud y determinación para culminar esta fase de la vida.

Agradezco a mis profesores quienes fueron pilares durante la carrera en especial a mi asesor al Ing. Amilcar Beitia M.Sc. por su paciencia y comprensión. También agradecer a las profesoras y técnicos de LABSA quienes siempre estuvieron apoyándome con la investigación.

Un reconocimiento especial al Ing. Andrés Fraiz del equipo de Wetlands Internacional por haberme tomado en cuenta para participar dentro de su gran investigación sobre Turberas y a la Secretaria Nacional de Ciencias y Tecnologías (Senacyt) por haber financiado dicha investigación.

Brillit

DEDICATORIA

El esfuerzo de este trabajo de investigación se lo dedico a mi hijo Ethan Martínez, quien, es para mí, la persona más importante de mi vida, a mi madre, Yessica Chávez, por su orientación durante mis estudios e inculcarme el amor y respeto hacia la naturaleza.

A todas mis primas que siempre han estado para apoyarme en lo que necesite.

A todos mis amigos y compañeros que, de alguna u otra forma, contribuyeron a culminar esta etapa.

Brillit

**DELLA SERA, B. 2025. “ANÁLISIS DEL SUELO PARA LA DETERMINACION
DE MATERIA ORGANICA Y CARBONO EN ZONAS DE HUMEDALES
COSTEROS EN EL CARIBE Y PACÍFICO DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ”
TESIS UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

Palabras claves: humedales de agua dulce, materia orgánica, suelo, carbono, secuestro de carbono.

RESUMEN

Panamá evidencia una falta de información científica en cuanto a humedales y eso afecta directamente estos ecosistemas, ya que sin datos precisos sobre la importancia y servicios eco sistémicos que nos brindan los humedales, los responsables de la toma de decisiones pueden implementar políticas que no los protejan debidamente, además de la falta de conciencia sobre su valor puede llevar a actividades destructivas como la urbanización y contaminación. La presente investigación representa el esfuerzo de cooperación entre la Universidad de Panamá y organismos sin fines de lucro como lo es Wetlands International las cuales buscan consensuar soluciones frente a la realidad que atraviesa el mundo entero ante el cambio climático y sus efectos negativos. El objetivo principal de esta investigación es obtener una base de datos de Carbono y materia orgánica de los suelos de Portobelo en la provincia de Colón y Tonosí en la provincia de Los Santos, los cuales carecen de información previa, para así poder brindar una línea base que le permita a las autoridades competentes una mejor toma de decisiones en cuanto estos ecosistemas y todo su potencial. El estudio se llevó a cabo en la provincia de Los Santos y en la provincia de Colón. El muestreo consistió en recolectar muestras de suelo de diferentes profundidades de 0-15 centímetros; 15-30 cm ; 30-50 cm y 50-100 cm. La muestra medía 6 cm de largo x 2.5 cm de ancho en semicírculo . Se escogieron siete (7) sitios de estudio en Tonosí y seis (6) en Portobelo. Todas las muestras fueron procesadas y analizadas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (LABSA). El carbono total para el sitio de Tonosí fue de 106.26 tC/has en un área de estudio de 304 hectáreas en época seca, mientras que para la zona de Portobelo fue de 355.09 tC/has en 253 hectáreas en época lluviosa. Los resultados de materia orgánica para Tonosí fue de 2.14 % y para Portobelo fue de 25.37 %.

SUMMARY

Panama shows a lack of scientific information regarding wetlands and that directly affects these ecosystems, since without precise data on the importance and ecosystem services that wetlands provide, decision-makers can implement policies that do not protect them properly, in addition to the lack of awareness about their value can lead to destructive activities such as urbanization and pollution. This research represents the effort of cooperation between the University of Panama and non-profit organizations such as Wetlands International, which seek to reach consensual solutions in the face of the reality that the whole world is going through in the face of climate change and its negative effects. The main objective of this investigation is to obtain a database of Carbon and organic matter from the soils of Portobelo in the province of Colón and Tonosí in the province of Los Santos, which lack prior information, in order to provide a baseline that allows the competent authorities to make better decisions regarding these ecosystems and their full potential. The study was carried out in the province of Los Santos and in the province of Colón. Sampling consisted of collecting soil samples of different depths of 0-15 centimeters: 15-30 cm; 30-50 cm and 50-100 cm. The sample measured 6 cm long x 2.5 cm wide in a semicircle. Seven (7) study sites were chosen in Tonosi and six (6) in Portobelo. All samples were processed and analyzed in the soil laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences (LABSA). The total carbon for the Tonosí site was 106.26 tC/ha in a study area of 304 hectares in the dry season, while for the Portobelo area it was 355.09 tC/ha in 253 hectares in the rainy season. Organic matter results for Tonosí were 2.14% and for Portobelo it was 25.37%.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁG
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del problema	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.5.1 Hipótesis alternativa	5
1.5.2 Hipótesis nula.....	5
1.6 Alcance y limitaciones.....	6

1.6.1 Alcance.....	6
1.6.2 limitaciones.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Las costas de Panamá	7
2.2 Servicios ecosistémicos de los humedales.....	7
2.3 Carbono orgánico.....	9
2.4 El ciclo del carbono.....	11
2.5 Fijación de carbono	12
2.6 Metodologías de captura de carbono	13
3. MARCO METODOLOGICO	14
3.1 Localización y caracterización de las áreas de estudio	14
3.2 Antecedentes historicos del area de estudio	16
3.2.1 Clima	17
3.3 Metodología.....	18
3.3.1 Establecimiento de las parcelas	18
3.3.2 Procesamiento en el laboratorio	21
3.3.3 Recolección de muestras suelo.....	22
3.4 Parámetros a evaluar	22
3.4.1 Densidad aparente	22
3.4.2 Carbono del suelo	22
3.4.3.Cálculo de carbono en árboles vivos.....	23
3.4.3 Cálculo de carbono en madera caída.....	24
3.4.5 Biomasa subterránea	24

3.4.6 Carbono total.....	25
4. RESULTADOS Y DISCUSION	26
5. CONCLUSIONES	34
6. RECOMENDACIONES	364
7. ANEXOS	35
8. LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO.....	PÁG
I. PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA (%) PARA PORTOBELO.....	27
II. PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA (%) PARA TONOSÍ	28
III. PROMEDIO DE C (%) POR SITIOS DE ESTUDIO EN PORTOBELO	30
IV. PROMEDIOS DE C (%) POR PROFUNDIDADES EN PORTOBELO	30
V. PROMEDIO DE C (%) POR SITIOS DE ESTUDIO EN TONOSÍ	31
VI. PROMEDIOS DE C (%) POR PROFUNDIDADES EN TONOSÍ.....	31
VII. CARBONO TOTAL PARA TONOSÍ Y PORTOBELO.....	32
VIII. DESGLOCE CARBONO TOTAL PARA TONOSI Y PORTOBELO	33

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA.....	PÁG
1. Ciclo del Carbono.....	11
2. Fijación de carbono	12
3. Áreas de estudio.	14
4. Mapa de muestreo en Tonosi, Los Santos	15
5. Mapa de muestreo en Portobelo, Colón	16
6. Ejemplo de la parcela y subparcelas	19
7. Ejemplo que las subparcelas circulares	20
8. Submuestras de suelos por intervalo de profundidad.	20

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO.....	PÁG
1. Recolección de muestras de suelo en Portobelo,Colón.	36
2. Embolsado de muestras en Portobelo,Colón.	37
3. Recolección y embolsado de muestras en Portobelo,Colón.	38
4. Definicion de puntos a muestrear en Portobelo,Colón.	38
5. Muestras de suelo para llevar a la mufla.	39
6. Secado de las muestras por 72 horas.	40
7. Obtención de muestras en Tonosí, Los Santos.....	41
8. Estudios del agua en Tonosí, Los Santos.	41
9. Culminación de trabajo en Tonosi, Los Santos	42
10. Link de Artículo Científico.....	42

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del problema

El gasto en investigación y desarrollo (I+D) en Panamá es menor al 0.2% del PIB, lo cual restringe significativamente el avance de estudios ecológicos a largo plazo, como los relacionados con humedales.(SENACYT, 2023)

En Panamá, las investigaciones sobre los humedales de agua dulce, son escasas, por lo que se desconocen las condiciones y características ambientales de estos los ecosistemas. La expansión de la frontera agrícola, ganadera y urbanística está modificando las dinámicas ecológicas de las áreas de humedales y sus alrededores, provocando un deterioro progresivo y la pérdida de la biodiversidad que habita en ellos.

