

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA



CAPTURA DE CARBONO EN EL MANGLAR DEL ESTUARIO
“EL AZUFRE” DE LA RESERVA MARINA EL PELADO –
SANTA ELENA

AUTOR:

TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO

TUTOR:

Blga. DADSANIA RODRÍGUEZ MOREIRA, M.Sc.

2026



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

“CAPTURA DE CARBONO EN EL MANGLAR DEL
ESTUARIO “EL AZUFRE” DE LA RESERVA MARINA EL
PELADO – SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO

LA LIBERTAD – ECUADOR

2026

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, **“Captura de carbono en el manglar del estuario “El Azufre” de la Reserva Marina El Pelado - Santa Elena”**, elaborado por **Tigrero De La A Carlos Oswaldo**, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente

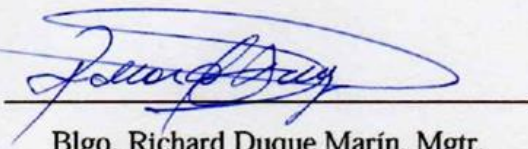


Blga. Dadsania Rodríguez Moreira, Mgt
DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular **“Captura de carbono en el manglar del estuario “El Azufre” de la Reserva Marina El Pelado - Santa Elena”**, elaborado por **Tigrero De La A Carlos Oswaldo**, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Richard Duque Marín', is written over a horizontal line.

Blgo. Richard Duque Marín, Mgtr.

DOCENTE DE ÁREA

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de investigación:

A quienes han sido los pilares fundamentales en mis años de carrera, mis padres Juana De La A García y Carlos Tigrero Galdea. Gracias a su apoyo incondicional, su compañía en este proceso que me mantuvieron de pie ante todas las dificultades. Estaré eternamente agradecido por el esfuerzo que han hecho para mí y mis hermanos y así podamos alcanzar estas metas.

A mis hermanos que me apoyaron en estos años de estudio en distintas actividades que me permitieron alcanzar el objetivo planteado.

Dedico este trabajo a mi mami lola, quien en vida veló por mí en diferentes aspectos de mi día a día en mis años de estudio proporcionando paciencia, cariño y sostenibilidad hasta ultimas instancias de su vida y espero talvez desde el más allá.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena y docentes de la facultad ciencias del Mar por otorgarme todos los conocimientos y herramientas necesarias para poder alcanzar mis objetivos académicos

A mi tutora de tesis Blga. Dadsania Rodríguez Moreira, M. Sc. por brindarme la guía, consejos y así apoyarme en el desarrollo del presente trabajo para una exitosa culminación.

A la Reserva Marina “El Pelado” y personal por brindarme el apoyo y respaldo en mi trabajo, con su acompañamiento y aportes se logró ejecutar el trabajo en el área protegida.

A mi grupo de amigos del cual formé parte desde inicios de la carrera, con quienes compartí muchas experiencias y siempre serán parte de mí, Alayza Chang, Josué Rodríguez, Estefanía Sarango, Danna Quimi, Doménica Silva, agradecer de lo más profundo de mi corazón a Joseline Yagual quién me ha apoyado de manera incondicional más allá de lo académico, a Tatiana Tumbaco quién gracias a su energía y carisma encontré varias veces la forma de hacer algo diferente, agradecimientos especiales para mi grupo “Los mirac” quienes estuvieron prestos para mí Isamar Medina, Ronny Rosales, y todas las personas que formaron parte de esta etapa de mi vida.

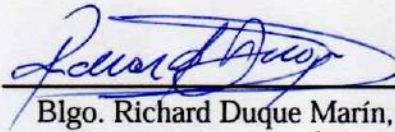
TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Tigrero De La A Carlos Oswaldo**, como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo/a de la Carrera de Biología, de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

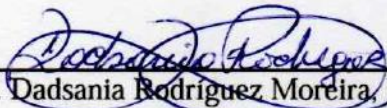
Trabajo de Integración Curricular APROBADO el: 12/08/2026



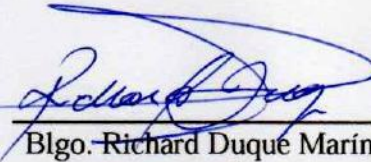
Ing. Jimmy Villón Moreno, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



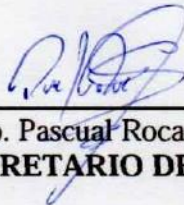
Blgo. Richard Duque Marín, Mgtr.
DOCENTE DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blga. Dadsania Rodríguez Moreira, Mgt
DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. Richard Duque Marín, Mgtr.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