En la República de Panamá, los ecosistemas de humedales no han sido bien determinados ni mapeados, lo que provoca un desconocimiento generalizado por parte de la población y aumenta la probabilidad de que estos ecosistemas sean utilizados para actividades agrícolas u otros usos. Está bien demostrado que los humedales son grandes sumideros de carbono, representando solo el 6por ciento, de la cobertura terrestre a nivel mundial, pero logran capturando y almacenando más del doble de cualquier otro ecosistema terrestre, lo que recalca su importancia ante el cambio climático (Harenda et al 2018).

Panamá no escapa de la degradación de humedales, y muchos de sus humedales se encuentran comprometidos, aunque existen áreas protegidas que aun

representan un resguardo para los humedales en Panamá, como lo son Damani-Guariviara y San San Pond Sak ambos declarados humedales de importancia internacional a través de la convención Ramsar. Estos ecosistemas se localizan geográficamente en la provincia de Bocas del Toro y la comarca Ngäbe Buglé ambos en la vertiente del Caribe (Ramsar, 2002)

La presente investigación evaluó la presencia de humedales, el almacenamiento de carbono, la flora, estado de la calidad del agua en dos humedales, uno en la vertiente del Caribe en Portobelo y otro en la vertiente del Pacífico en Tonosí, en la república de Panamá. Esto permitirá tener una mejor comprensión de los humedales presentes en Panamá y sus funciones ecológicas lo que puede generar la implementación de mejores prácticas para un manejo sustentable del paisaje natural. Además de aportar evidencias, datos e información para mejorar y actualizar el inventario y mapa de humedales de Panamá, dejará a disposición de la comunidad académica nuevas evidencias y áreas para investigación, permitirá al país seguir avanzando en el cumplimiento de sus compromisos para la adaptación y atender el cambio climático, y su contribución al cumplimiento de los ODS (11, 12, 13, 14 y 15) con miras a que Panamá proponga y desarrolle iniciativas nacionales y regionales de desarrollo sostenible, conservación y protección de los humedales para el bienestar de las comunidades. La experiencia y conocimiento práctico de la metodología para su replicabilidad en otros sitios.

1.2 Antecedentes

Los humedales han sido objeto de regulación desde la época de los romanos, en ese momento se consideraban peligrosos ya que se consideraban un foco de enfermedades infecciosas. Esta creencia se mantuvo hasta la Edad Media, durante la cual, con el desarrollo de las técnicas de desecamiento, la regulación de estos espacios tuvo como objetivo el saneamiento de ellos, por medio de la aplicación de técnicas de drenaje y aterramiento. (Uchile,2004)

Durante los siglos XIV al XVIII, los humedales dejaron de ser considerados como zonas insalubres, lo que dio lugar al desarrollo de actividades de caza, para el uso preferente de los monarcas. Con el tiempo perdieron el atractivo que generaban con esa actividad, y comenzó una tendencia de erradicar los humedales, ya que se creía que no revestían importancia para la gente, incluso se consideraban terrenos baldíos, pensamiento que se mantuvo hasta antes de 1950(Uchile,2004)

Como menciona López, M. (2015). Durante décadas los humedales han sido objeto de interés para la humanidad, con el afán de avanzar en las fronteras agrícolas y el crecimiento urbano de las ciudades. Se han modificado muchos humedales en el mundo, resultando en una degradación del ambiente y la pérdida de los servicios ecosistémicos.

En Panamá el estudio de humedales se formalizo en 1990 con la ratificación de la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida como la Convención Ramsar. Este tratado intergubernamental, adoptado en 1971 en Irán, tiene como objetivo la conservación y uso racional de los humedales. La ratificación por parte de Panamá

marcó un compromiso formal con la protección de estos ecosistemas (Ramsar Convention Secretariat, 2024)

1.3 Justificación

La medición de carbono en estos sitios ayudara a estudios futuros para poder hacer comparaciones y cómo evoluciona el ecosistema a través del tiempo. Además, también podría ayudar a su clasificación como sitio de importancia biológica. La investigación propuesta en sí es una innovación y desafío para I+D+i (investigación, desarrollo e innovación) ya que se propone descubrir nuevos conocimientos para lograr una mayor comprensión científica de las turberas, aplicando la innovación metodológica para contribuir con el avance del desarrollo sostenible en el país y el conocimiento

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Caracterizar y evaluar sitios con posibles reservas de Carbono, en el Caribe y en el Pacífico de la república de Panamá, para determinar las condiciones ambientales de humedales de agua dulce y proponer acciones para su gestión.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones ambientales de dos (2) sitios de posible reserva de carbono en Portobelo en el Caribe y en Tonosí en el Pacífico
- Determinar la extensión y la cuantificación de carbono y materia orgánica almacenado en los sitios de estudio.
- Desarrollar técnicas para cuantificar la captación de carbono.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis alternativa

Las zonas costeras de agua dulce actúan como grandes sumideros de carbono, almacenando una cantidad significativa de materia orgánica en sus sedimentos y la degradación de estos humedales costeros resulta en la liberación de grandes cantidades de carbono almacenado lo que condiciona la delicada situación de la acidificación de los océanos y por ende el cambio climático.

1.5.2 Hipótesis nula

Las zonas costeras de agua dulce no actúan como grandes sumideros de carbono, almacenando una cantidad significativa de materia orgánica en sus sedimentos y la degradación de estos humedales costeros no resulta en la liberación de grandes cantidades de carbono almacenado lo que no condiciona la delicada situación de la acidificación de los océanos y por ende el cambio climático.

1.6 Alcance y limitaciones

1.6.1 Alcance

El alcance de este proyecto será el estudio del almacenamiento de carbono y materia orgánica en los dos sitios de estudio, Portobelo en la provincia de Colón en el Atlántico y Tonosí en la provincia de Los Santos en el Pacífico.

1.6.2 limitaciones

Las limitantes para este estudio fueron el tiempo, la distancia y falta de información sobre los sitios investigados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Las costas de Panamá

Panamá es un país que conserva dos plataformas continentales, una en el caribe y otra en el pacífico, siendo la plataforma continental del pacifico más extensa que la del caribe. Al ser un país tropical, y dadas las condiciones de esorrentía de ambas costas, se desarrollan importantes ecosistemas de manglar, abarcando un total de 1,744.35 km²; encontrándose un 97porciento en la costa del Pacífico y sólo un 3porciento en la costa Caribe (Gallardo et al 2009).

2.2 Servicios ecosistémicos de los humedales

Los servicios ambientales que nos ofrecen los humedales son labores que realiza la naturaleza a favor de los seres vivos, por ejemplo, la purificación del aire por el cual no podríamos vivir (ANAM-ARAP,2013). Los humedales de agua dulce costeros en su mayoría han modificado sus usos ecológicos a usos agrícolas, aunque quedan ciertos humedales en la provincia de Panamá y Herrera (Angehr G, Miró R. Zabala Eds et al 2009),. La mayor amenaza de estos humedales es la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento exponencial de los habitantes los cuales necesitan asentamientos para poder sobrevivir (Tabilio et al 2003).

Panamá se ampara a la Convención Ramsar mediante la Ley 6 de 3 de enero de 1989 (GO 21211, 1989) en la cual Panamá se compromete al uso racional de los humedales y realizar gestiones para su conservación, entre unas de estas gestiones se encuentra el inventario de humedales (Gallardo et al 2009).

Las áreas protegidas están bajo constante amenaza debido a la falta de personal y fondos del Ministerio de ambiente para patrullar estas áreas y hacer cumplir las leyes, estas zonas son de interés para poderes económicos y políticos que amenazan con urbanizar estas áreas. (Angehr G, Miró R. Zabala Eds et al 2009) Existen leyes que protegen los humedales los cuales muchos de estos actores no la conocen, sin embargo, no conocerlas no los exime de culpa en caso de infringirlas (Miambeinte-Arap et al 2013).

El agua es el recurso más importante en todo el universo, sin embargo, hay poca agua dulce disponible para el consumo humano, solo el 12porciento es dulce y un 88porciento es salada de la cual el 8porciento está congelada, 3.9porciento está bajo tierra (Tabilio et al 2003).

Según la información presentada por el Municipio de Tonosí “Las principales actividades económicas desarrolladas en el Distrito de Tonosí son agricultura y ganadería. Esta área se mantiene el primer lugar a nivel nacional en términos de la producción ganadera, primer lugar en la producción arroceras, tercer lugar en la producción avícola y cuarto lugar en la producción porcina (Municipio de Tonosí 2009; MIDA 2019).

Proteger, restaurar y gestionar de manera sostenible los humedales requiere el desarrollo y la implementación de políticas gubernamentales efectivas, y estas políticas deben estar basadas en evidencia. Pero integrar datos de diferentes estudios y presentar evidencia suele ser difícil porque los

investigadores suelen medir cosas diferentes de diferentes maneras (MiAmbiente – ARAP et al 2013).

En los humedales se incluye una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses (Gland et al 2010).

2.3 Carbono orgánico

El carbono orgánico del suelo es el carbono que se establece en el suelo después de muchos procesos de descomposición de materiales orgánicos producido por organismos vivos y puede permanecer en el suelo durante décadas incluso milenios, aunque los mecanismos del suelo pueden ser dinámicos este carbono puede perderse como dióxido de carbono o metano siendo emitido a la atmósfera, por lo que es clave en el ciclo del carbono y constituye el componente principal de la materia orgánica del suelo la cual contribuye fundamentalmente a sus funciones, respecto al ciclo de nutrientes, la estabilización de la estructura del suelo, la aireación, productividad, infiltración, humedad y almacenamiento de agua, entre otros aspectos esenciales que garantizan la salud, fertilidad y la

producción de alimentos; además la pérdida de carbono orgánico del suelo es un indicador de la degradación que se puede producir en el suelo (FAO et al 2018).

Una gestión del carbono eficiente no solo mejora el secuestro de carbono y evita la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) sino que también genera beneficios colaterales a las comunidades locales y a la biodiversidad (Moushumi et al 2021).

Si se pierden las áreas protegidas donde se encuentran los ecosistemas de manglar se enfrentarán a una larga exposición a mayor peligro de desastres naturales ya que este nos presta servicios como la atenuación de las olas, retienen el suelo y actúan como roturas de vientos además de fortalecer la biodiversidad y sumidero de carbono (The Nature Conservancy et al 2021).

El secuestro de carbono por parte de los humedales se considera una actividad de mitigación del carbono sin embargo para su entendimiento las actividades de mitigación al igual que las de conservación y adaptación al cambio climático incluyen la creación de la capacidad nacional por esfuerzos de sensibilización como por ejemplo la utilización sostenible de los humedales por parte de los interesados (Heer 2015;Agardy 2015;Benzaken 2015;Hicks 2015;Howard 2015).

2.4 El ciclo del carbono



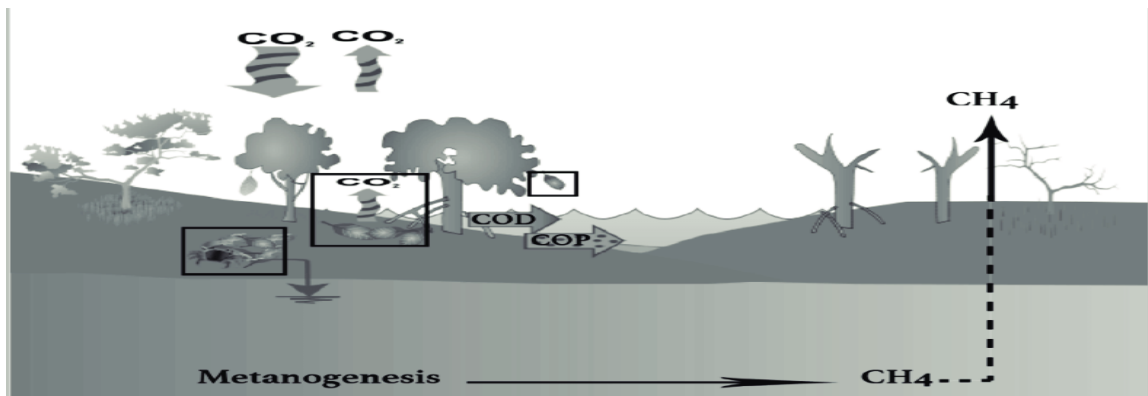
Fuente: greenteach 2021.

Figura 1. Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono es un proceso biogeoquímico en el que el carbono se recicla través de la biosfera, atmósfera, geosfera e hidrosfera del planeta tierra. Implica el intercambio continuo de carbono entre los reservorios terrestres, como la atmósfera, los océanos, el suelo, las rocas y los organismos vivos. (Sivrikaya, 2020). Los procesos clave incluyen la fotosíntesis, la respiración, el ciclo del carbono en los océanos, el ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres y el ciclo del carbono geológico a largo plazo (Kirschbaum et al., 2018).

En este ciclo hay dos etapas, la etapa rápida o biológica es en donde intervienen los procesos biológicos de los organismos, en esta etapa se da la fijación de carbono por parte de las plantas en un proceso denominado fotosíntesis y que da como resultado la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera; por otra parte esta la etapa lenta o geológica, en la que se dan procesos químicos y físicos como la mineralización, metamorfismo y liberación de dióxido de carbono en actividades humanas (Álvarez 2024).

2.5 Fijación de carbono



Fuente: Dialnet, 2020

Figura 2. Fijación de carbono

La fijación del carbono es un proceso crucial en el ciclo del carbono y por ende en el cambio climático. Este proceso se basa en la captura de dióxido de carbono por medio de las plantas que atrapan el carbono de la atmósfera y a través de reacciones químicas lo transforma en materia orgánica la cual almacena carbono de forma temporal en la biomasa del suelo.