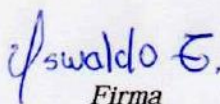


Lcdo. Pascual Roca Silvestre, Mgtr.
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los datos, ideas, investigaciones y resultados expuestos en el Trabajo de Integración Curricular denominado: **“Captura de carbono en el manglar del estuario “El Azufre” de la Reserva Marina El Pelado - Santa Elena”** me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo está compartido con la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Atentamente


Firma

TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO

C.I: 2450139130

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	7
2	PROBLEMÁTICA.....	10
3	JUSTIFICACIÓN	12
4	OBJETIVOS	13
4.1	Objetivo general:	13
4.2	Objetivos específicos:	13
5	HIPÓTESIS	14
6	MARCO TEÓRICO.....	15
6.1	Reserva marina el Pelado.....	15
6.2	Estuario “El Azufre”	15
6.3	Importancia del Estuario	16
6.4	Calentamiento global.....	16
6.5	Gases de efecto invernadero	17
6.6	Carbono Azul	17
6.7	Biomasa forestal	18
6.8	Ecosistema de manglar	18
6.9	Manglares en el Ecuador.....	19
6.10	Familia Rhizophoraceae	19
6.10.1	<i>Rhizophora mangle</i>	20
6.11	Familia acanthaceae.....	20
6.11.1	<i>Avicennia germinans</i>	21
6.12	Familia Combretaceae	21
6.12.1	<i>Laguncularia racemosa</i>	22
6.13	Importancia del manglar	22
6.14	Marco legal	23
6.14.1	Ley de la constitución de la República del Ecuador.....	23

7	MARCO METODOLÓGICO	26
7.1	Área de estudio.....	26
7.1.1	Delimitación y caracterización del sitio.....	26
7.2	Definición de parcelas	27
7.3	Medición del almacén y captura de carbono.....	28
7.4	Identificación Taxonómica.....	28
7.5	Carbono en suelo	30
7.6	Carbono en hojarasca.....	31
7.7	Análisis estadístico	32
7.8	Desarrollo de composición forestal y dasometría en el ecosistema de manglar.....	32
7.8.1	Volumen del árbol.....	34
7.9	Cálculo de la biomasa aérea y de raíces dentro del ecosistema de manglar a través de la ecuación alométrica.....	34
7.9.1	Cálculo de biomasa aérea por árbol.....	34
7.9.2	Cálculo del carbono almacenado en biomasa aérea por árbol	35
7.9.3	Cálculo del carbono almacenado en biomasa de raíces por árbol ..	36
7.9.4	Conversión de kilogramos a toneladas de carbono	36
7.9.5	Cálculo de carbono aéreo y de raíces almacenado por hectárea ...	37
7.9.6	Cálculo del carbono aéreo y de raíces almacenado por localidad ..	38
7.10	Estimación de carbono total almacenado en biomasa	38
8	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	39
8.1	Comparación de carbono almacenado en zonas con diferentes posiciones geomorfológicas	52
8.2	Fase estadística.....	54
9	DISCUSIÓN.....	56
10	CONCLUSIONES	59
11	RECOMENDACIONES	61

12	BIBLIOGRAFÍA	62
13	ANEXOS.....	69
Gráfica 1	Resultado de área basal de los puntos de investigación	41
Gráfica 2	Resultado de volumen por árbol de los puntos de investigación.....	43
Gráfica 3	Resultado de Biomasa por árbol de los puntos de investigación	45
Gráfica 4	Resultado de carbono en biomasa por árbol de los puntos de investigación.....	48
Gráfica 5	Carbono comparativo entre 2 zonas de estudio	53
Gráfica 6	Gráfico de Box plot de comparación entre zonas de estudio	54
Figura 1	Mapa de Santa Elena con punto de investigación	26
Figura 2	Ejemplo de diseño estructural para parcelas por transecto	28
Figura 3	Secado de muestras de suelo en laboratorio a 105°C	30
Figura 4	Muestra de hojarasca luego del secado a 65°C	31
Tabla 1	Coordenadas de ubicación para cada unidad de muestreo distribuidas en las dos zonas de estudio.....	27
Tabla 2	Factor de conversión para ecuaciones según el componente. Fuente: (Cisneros et al., 2021)	38
Tabla 3	Resultados del área basal de los árboles de la zona 1	39
Tabla 4	Resultados del área basal de los árboles de la ZONA 2.....	40
Tabla 5	Resultados del volumen de los árboles de la zona 1	42
Tabla 6	Resultados del volumen de los árboles de la ZONA 2.....	42
Tabla 7	Resultados de la biomasa de los árboles de la ZONA 1.....	44
Tabla 8	Resultados de la biomasa de los árboles de la ZONA 2.....	45
Tabla 9	Resultados del carbono almacenado de los árboles de la ZONA 1.....	46
Tabla 10	Resultados del carbono almacenado de los árboles de la ZONA 2.....	47
Tabla 11	Estimación de carbono contenido en la biomasa aérea y radical por hectárea de la zona 1	49