2.6 Metodologías de captura de carbono

La metodología a utilizar para medir la cantidad de carbono que está reteniendo el ecosistema va a depender de ciertos factores como: tipo de ecosistema a evaluar, objetivo del proyecto, recursos disponibles, escala del estudio, marco legal regulatorio y de los datos previos disponibles(FAO,2019).

Algunos ejemplos de metodologías son: métricas de inventarios forestales, protocolos de monitoreo REDD+, modelos de simulación y sistemas de información geográficas(SIG), metodologías de evaluación de suelos, esta última es la más utilizada ya que nos da como resultados respaldados por pruebas de laboratorios (WWF,2021).

Según Kauffman, Donato, Adames (2013) en su libro titulado Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares, Los pasos para preparar un plan sólido para medir las reservas de carbono se resumen en 5 pasos:

1. Definir el límite de área de estudio
2. Estratificar el área de estudio
3. Seleccionar los componentes de carbono a medir
4. Determinar tipo, número y localización de las parcelas
5. Determinar frecuencia de muestreo.

3. MARCO METODOLOGICO

3.1 Localización y caracterización de las áreas de estudio

Se delimitaron los terrenos cubiertos de tipos de vegetación asociados a humedales en los dos sitios, según el Mapa de Cobertura Boscosa y Uso de Suelo 2021 (Resolución DM-0148, 2022). Recorridos dentro los humedales en gira previa permitieron observar la vegetación, suelos y otras características biofísicas, a fin de definir las áreas de muestreo.



Fuente: Desarrollado por el autor

Figura 3. Áreas de estudio.

En Tonosí se estableció un total de 3.8 km² de área de muestreo, dividido en dos globos (figura 4). El globo principal mide 3.6 km² y abarca los humedales de agua dulce que se forman antes de los manglares en la desembocadura del río Tonosí (cuenca 124). El globo secundario mide 0.2 km² y abarca los humedales de agua dulce que se forman antes de los manglares al noreste de la desembocadura del río Cañas que es un afluente del río Tonosí.



Fuente: Desarrollado por el autor

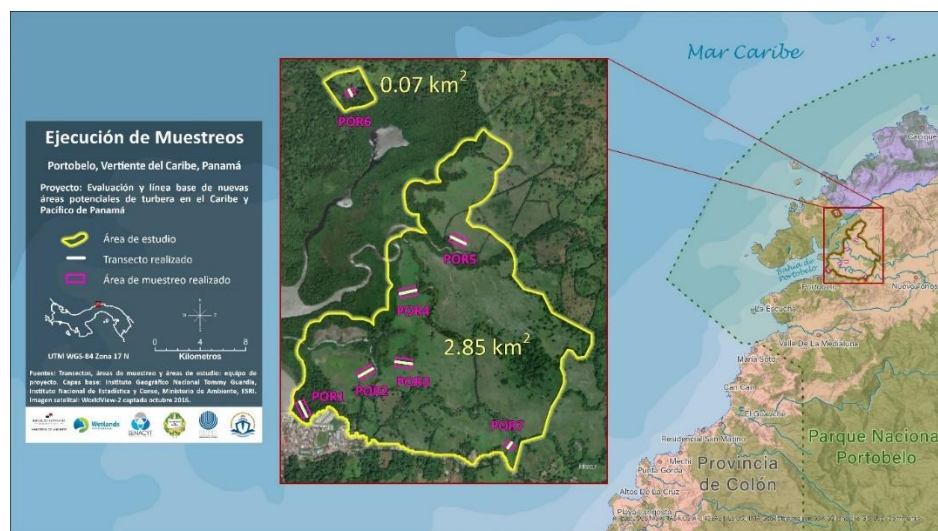
Figura 4. Mapa de muestreo en Tonosi, Los Santos

Puntos de referencia geográfica para Tonosi (WGS84 coordenadas geográficas)

Inferior izquierda: 80.40943 longitud oeste, 7.34939 latitud norte

Superior derecha: -80.22949 longitud oeste, 7.43651 latitud norte

En Portobelo se estableció un total de 2.92 km² de área de muestreo, dividido en dos globos (figura 5). El globo principal mide 2.85 km² y abarca los humedales de agua dulce que se forman antes de los manglares al sureste de la desembocadura del río Cascajal (cuenca 117). El segundo globo mide 0.07 km² al norte de la desembocadura del mismo río.



Fuente: Desarrollado por el autor.

Figura 5. Mapa de muestreo en Portobelo, Colón

Puntos de referencia geográfica Portobelo (WGS84 coordenadas geográficas)

Inferior izquierda:

-79.65443 longitud oeste, 9.55087 latitud norte

Superior derecha:

-79.62273 longitud oeste, 9.57865 latitud norte

3.2 Antecedentes históricos del área de estudio

En Tonosí las parcelas de Búcaro eran parcelas de cultivos de bananos, para el año 1965 después del fracaso de la compañía bananera, incentivaron a los campesinos a criar ganado de leche, luego con la construcción de la carretera el auge por la ganadería creció. desde entonces las fincas para estas áreas están dedicadas al ganado de leche, y cultivos de piña y arroz (viajenda Panamá,2009).

En Portobelo todos los sitios de interés ubicados en la rivera del Rio Cascajal son utilizados para la ganadería, la cual se lleva acabo más o menos desde hace 50 años en la zona de Nuevo Tonosi, en Costa Arriba de Colón (Portobelo digital, 2020).

3.2.1 Clima

El clima de Tonosí, provincia de Los Santos, generalmente es cálido y húmedo, típico del clima tropical. La temperatura promedio anual ronda los 27.9 °C y una precipitación promedio anual de 2000 mm de lluvia según datos recuperados del historial de datos de hidromet.

El clima en Portobelo, Colón, también es tropical, con temperaturas cálidas durante todo el año y una marcada estación de lluvias. La precipitación promedio anual en Portobelo de 301.1 mm y la temperatura promedio anual es de 28°C según datos históricos de hidromet.

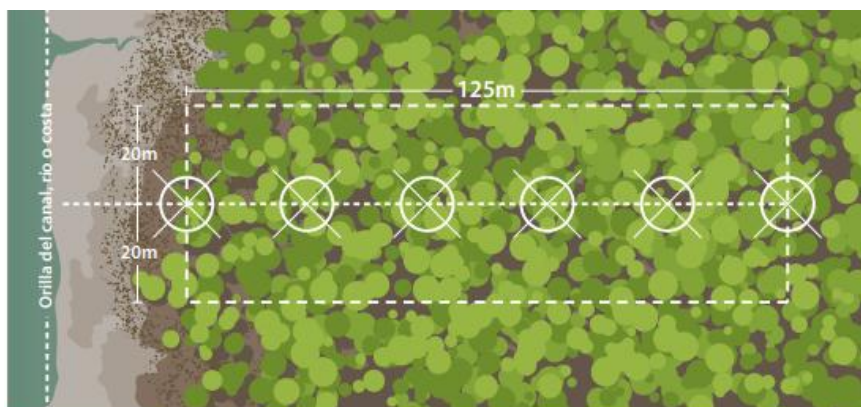
3. 3 Metodología

3.3.1 Establecimiento de las parcelas

Se establecieron los puntos de muestreo de manera aleatoria basados en la técnica descrita por MIAMBIENTE y PNUD (2017). A través del SIG (sistema de información geográfica) se determinó el tamaño del área total y se dividió el sitio de estudio en cuadrículas de una hectárea o 100 x 100 metros. Luego se estableció 1 km como distancia mínima entre los sitios seleccionados. Del total de estos puntos se consideró la extensión del ecosistema y se escogió un porcentaje considerando la extensión del ecosistema para la selección de las unidades de muestreo para Tonosí y para Portobelo las cuales se distribuyeron de manera proporcional al tamaño de cada sitio.