Tabla 12 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por hectárea (tC/ha) mediante ecuaciones alométricas en la Zona 2	50
Tabla 13 Comparación de la biomasa y el carbono almacenado entre las zonas de estudio.....	52
Anexo 1 Selección de cinta para etiquetado	69
Anexo 2 Etiquetado con cinta flaming para registro Dasométrico	69
Anexo 3 Muestra de suelo para análisis en laboratorio (DA, Fh).....	69
Anexo 4 Muestra de suelo a 10cm de profundidad	69
Anexo 5 Acompañamiento de voluntarios en REMAPE.....	70
Anexo 6 Registro de Laguncularia racemosa (Mangle blanco).....	70
Anexo 8 Registro de datos en muestras de suelo	70
Anexo 7 Instalaciones para ensayos para (DA, Fh).....	70
Anexo 9 Pesaje de submuestras de suelo	71
Anexo 10 Secado de muestras de hojarasca a 65°C.....	71
Anexo 11 Permiso de investigación para la recolección de especímenes de especies de la diversidad MAE-ARSFC-2026-0498 parte 1.....	72
Anexo 12 Anexo 11 Permiso de investigación para la recolección de especímenes de especies de la diversidad MAE-ARSFC-2026-0498 parte 2	73
Anexo 13 Anexo 11 Permiso de investigación para la recolección de especímenes de especies de la diversidad MAE-ARSFC-2026-0498 parte 3	74
Anexo 14 Anexo 11 Permiso de investigación para la recolección de especímenes de especies de la diversidad MAE-ARSFC-2026-0498 parte 4	75
Anexo 15 Anexo 11 Permiso de investigación para la recolección de especímenes de especies de la diversidad MAE-ARSFC-2026-0498 parte 5	76
Anexo 16 Anexo 11 Permiso de investigación para la recolección de especímenes de especies de la diversidad MAE-ARSFC-2026-0498 parte 6	78
Anexo 17 Resultados de laboratorio INIAP	78
Anexo 18 Tabla de registro Dasométrico transecto 1 Zona 1.....	79
Anexo 19 Tabla de registro Dasométrico transecto 2 Zona 1.....	80
Anexo 20 Tabla de registro Dasométrico transecto 3 Zona 1.....	81
Anexo 21 Tabla de registro Dasométrico transecto 1 Zona 2.....	82
Anexo 22 Tabla de registro Dasométrico transecto 2 Zona 2.....	82
Anexo 23 Tabla de registro Dasométrico transecto 3 Zona 2.....	83

RESUMEN

Los manglares constituyen uno de los ecosistemas con mayor capacidad de captura de carbono, desempeñando un papel fundamental en la mitigación del cambio climático. El presente estudio tuvo como objetivo estimar el carbono almacenado en el manglar del estuario “El Azufre”, perteneciente a la Reserva Marina El Pelado, comparando dos zonas con diferente posición geomorfológica, la investigación se realizó mediante un enfoque cuantitativo y de campo. Se establecieron 6 transectos de 100 x 10m donde se evaluaron 149 individuos pertenecientes a *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*. La biomasa aérea y radical se estimó mediante ecuaciones alométricas, mientras que el carbono en mantillo y sedimentos se determinó mediante análisis de laboratorio utilizando el método de pérdida por ignición. Posteriormente se calculó el carbono total por hectárea y se compararon ambas zonas mediante prueba para muestras independientes. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias en la distribución del carbono entre los reservorios evaluados. La Zona 1 presentó mayor almacenamiento de carbono en biomasa (21,58 t C/ha), asociado a una mayor densidad arbórea y predominio de individuos adultos de *Avicennia germinans*. En la zona 2, el sedimento constituyó el principal reservorio de carbono (8,94 t C/ha), favorecido por condiciones de inundación más frecuentes y el predominio de *Rhizophora mangle*. El carbono total almacenado fue de $34,94 \pm 4,19$ t C/ha en la Zona 1 y de $13,56 \pm 2,04$ t C/ha en la Zona 2. La comparación estadística evidenció diferencias significativas entre ambas zonas ($t = 7,37$; $p = 0,0018$). Se concluye que las diferencias en la posición geomorfológica estuvieron asociadas con variaciones en el carbono total almacenado y en la contribución relativa de la biomasa, los sedimentos y el mantillo al almacenamiento de carbono del manglar.

Palabras clave: carbono azul, manglar, biomasa, sedimentos, carbono orgánico, Reserva Marina El Pelado.

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are among the most efficient natural carbon sinks, playing a fundamental role in climate change mitigation. This study aimed to estimate carbon storage in the El Azufre estuarine mangrove, located within the El Pelado Marine Reserve, by comparing two areas with different geomorphological settings. The research followed a quantitative field-based approach. Six transects (100×10 m) were established, where 149 individuals of *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle* were evaluated. Above- and belowground biomass were estimated using allometric equations, while carbon stored in litter and sediments was determined through laboratory analyses using the loss-on-ignition method. Total carbon stock per hectare was subsequently calculated, and both areas were compared using an independent-samples t-test. The results revealed differences in carbon allocation among the evaluated reservoirs. Area 1 exhibited greater carbon storage in biomass ($21.58 \text{ t C ha}^{-1}$), associated with higher tree density and the predominance of mature *Avicennia germinans* individuals. In Area 2, sediments represented the main carbon reservoir (8.94 t C ha^{-1}), favored by more frequent tidal flooding and the predominance of *Rhizophora mangle*. Total carbon storage reached $34.94 \pm 4.19 \text{ t C ha}^{-1}$ in Area 1 and $13.56 \pm 2.04 \text{ t C ha}^{-1}$ in Area 2. Statistical analysis revealed significant differences between the two areas ($t = 7.37$; $p = 0.0018$). These findings indicate that geomorphological setting was associated with variations in total carbon storage and in the relative contribution of biomass, sediments, and litter to carbon sequestration in the mangrove ecosystem.

Keywords: blue carbon; mangrove; carbon storage; geomorphological setting; El Pelado Marine Reserve.

GLOSARIO

Alometría: Método que permite estimar la biomasa de un organismo mediante ecuaciones matemáticas basadas en variables de fácil medición, como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del árbol.

Área basal: Superficie transversal del tronco de un árbol medida a 1,30 m sobre el nivel del suelo, utilizada como indicador del desarrollo estructural de un bosque.

Biomasa aérea: Cantidad total de materia orgánica presente en la parte del árbol ubicada sobre el suelo, incluyendo tronco, ramas y hojas.

Biomasa radical: Materia orgánica correspondiente al sistema de raíces de un árbol, considerada uno de los principales reservorios de carbono en ecosistemas forestales.

Carbono azul: Carbono capturado y almacenado por ecosistemas costeros como manglares, marismas y praderas de pastos marinos, principalmente en la biomasa y los sedimentos.

Carbono orgánico del suelo (COS): Fracción del carbono presente en la materia orgánica del suelo, originada por residuos vegetales, raíces y microorganismos en diferentes estados de descomposición.

Carbono total almacenado: Cantidad total de carbono retenido en los diferentes reservorios de un ecosistema, expresada generalmente en toneladas de carbono por hectárea (t C/ha).

DAP (Diámetro a la Altura del Pecho): Diámetro del tronco medido a 1,30 m del suelo, utilizado como variable principal para estimar biomasa mediante ecuaciones alométricas.

Dasometría: Disciplina forestal dedicada a la medición y evaluación cuantitativa de árboles y bosques mediante variables como diámetro, altura, densidad y área basal.

Densidad aparente: Relación entre la masa seca del suelo y su volumen total, incluyendo los espacios porosos, expresada generalmente en g/cm^3 .

Ecuación alométrica: Modelo matemático empleado para estimar biomasa o carbono a partir de variables dasométricas, sin necesidad de destruir los individuos evaluados.

Estuario: Ecosistema costero donde confluyen aguas continentales y marinas, caracterizado por la mezcla de ambos tipos de agua y por una elevada productividad biológica.

Gradiente hidrológico: Variación espacial de las condiciones de inundación, salinidad y flujo de agua dentro de un ecosistema.

Hojarasca (Mantillo): Capa superficial formada por hojas, ramas, flores y otros restos vegetales recientemente depositados sobre el suelo del bosque.

Manglar: Ecosistema costero tropical dominado por especies vegetales adaptadas a condiciones de inundación periódica, altas concentraciones de sal y suelos saturados.

Materia orgánica: Conjunto de residuos de origen vegetal y animal presentes en el suelo que, durante su descomposición, contribuyen al almacenamiento de carbono y al ciclo de nutrientes.