Basado en Howard et al (2014), el número total de unidades de muestreo se ajustó a los recursos disponibles y al tiempo de ejecución del proyecto de forma que se maximice el esfuerzo de muestreo. Estas unidades de muestreo o parcelas tenían un tamaño máximo de 5000 m² y dentro de la misma se podrían presentar hasta seis subparcelas (ver figura 2). Las parcelas iniciaron en el sitio de transición en el manglar y el ecosistema de agua dulce sentido hacia las tierras continentales. La parcela podía finalizar o tener un tamaño menor dependiendo de la extensión del ecosistema de agua dulce, siendo el límite cuando cambiaba el tipo de ecosistema dejando de ser un humedal.

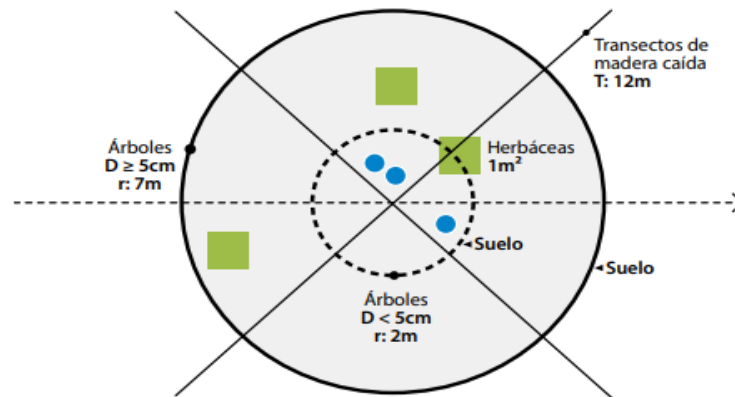
En campo se determinó la presencia de turba analizando el contenido y textura del suelo basado en el método de Chen & Twilley (1999).



Fuente: PNUD y MIAMBIENTE (2017)

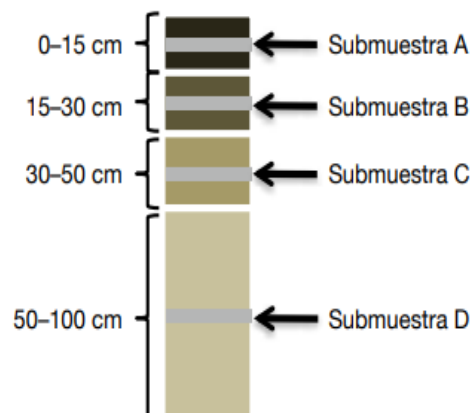
Figura 6. Ejemplo de la parcela y subparcelas

Para la medición de carbono se empleó la metodología descrita por PNUD y MIAMBIENTE (2017), en la cual se confeccionan parcelas circulares (figura 3) para obtener tres muestras de suelo por cada subparcela con el uso de un barreno (nucleador) para determinar el contenido de carbono hasta un metro de profundidad. Luego las muestras de suelo se dividieron en intervalos de 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm y 50-100 cm de profundidad (figura 4). También en estas subparcelas se colectan y miden otros componentes como el carbono aéreo, madera caída, madera muerta, hojarasca.



Fuente: PNUD y MIAMBIENTE (2017)

Figura 7. Ejemplo que las subparcelas circulares



Fuente: (Howard et ál, 2014)

Figura 8. Submuestras de suelos por intervalo de profundidad.

3.3.2 Procesamiento en el laboratorio

Una vez recolectadas las muestras de suelo, se pesó el recipiente de aluminio vacío para el desecho de las muestras, luego se pesó la muestra con el recipiente y se restó el peso del recipiente para establecer el peso de las muestras antes de introducirlas al horno hasta alcanzar un peso constante (72 horas aproximadamente). Posteriormente, las muestras secas se molieron y se pasaron por un tamiz de número 30 (0.54mm). Se pesaron en una balanza analítica 2 g de suelo molido de cada profundidad, y se colocaron en una mufla a 550°C, durante 4 horas. Se calculó el porcentaje de materia orgánica por diferencia de pesos, antes y después de la incineración.

Esto es el porcentaje de materia orgánica:

Porcentaje materia orgánica = $[(\text{Peso muestra seca} - \text{Peso calcinado}) * 100]$.

Cada unidad de muestreo tuvo tres réplicas.

Luego 100 mg de cada muestra fue colocado en un frasco para ser procesado en el laboratorio de suelos y foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica para pasar por el Analizador Elemental para obtener la relación Carbono-Nitrógeno.

También se consideraron los otros componentes descritos en la metodología como el carbono aéreo, la madera caída, madera muerta, hojarasca los cuales se emplearon en el cálculo del carbono total.

A continuación, se presentan las fórmulas empleadas para obtener el valor de carbono como se describen Protocolo para medición de carbono en ecosistemas de manglar en Panamá (MIAMBIENTE y PNUD. 2017)

3.3.3 Recolección de muestras suelo

En cada parcela se recolectaron 3 réplicas de muestra de suelo con 4 profundidades distintas. Las profundidades van de los intervalos de 0-15 cm de profundidad; 15-30 cm de profundidad; 30-50 cm de profundidad y de 50-100 cm de profundidad.

3.4 Parámetros a evaluar

3.4.1 Densidad aparente

Para estimar la densidad aparente (g/cm^3) se toman las muestras en campo través del método del cilindro. Posteriormente, se pasaron las muestras de suelos húmedos, luego se extraerá la humedad en un horno a una temperatura de 105°C , hasta alcanzar el peso constante y luego se pesa para registrar el peso seco. Se calcula la densidad aparente por medio de la siguiente fórmula

$$DA = \frac{\text{Peso del Suelo seco}}{\text{Volumen Interno del Cilindro de muestreo del barreno.}}$$

3.4.2 Carbono del suelo

La materia orgánica se calcula por diferencia de pesos. La determinación de materia orgánica en muestras de suelo se realizó utilizando el método de pérdida por ignición (LOI). Este método se basa en la calcinación de la muestra a una

temperatura elevada, lo que provoca la descomposición de la materia orgánica, permitiendo cuantificarla al calcular la pérdida de peso (Heiri, Lotter, & Lemcke, 2001).

Después de calcular la densidad aparente, calculamos el carbono en el suelo usando la siguiente ecuación:

$$C \text{ del suelo} = (\text{porcentaje C} / 100) * \text{Densidad aparente} * \text{profundidad de la muestra}$$

3.4.3 CÁLCULO DE CARBONO EN ÁRBOLES VIVOS

Para estimar la cantidad de carbono que los árboles vivos aportan al suelo utilizamos una ecuación general para Centroamérica (Howard et al 2014). Primero, tuvimos que calcular la biomasa usando la ecuación:

$$B = 0,168 * p * (D ^ 2,471)$$

Donde B es la biomasa en kg; p es la densidad de la madera y D es el diámetro del tronco a la altura del pecho.

Los valores de densidad de la madera se obtuvieron de la base de datos MiAmbiente y del atlas de idoneidad de especies agroforestales bajo climas futuros en Centroamérica.

Luego convertimos biomasa (kg) a carbono (kgC) usando la siguiente ecuación:

$$C = B * 0,4752$$

A continuación, convertimos kgC a MgC/Ha usando la siguiente ecuación:

$$C = (\text{kg C/Área del transecto (m}^2\text{)}) (10000\text{m}^2 / 1\text{Ha})$$

$$(1\text{MgC}/1000\text{kgC})$$

3.4.3 Cálculo de carbono en madera caída

Para estimar la biomasa de madera caída, es necesario calcular primero el volumen de madera muerta caída (m^3/ha) mediante la ecuación:

$$\text{Volumen (m}^3\text{ ha}^{-1}\text{)} = \pi \cdot 2 \cdot (N_i \cdot \text{DPC}_i^2) / 8 \cdot L$$

Donde N es el número de piezas, DPC es la raíz cuadrática media del diámetro de las piezas y L es la longitud del transecto; luego se calcula la cantidad de carbono en la madera caída con la siguiente ecuación:

$$\text{Cmc} = V \cdot \text{Sg} \cdot \text{porcientoC}$$

V: Volumen de madera

Sg: Densidad promedio de la madera (g/cm^3)

porciento C: Concentración de carbono en la muestra.

3.4.5 BIOMASA SUBTERRÁNEA

La biomasa subterránea se estimó con ecuaciones alométricas que utilizan el diámetro de los árboles registrados en cada una de las parcelas de muestreo.

Una ecuación útil es la citada por Komiyama et al. (2008):

$$B_{\text{sub}} = 0,199 \cdot (D)^{0,899} \cdot (\text{DAP})^{2,22}$$

B_{sub} : Biomasa de árboles en el subsuelo (kg)

DAP= Diámetro del árbol a la altura del pecho (cm)

D = Densidad aparente.

3.4.6 CARBONO TOTAL

El carbono total a nivel de ecosistema (en tC/ha) es la suma de las reservas parciales de carbono de los componentes medidos del ecosistema:

$$CTot = C \text{ vivo} + C \text{ muerto} + C \text{ herbáceo} + C \text{ madera caída} + C \text{ suelo} + C \text{ raíces}$$

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Luego de seleccionar y caracterizar los sitios de estudio en Portobelo y Tonosí se procedió la etapa de muestreo. En el sitio de Portobelo se obtuvieron 396 muestras de suelo, las cuales después de haber sido secadas a una temperatura de 65 grados Celsius por 72 horas para eliminar la humedad y luego haber sido maceradas y pasadas por un tamiz N°30 para poder obtener partículas finas las cuales fueron sometidas a temperaturas de 550 grados Celsius por cuatro (4) horas para determinar la materia orgánica por diferencia de pesos o método de perdida por ignición en el laboratorio de suelos de la facultad de ciencias agropecuarias sede de Chiriquí.

Los resultados indican que en los sitios PORTO 1 y PORTO 3 (ver cuadro I) se obtuvo la menor cantidad de materia orgánica con 14.34 y 14.58 por ciento respectivamente, mientras que PORTO 5 Y PORTO 6 (ver cuadro 1) registraron niveles de 24.74 y 27.69 por ciento respectivamente. En términos generales reportan niveles de materia orgánica superiores a la media siendo la media y punto de referencia 12.88 por ciento en Matusagaratí en Darién según, el Centro Regional Ramsar para la Capacitación e Investigación sobre Humedales para el Hemisferio Occidental (2009)

Esto nos lleva a poner en discusión ciertos factores como el régimen hídrico de la zona de Portobelo, tomando en cuenta que el tipo de suelo, el cual era fangoso; las precipitaciones según Hidromet, la media anual para esta zona es de 3500 mm. Los suelos que permanecen saturados de agua durante largos periodos

tienden a acumular más materia orgánica debido a la reducción en la tasa de descomposición por la falta de oxígeno.

Según la clasificación de la Soil Science Society of America (2017) los suelos que están por encima del 20 por ciento de materia orgánica son Histosoles, Siendo el promedio para este sitio de 19.74 por ciento (ver cuadro 1).

CUADRO I. PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA (%) PARA PORTOBELO

Sitio	% de M. O
PORTO 01	14.34
PORTO 02	15.61
PORTO 03	14.58
PORTO 04	21.49
PORTO 05	24.74
PORTO 06	27.69
Promedio	19.74

Fuente: elaborado por el autor

Para la zona de Tonosí se realizó exactamente el mismo procedimiento, el número total de muestras es 298. En este sentido se obtuvo que el promedio para materia orgánica para el sitio de estudio de Tonosí es de 2.69 por ciento (ver cuadro II) estando muy por debajo de la media en Panamá que es de 12.88 por ciento. Según Paul (2014) en climas cálidos y húmedos, la descomposición es más rápida, lo que reduce la acumulación de materia orgánica, además la intervención humana para este sitio es clave para comprender por qué los valores son tan bajos, ya que

los humedales han sido desbastados con fines lucrativos como lo es la utilización de drenajes para construcción de complejos vacacionales y como observamos en la mayoría de los sitios, son utilizados para la ganadería, añadiendo que Tonosí está dentro del arco seco de Panamá por lo que los factores climáticos no aumentan las condiciones para que se mantenga la humedad de los suelos. Para el sitio de TON 06 que presento valores de 1.32 por ciento (ver cuadro II) de materia orgánica, la más baja del estudio estaba en una zona de transición de manglar por lo que podría significar que con la marea alta esta zona es inundada y la materia orgánica que pudiese existir es arrasada antes de que pueda descomponerse.

CUADRO II. PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA (%) PARA TONOSÍ

SITIO	% DE M.O
TON 01	3.68p
TON 02	2.92
TON 03	3.42
TON 04	2.87
TON 05	2.79
TON 06	1.32
TON 07	1.86
Promedio	2.69

Para la obtención de los porcentajes de carbono fue necesario enviar las muestras a la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica(UNED), luego de haber sido

procesadas en la Universidad de Panamá, ellos utilizaron el Autoanalizador de C/N por combustión seca y para los valores de Carbono total utilizaron una correlación la cual fue de $R^2 \geq 0,95$, en sus observaciones especifican que correlacionan muy bien.

Utilizando como referencia el estudio realizado en zonas de manglares de Chiriquí específicamente en las zonas de Remedios, San Félix y San Lorenzo la media en porcentaje de carbono fue de 11.86 por ciento, en la zona de Portobelo fue de 3.72porciento (ver cuadro 3) y en la zona de Tonosí fue de 1.88 por ciento (ver cuadro 5). Esto nos demuestra que la materia orgánica y el carbono no siempre están bien correlacionados, ya que obtuvimos valores altos de materia orgánica para Portobelo sin embargo la cantidad de Carbono está sumamente por debajo de la media en Panamá, siendo aún más baja la obtenida en Tonosí, esto puede deberse a varios factores como en humedales o suelos saturados, la descomposición de la materia orgánica puede ser más lenta y la acumulación de carbono puede ser ineficiente. La descomposición anaeróbica produce formas de materia orgánica que no necesariamente contienen tanto carbono como las que se descomponen aeróbicamente. También se puede deber a la actividad antropogénica que fue propia de todos los sitios de estudio, tanto para Portobelo como para Tonosí. En Portobelo todos los sitios de estudios tenían uso agropecuario y en el caso Tonosí dos de los sitios estudiados estaban en proceso de drenaje y movimiento de suelo para construcción y los demás sitios de estudio forman parte de las actividades ganaderas.