Pérdida por ignición (LOI): Método de laboratorio utilizado para estimar el contenido de materia orgánica mediante la diferencia de peso de una muestra antes y después de ser sometida a altas temperaturas.

Posición geomorfológica: Ubicación relativa de un sitio dentro del relieve costero, determinada por factores como elevación, influencia mareal y régimen de inundación.

Reservorio de carbono: Compartimento natural donde el carbono permanece almacenado durante períodos prolongados, como la biomasa, el mantillo o los sedimentos.

Sedimento: Material mineral y orgánico depositado en el fondo de cuerpos de agua o zonas inundables, capaz de almacenar grandes cantidades de carbono orgánico.

Secuestro de carbono: Proceso mediante el cual el dióxido de carbono atmosférico es capturado y almacenado por los ecosistemas mediante procesos biológicos y físicos.

Sumidero de carbono: Sistema natural capaz de absorber más carbono del que libera a la atmósfera, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Transecto: Unidad de muestreo lineal establecida para evaluar características ecológicas y estructurales de un ecosistema mediante mediciones sistemáticas.

SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

CN: Circunferencia normalizada

CAP: Ancho del árbol

DAP: Diámetro a la altura del pecho

Fh: Factor humedad

DA: Densidad aparente

CV: Coeficiente de variación

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las mayores amenazas ambientales actuales, esto se debe principalmente al aumento de gases de efecto invernadero, entre los cuales el dióxido de carbono se presenta como el predominante debido a su abundancia y persistencia en la atmósfera. Frente a este escenario los ecosistemas costeros principalmente los manglares han expandido su valor estratégico en base a su capacidad para almacenar a largo plazo estos gases, proceso conocido como secuestro de carbono.

Los manglares son ecosistemas que se desarrollan en zonas tropicales y subtropicales. Estos bosques poseen una alta productividad primaria y proporcionan diferentes servicios ecosistémicos entre ellos la protección costera, reciclaje de nutrientes, mantenimiento de la biodiversidad marina. Su papel como reservorios naturales de carbono es indispensable para la mitigación ante el cambio climático, Siendo uno de los servicios más relevantes, pero menos estudiado tanto en la biomasa aérea como en los sedimentos (Kauffman & Donato, 2012).

Diferentes estudios han estimado que los manglares tienen la capacidad de secuestrar entre 800 y 1200 Mg C/ha⁻¹, evidenciando un contraste muy diferenciado entre registros en bosques tropicales terrestres (Alongi, 2014). Sin embargo, la transformación de estos ecosistemas a zonas acuícolas o urbanas han disminuido de

manera drástica y rápida su existencia global. En América latina se ha perdido su cobertura original entre un 25 y 100% siendo esto un registro de las últimas décadas, generando un impacto directo sobre la capacidad que tiene frente al cambio climático.

En Ecuador, la pérdida de estos ecosistemas ha sido mayormente asociado a la expansión de camaroneras y al desarrollo costero, Aunque en los últimos años se han establecido políticas y planes de manejo tanto para la conservación y recuperación de manglares, la presión natura y antrópica continúa afectando las funciones de estos ecosistemas. Mediante registros recientes se ha determinado que casi el 70% de la cobertura original de esos ecosistemas se ha perdido constando con una limitada tasa de recuperación (MAATE, 2022).

En la provincia de Santa Elena, la Reserva Marina El Pelado (REMAPE) constituye un espacio ecológicamente relevante dentro del Sistema Nacional de Áreas protegidas, al albergar hábitats marino costeros de alta productividad biológica. En particular, el estuario “El Azufre”, ubicado en la comuna de Valdivia, presenta una dinámica ecológica que se ha visto influenciada por factores naturales y antrópicos, que podrían incidir en su capacidad de captura y almacenamiento de carbono.

En base a estas circunstancias, la presente investigación tiene como propósito estimar la cantidad de carbono almacenado en el manglar del estuario lo cual

permitirá generar una línea base científica que aporte al conocimiento de los procesos de captura de carbono en manglares de la costa ecuatoriana y que sirva de fundamento para estrategia de conservación, manejo sostenible y mitigación del cambio climático.

2 PROBLEMÁTICA

A nivel mundial se estima una pérdida anual del 2.5% de la superficie de manglares, por lo que existe una crisis ambiental en lo que se refiere a su deterioro. Las principales actividades humanas están la contaminación, la destrucción del hábitat incluso la sobreexplotación de los recursos. Los desechos sólidos urbanos, contaminantes industriales, así como las modificaciones a las condiciones hidrológicas han tenido un gran impacto sobre los manglares (Calderón, Aburto, & Ezcurra, 2009).

Aunque la información disponible sobre la pérdida de manglares en América Latina aún presenta limitaciones diversos estudios coinciden en que varios países han perdido casi el 25 al 100% de su cobertura durando aproximadamente los últimos 25 años.

Los manglares ecuatorianos cumplen una función esencial en la captura y almacenamiento de carbono conocido como *carbono azul*, mitigando las concentraciones de CO₂ atmosférico y contribuyendo así a la reducción del calentamiento global. Estudios previos, como el realizado en el Refugio de Vida Silvestre Manglares del Estuario del Río Esmeraldas, reportaron que la especie *Rhizophora mangle* puede almacenar hasta 4 469 498 kg/ha de CO₂ (ERNESTO, 2019) .

La Reserva Marina El Pelado (REMAPE) alberga parches de manglar estuarino que pueden estar sujetos a variaciones ambientales asociadas a su posición geomorfológica y gradientes hidrológicos; observándose zonas bajas inundadas dominadas por *Rhizophora mangle* y zonas altas intermareales dominadas por *Avicennia germinans*. se pretende demostrar el aporte de este ecosistema como un contribuyente a la mitigación del cambio climático y así evidenciar su valoración a su vez que se cuantifica cómo estas variaciones ecológicas y de composición forestal afectan la distribución del carbono tanto en la biomasa aérea como en los sedimentos, dentro de aquello se generan las siguientes incógnitas, ¿Cuál es la cantidad de carbono almacenado en el Estuario el Azufre? ¿Cómo varía el almacenamiento de carbono orgánico total entre las zonas diferenciadas por su posición geomorfológica en el ecosistema de manglar de la Reserva Marina El Pelado?

3 JUSTIFICACIÓN

Los manglares son ecosistemas clave, estos brindan servicios ambientales y cumplen funciones ecológicas que resultan críticas para los recursos terrestres y marinos. Los servicios ecosistémicos más representativos son la protección costera, depuración de agua y probablemente el servicio ambiental más importante, aunque menos estudiado es su papel como sumideros de carbono. Estas reservas de carbono se consideran las más grandes encontradas en cualquier tipo de bosque (Kauffman & Donato, 2012).

Pero la presión de las actividades como la acuicultura y el desarrollo urbano generan alteraciones en la estructura forestal del manglar, reduciendo así su capacidad para secuestrar carbono.

Por lo tanto, el siguiente trabajo se justifica en la necesidad de cuantificar el carbono almacenado en el manglar del estuario “El Azufre”, para así lograr evidenciar su aporte a la mitigación del cambio climático y proporcionar información científica que sustente estrategias de conservación y manejo sostenible. Los resultados también servirían como una línea base del carbono almacenado que sería de gran importancia para proyectos de composición ambiental, planificación costera y establecer políticas de restauración.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

Cuantificar el carbono almacenado en el ecosistema de manglar de la reserva Marina El Pelado, mediante parcelas y ecuaciones alométricas, evidenciando su función como sumidero natural de carbono.

4.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar la composición forestal del manglar por medio de claves dicotómicas y dasometría.
- Estimar la cantidad de carbono almacenado en biomasa aérea y en sedimentos mediante ecuaciones alométricas y análisis de laboratorio.
- Comparar el almacenamiento de carbono orgánico total entre zonas diferenciadas por su posición geomorfológica, evaluando la influencia de estas variables ambientales sobre los depósitos evaluados.

5 HIPÓTESIS

H₁: Existen diferencias significativas en el carbono almacenado entre las zonas de estudio con diferente posición geomorfológica.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Reserva marina el Pelado

REMAPE situada en la provincia de Santa Elena, Ecuador entre los límites norte de Valdivia y la desembocadura del río en Palmar, fue declarada como reserva marina en 2012, contando con una extensión que abarca 13.005 ha de hábitats marinos y 96 ha de áreas terrestres siendo una de las once áreas en las que se han asignado diferentes grados de protección a lo largo de la costa continental de Ecuador, integrando prioridades de conservación que incluyen: El islote “El Pelado”; Estuario “El Azufre”; Parches coralinos; Región marino costera formada por construcciones arrecifales rocosos (Ministerio del Ambiente, 2014).

6.2 Estuario “El Azufre”

Los estuarios y las áreas aledañas son zonas de transición terrestre a marinas y de agua dulce a salada, un estuario es un cuerpo de agua semi cerrado que es formado cuando aguas dulces provenientes de ríos y quebradas se mezclan por una o unas conexiones con el mar abierto o cualquier otro cuerpo costero de agua salada (CONAM, 2025).