CUADRO III. PROMEDIO DE C(%) POR SITIOS DE ESTUDIO EN PORTOBELO

PROMEDIOS EN % C POR SITIOS DE ESTUDIO					
PORTO 01	PORTO 02	PORTO 03	PORTO 04	PORTO 05	PORTO 06
1.91	2.18	1.51	4.37	5.63	6.72
Promedio	3.72				

CUADRO IV. PROMEDIOS DE C(%) POR PROFUNDIDADES EN PORTOBELO

PROMEDIOS %C POR PROFUNDIDADES			
0-15 CM	15-30 CM	30-50 CM	50-100 CM
8.38	6.28	5.13	4.90

En cuanto a profundidades, según la FAO (2021) la mayor cantidad de Carbono debe estar en los primeros 30 centímetros de profundidad. En este estudio podemos corroborar esta teoría, ya que, para ambos sitios, la mayor concentración de porcentaje de carbono se encontró en los primeros 30 centímetros de suelo como se observa en el cuadro IV y el cuadro VI. Esto se debe a que en los primeros 15 centímetros de suelo se encuentra el horizonte O, que por definición es donde se desarrolla la actividad microbiana para descomposición de hojas, ramas animales muertos entre otros factores que aportan carbono al suelo. En el caso de Portobelo se registró 8.38 por ciento de Carbono en los primeros 15 centímetros de suelo seguido por el perfil de 15-30 centímetros con 6.28porciento

de Carbono (ver cuadro IV) ; mientras que en Tonosí ocurre un caso totalmente esperado en la que la mayor cantidad de porcentaje de Carbono está en el perfil de 15-30 centímetros siendo este de 2.05 por ciento (ver cuadro VI) por encima del perfil de 0-15 centímetros que es de 1.98 por ciento (ver cuadro VI) ya que como mencione anteriormente, en Tonosí se desarrollan proyectos de construcción y por ende de movimiento de suelo lo cual facilita que el mayor cantidad de carbono quede en una capa por debajo de la principal, y la capa de suelo que estaba debajo quede arriba.

CUADRO V. PROMEDIO DE C (%) POR SITIOS DE ESTUDIO EN TONOSÍ

TON 01	TON 02	TON 03	TON 04	TON 05	TON 06	TON 07
2.57	2.04	2.39	2.01	1.95	0.92	1.30
PROMEDIO	1.88					

CUADRO VI. PROMEDIOS DE C (%) POR PROFUNDIDADES EN TONOSÍ

0-15 CM	15-30 CM	30-50 CM	50-100 CM
1.98	2.05	1.77	1.65

Las toneladas de carbono por hectáreas fueron calculadas por la sumatoria de carbonos totales, es decir la suma de Carbono en suelo, Carbono en arboles vivos, Carbono subterráneo, Carbono en madera caída.

$$CTot = C \text{ vivo} + C \text{ muerto} + C \text{ herbáceo} + C \text{ madera caída} + C \text{ suelo} + C \text{ raíces}$$

En el sitio de estudio de Portobelo la cantidad en toneladas de C fue superior con 355.09 tC/has en comparación con el área de estudio de Tonosi que fue 108.97 tC/has (ver cuadro 7). Esto puede deberse a factores como la Temperatura: entre más cálido el ambiente se pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica en el suelo, lo que significa que el carbono almacenado se libera más rápidamente a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂). Otro factor es la Precipitación, una cantidad adecuada de lluvia puede promover el crecimiento de plantas, cuyas raíces aportan materia orgánica al suelo y ayudan a retener carbono, esto a su vez nos da la humedad del suelo: La humedad del suelo afecta la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica.

CUADRO VII. CARBONO TOTAL PARA TONOSÍ Y PORTOBELO

Sitio	Total tC/has	Total t C
TONOSÍ	106.26	32303.04
PORTOBELO	355.09	89837.77

CUADRO VIII. DESGLOCE CARBONO TOTAL PARA TONOSÍ Y PORTOBELO

Componente	TONOSÍ(Tc/has)	PORTOBELO (Tc/has)	PROM (Tc/has)	STD.S
C suelo	41.3	47.34	44.32	31.338973
C arboles vivos	28.77	5.38	17.075	12.073848
C raíces	27.31	302.37	164.84	116.55948
C madera caida	8.88		8.88	0
Total	106.26	355.09	230.675	163.11186

5. CONCLUSIONES

- En general hay una gran variabilidad climática en ambos sitios dando como resultados concentraciones muy diferentes de materia orgánica y carbón, demostrando que las zonas más lluviosas y húmedas tienden a concentrar más cantidad de materia orgánica y carbono a diferencia de las zonas del arco seco como la zona Tonosí
- Los valores de Materia Orgánica para Portobelo demostraron una media superior a la media utilizada en el Humedal de Matusagarati, sin embargo no demostró esa superioridad en los porcentajes de Carbono (3.72 %), lo cual nos certifica que no siempre estos dos valores presentan una correlación negativa, cuando en la mayoría de los casos debería ser positiva, ya que el carbono en el suelo depende de la materia orgánica.

Esto se puede deber a un factor externo que no se midió dentro del estudio como algunos factor externo pudo haber sido un cambio en el microclima para esta zona ya que si tenemos altas temperaturas con una humedad excesiva la materia orgánica se descompone más rápido de lo que se acumula, por lo que la actividad microbiana descompone la materia orgánica pero la elimina en forma de dióxido de carbono, además si existió algún tipo de movimiento de suelo ya sea para siembra de pasturas o de agricultura, puede perderse el carbono orgánico en la parte superior del suelo, pero esto no indica que se pierda la materia orgánica en las capas siguientes, a esto se le atribuye un mal manejo en prácticas agrícolas), a su vez vemos el caso de Tonosí obtuvimos bajos valores tanto para materia

orgánica como para porcentaje de Carbono en el suelo, con una correlación positiva, sin embargo, se mantiene por debajo de la media con 1.88. porcentaje de Carbono y 2.69 por ciento de materia orgánica, esto debido al evidente cambio de uso del suelo y malas prácticas agrícolas.

- El estudio permito validar el método para la determinación de materia orgánica y carbono en los humedales de Tonosí y Portobelo permitiendo hacer las comparaciones con datos de humedales ya estudiados como Matusagarati en Darién y los humedales del oriente chiricano, lo que garantiza la validez de los resultados

6. RECOMENDACIONES

- Para obtener mayor veracidad de los resultados deben incluirse en los estudios los microclimas ya que si tenemos altas temperaturas con una humedad excesiva la materia orgánica se descompone más rápido de lo que se acumula, por lo que la actividad microbiana descompone la materia orgánica pero la elimina en forma de dióxido de carbono.
- Se debería promover el establecimiento de sitios que tiene humedales como áreas de uso especial para que los productores puedan adecuar técnicas de uso apropiados para no deteriorar los humedales.

7. ANEXOS



Anexo 1. Recolección de muestras de suelo en Portobelo, Colón.



Anexo 2. Embolsado de muestras en Portobelo, Colón.



Anexo 03. Recolección y embolsado de muestras en Portobelo,Colón.



Anexo 04. Definicion de puntos a muestrear en Portobelo,Colón.



Anexo 05. Muestras de suelo para llevar a la mufla.



Anexo 06. Secado de las muestras por 72 horas.



Anexo 07. Obtención de muestras en Tonosí, Los Santos.



Anexo 08. Estudios del agua en Tonosí, Los Santos.