6.3 Importancia del Estuario

Los estuarios nos brindan diversos recursos, ventajas y servicios. Si bien algunos de ellos pueden cuantificarse en términos monetarios, otros no. Ofrecen espacios para actividades recreativas, investigación académica y disfrute estético.

Los estuarios son un recurso natural finito que debe gestionarse cuidadosamente en beneficio de todos aquellos que dependen de ellos y los disfrutan

Los ecosistemas estuarinos proporcionan hogar, alimento y zonas de reproducción a miles de especies de aves, animales, peces y otras criaturas. Los estuarios cumplen un rol crucial dentro del crecimiento de organismos marinos, esto incluye a la mayoría de especies de peces de importancia comercial. Estos ecosistemas son zonas de descanso para las aves migratorias debido a que son biológicamente productivas. También son conocidas como “viveras del mar” ya que numerosas especies de peces y animales dependen de ellas como zonas seguras de reproducción (Chen, 2022).

6.4 Calentamiento global

El calentamiento global se define como el aumento a largo plazo de la temperatura media del sistema climático de la Tierra. Este fenómeno es impulsado principalmente por las actividades humanas en especial la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la industria, las cuales incrementan y las concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el ambiente, intensificando el efecto invernadero natural (Méndez, 2023).

6.5 Gases de efecto invernadero

El fenómeno del cambio climático es actualmente uno de los mayores desafíos para la comunidad científica mundial, el calentamiento global y su relación con la emisión de gases de efecto invernadero es una amenaza cada vez más evidente para la humanidad.

Los gases de efecto invernadero son producidos de manera natural y son esenciales para la supervivencia de los seres vivos en el planeta, ya que impiden que parte del calor del sol se propague hacia el espacio, haciendo de la Tierra un lugar habitable. Sin embargo, desde el inicio de la industrialización, sumado a la tala indiscriminada de árboles y los métodos de cultivo, entre otras causantes, han incrementado las cantidades de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. Además, a medida que aumenta la población, junto con las economías y el nivel de vida, conlleva también el aumento de la emisión de ese tipo de gases (Urrutia, 2017).

6.6 Carbono Azul

El carbono azul se refiere al carbono que se encuentra acumulado en ecosistemas de manglares, pantanos salinos y praderas de pastos marinos, en el terreno en la biomasa viva sobre la superficie (como hojas, ramas y troncos), en la biomasa viva subterránea y en la biomasa muerta (McLeod, 2011).

De manera similar al carbono acumulado en los ambientes terrestres el carbono azul se conserva en la vegetación viva por intervalos de tiempo bastante cortos que varían de años a décadas. A diferencia de lo que ocurre en los ecosistemas terrestres,

el carbono retenido en los suelos de la costa puede ser considerables y quedar encerrado durante lapsos extremadamente prolongados lo que genera importantes depósitos de carbono (Duarte, 2005).

6.7 Biomasa forestal

La biomasa de los bosques se refiere a la cantidad de material orgánico presente en un ecosistema forestal específico, tanto en la superficie como bajo tierra. Generalmente se mide en toneladas por hectáreas, ya sea en peso fresco o seco. A menudo, se descompone en partes, siendo las más comunes la masa del tronco, las ramas, las hojas, la corteza, las raíces, la hojarasca y la madera en descomposición (Gayoso, Schlegel, & Guerra, 2000).

6.8 Ecosistema de manglar

Los manglares son quizás alguno de los ecosistemas más típicos de las costas tropicales, que consiste en valiosos y productivos bosques intermareales.

Los principales productos y servicios de los manglares incluyen la protección a partir de tormentas y aumento del nivel del mar; productividad vegetal y animal; fuentes de materia orgánica para los ecosistemas costeros; y secuestro y almacenamiento de carbono atmosférico y oceánico, mitigando así el cambio climático.

Los manglares también son indicadores muy útiles del clima y del nivel del mar. Cambios debido a la alta susceptibilidad a las variaciones en las temperaturas del aire/agua, subsidencia, frecuencia de inundaciones por mareas, descarga fluvial, salinidad de tu harina y flujo de nutrientes, así como ciclones tropicales intensificados por cambios climáticos (Rodrigues, y otros, 2021).