Anexo 09. Culminación de trabajo en Tonosi, Los Santos

Anexo 10. Link de Artículo Científico generado de esta investigación, publicado por la revista Climate, Volume 12, Issue 11 (november 2024):

<https://www.mdpi.com/2225-1154/12/11/171>

8. LITERATURA CITADA

1. Álvarez, D. O. (2024, 23 mayo). *Ciclo del carbono - Qué es, sus etapas e importancia*. Concepto. <https://concepto.de/ciclo-del-carbono/>
2. Barthelmes, A., & Joosten, H. (2018). Lineamientos sobre mejores prácticas para realizar inventarios de turberas tropicales a fin de facilitar su designación como sitios Ramsar. Nota Informativa de Ramsar. Gland, Suiza. Secretaría de la Convención de Ramsar.
3. Candanedo, I. (2024). Matusagaratí: Complejo de Humedales. Universidad Tecnológica de Panamá. Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT). 24 páginas. Panamá.
4. Carol, E., del Pilar Alvarez, M., Arcia, M., & Candanedo, I. (2024). Surface and groundwater flow exchanges and lateral hydrological connectivity in environments of the Matusagaratí Wetland, Panama. *Science of The Total Environment*, 927, 172293.
5. Cedeño, V., Franco, A., Ortega, A., & Toral B, J. (2008). Presentación del Atlas Nacional de la República de Panamá. *Revista Geográfica*, 211-216.
6. Centro Regional Ramsar para la Capacitación e Investigación sobre Humedales para el Hemisferio Occidental (2009). *Inventario de los humedales continentales y costeros de la República de Panamá*. Flores De G., E., Gallardo, M., Núñez, E. (eds.). Panamá. 255 pp.
7. De Sousa, K., Van Zonneveld, M., Imbach, P., Casanoves, F., Kindt, R., & Ordoñez, J. (2017). *Atlas de aptitud de especies agroforestales claves bajo climas futuros en América Central*. Turrialba, Costa Rica, ICRAF

8. de Sousa, K., van Zonneveld, M., Imbach, P., Casanoves, F., Kindt, R., & Ordoñez, J. C. (2017). *Atlas de aptitud de especies agroforestales claves bajo climas futuros en América Central* (ICRAF Artículo Ocasional No. 26). Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF).
9. Donato, D.; Kauffman, JB; Murdiyarso, D.; Kurnianto, S.; Stidham, M.; Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4:293-297. DOI: 10.1038/NGEO1123
10. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*.
11. Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *El perfil del suelo y sus horizontes*. Recuperado de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s01.htm
12. Harenda, K. M., Lamentowicz, M., Samson, M., & Chojnicki, B. H. (2018). The role of peatlands and their carbon storage function in the context of climate change. *Interdisciplinary approaches for sustainable development goals: Economic growth, social inclusion and environmental protection*, 169-187.
13. Hatje, V., Masqué, P., Patire, V. F., Dórea, A., & Barros, F. (2021). Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves. *Limnology and Oceanography*, 66(2), 321-334. https://enbcr.go.cr/sites/default/files/mg20_mn81_caracterizacion_chiratempisque.pdf

14. Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.
15. Hoyos-Santillan J., Craigon J. Lomax b., Lopez O., Turner B., Sjögersten S. (2016). Root oxygen loss from *Raphia taedigera* palms mediates greenhouse gas emissions in lowland neotropical peatlands. *Plant Soil*.
16. Hoyos-Santillan, J., Miranda, A., Castro de Doens, L., González-Mahecha, E., Cifuentes-Jara, M., & Worthington, T. A. (2023). Panama must protect mangroves and peatlands. *Science*, 382(6671), 654-654.
17. <https://panama.viajenda.com/articulo/distrito-de-tonosi>
18. <https://portobelodigital.org/acerca-de-portobelo-panama/vista-historica-contada>
19. Kauffman J. B., Donato D. C. y Adame M. F. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR.
20. Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests (Vol. 86). Bogor, Indonesia: Cifor.
21. Kirschbaum, M. U. F., Zeng, G., Ximenes, F., Giltrap, D. L., & Zeldis, J. R. (2018, November 1). Towards a more complete quantification of the global carbon cycle. Copernicus GmbH. <http://doi.org/10.5194/bg-2018-436>
22. Komiyama, A., Ong, J.E., Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89:128-137.

23. Marín Muñiz, J.L., Hernández Alarcón, ME., Moreno-Casasola Barceló, P. (2011). Secuestro de carbono en suelos humedales costeros de agua dulce en Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 365-372. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942013.pdf>
24. Marviva. (2014). Valoración económica de los manglares de David y el Golfo de Montijo. 49pp.
25. MiAmbiente y PNUD. 2017. Protocolo para medición de carbono en ecosistemas de manglar en Panamá. Serie técnica No. 2. República de Panamá. 39p.
26. MiAMBIENTE, 2022. Nivel de Referencia Forestal de Panamá, 101 páginas.
27. Morrisette, H. K., Baez, S. K., Beers, L., Bood, N., Martinez, N. D., Novelo, K., & Canty, S. W. (2023). Belize Blue Carbon: Establishing a national carbon stock estimate for mangrove ecosystems. *Science of The Total Environment*, 870, 161829.
28. Paul, E. A. (2014). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry* (4th ed.). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00011-1>
29. Peters, J., & Tegetmeyer, C. (2019). Inventory of peatlands in the Caribbean and first description of priority areas. *Proceedings of the Greifswald Mire Centre*, 5, 2019.
30. PNUD - MiAMBIENTE. (2017). Resultados finales de la implementación del Protocolo de Medición de Carbono en Manglares de los Distritos de

Remedios, San Félix y San Lorenzo. Proyecto Protección de Reservas y Sumideros de Carbono en los Manglares y Áreas Protegidas de Panamá. PNUD, Ciudad del Saber, Panamá. 25p.

31. Ramírez, C. A. (2003). Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Panamá. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/50S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma.
32. Ramírez, M. I., Jaramillo-López, P. F & Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biosfera Mariposa monarca, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 19(1), 157–173.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.042>
33. Ramsar Convention Secretariat. (2024). *List of Contracting Parties*. Ramsar. <https://www.ramsar.org/about/list-of-contracting-parties>
34. Ramsar, I. (2002). Humedales: agua, vida y cultura. In 8a. Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales. Secretaría de la Convención de Ramsar.
35. Ribeiro, K., Pacheco, F. S., Ferreira, J. W., de Sousa-Neto, E. R., Hastie, A., Krieger Filho, G. C., & Ometto, J. P. (2021). Tropical peatlands and their contribution to the global carbon cycle and climate change. *Global change biology*, 27(3), 489-505.
36. Romero, T.E., Vargas, S., Mojica, M., Fernández, A., & Martínez, E. (2023). Estimation of Blue Carbon for the Mangrove Community of La

Playa Mermejo, Gulf of Montijo, Ramsar Site, Panama. 6th Mangrove, Macro-benthos and Management Conference – Cartagena, Colombia.

37. Schuman, G. E., Janzen, H. H., & Herrick, J. E. (2002). Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental pollution*, 116(3), 391-396.
38. SENACYT (2023), *Indicadores Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Recuperado de <https://www.senacyt.gob.pa>
39. SINAC. (2013). Caracterización de los humedales marino-costeros en los vacíos de conservación Chira-Tempisque, Estero Culebra, Caballo-Venado y alrededores. Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas de Costa Rica. SINAC-PNUD-GEF. 47 p.
40. Soil Science Society of America (SSSA). (2017). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (2nd ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov>
41. Troche-Souza, C., Priego-Santander, A., Equihua, J., & Vázquez-Balderas, B. (2024). Spatial Distribution of Carbon Stocks Along Protected and Non-protected Coastal Wetland Ecosystems in the Gulf of Mexico. *Ecosystems*, 1-15.