6.9 Manglares en el Ecuador

6.10 Familia Rhizophoraceae

Reconocida como una familia de árboles de manglar, solo 16 especies habitan específicamente en entornos de mangle. Esta familia se encuentra de manera amplia en zonas pantropicales y está repartida por las costas tropicales donde estas especies prosperan en bosques húmedos, tanto originales como secundarios. Tienen hojas simples y opuestas que pueden tener bordes lisos o con dientes; presentan estípulas interpeciolares que son grandes, brillantes y caducas rodeando fuertemente las hojas jóvenes y las flores en sus brotes vegetativos y reproductivos. *Rhizophora* es el género principal de la familia de manglares más extendida, las Rhizophoraceae. Las cuatro especies de esta familia que se han identificado en el manglar de Ecuador son *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* y *Rhizophora samoensis* (Molina-Moreira, Rodríguez, & Macías Tulcan, 2024)

6.10.1 *Rhizophora mangle*

Árbol o arbusto que puede alcanzar entre 1 y 10 metros de altura con un tronco que se mantiene erguido hasta en posición decumbente, tiene una corteza suave que presenta ligeras fisuras y es de color gris, las hojas son simples y están dispuestas de forma opuesta, su forma es elíptica, midiendo entre 6 y 14 centímetros de largo y entre 3 y 8 centímetros de ancho. Tienen un color verde intenso y brillante, mientras que el envés es de un verde más claro a amarillento, mostrando manchas oscuras, el pecíolo mide entre 0,5 y 1,5 centímetros. Esta especie muestra una notable resistencia a la salinidad. Se encuentra en zonas inundadas con agua salobre donde las corrientes son débiles, se ubica en las proximidades del mangle blanco y negro y es considerada una especie pionera en las fronteras entre tierra y mar (Molina-Moreira, Rodríguez, & Macías Tulcan, 2024)

6.11 Familia acanthaceae

La familia incluye 230 tipos y cerca de 4000 especies de pastos que usualmente son verticales y pocas veces aparecen como arbustos o árboles pequeños. Se encuentran distribuidos en todo el mundo hasta los 3,000m sobre el nivel del mar, predominando en áreas tropicales y subtropicales como el África tropical y Madagascar, los andes en Sudamérica, México tropical y Centroamérica, como características visibles se presentan sus hojas que son opuestas y lisas mientras que su inflorescencia puede ser axilar o terminal presentándose espigas de flores

solitarias y a veces agrupadas en glomérulos o capítulos simples con brácteas que suelen ser de gran tamaño. (Molina-Moreira, Rodríguez, & Macías Tulcan, 2024)

6.11.1 *Avicennia germinans*

Árboles que logran alcanzar una altura entre 15 a 30 metros. Corteza levemente fisurada de color café oscuro a gris. Presenta raíces secundarias superficiales con muchos neumatóforos lineares. Hojas simples, opuestas con forma lanceolada de color verde oliva en el frente y opaca en el envés. La inflorescencia en forma de espiga. Suelen crecer en grupos compactos en las puntas de las ramas (Molina-Moreira, Rodríguez, & Macías Tulcan, 2024)

6.12 Familia Combretaceae

La familia Combretaceae comprende alrededor de veintitrés géneros y seiscientas especies que incluyen árboles, arbustos y lianas distribuidas en áreas tropicales y subtropicales desde el nivel del mar hasta 3000 metros de altitud. Presentan hojas simples que pueden ser opuestas, alternas o dispuestas en verticilos, con bordes enteros y sin estípulas. Las flores son hermafroditas y se agrupan en espigas, racimos o cabezuelas, el ovario es ínfero con un cáliz que presenta una división profunda, los pétalos son 4 o 5 o pueden estar ausentes siendo de tamaño pequeño. Los frutos son generalmente indehiscentes y contienen una sola semilla sin endospermo. En Ecuador, los manglares que pertenecen a esta familia son *Conocarpus erectus* y *Laguncularia racemosa* (Molina, 2024)

6.12.1 *Laguncularia racemosa*

Laguncularia racemosa es un árbol que puede alcanzar aproximadamente 10 m de altura. Se caracteriza por presentar un tronco recto, ramas con crecimiento ascendente y raíces tipo zanco, sus hojas son simples y opuestas con forma que varía entre elíptica y lanceolada mientras que la longitud foliar oscila entre 9,8 y 13,1 cm, en cuando al ancho varía de 3,1 a 4,8. El margen es entero, la lámina tiene textura coriácea, el ápice es agudo y la base redondeada. Presenta un color verde intenso y el envés un tono más pálido. El pecíolo mide entre 1 y 2,3 cm de longitud. Su madera se utiliza en la construcción de pilotes, muelles y viviendas, también se emplean en la elaboración del carbón y herramientas (Molina-Moreira, Rodríguez, & Macías Tulcan, 2024).

6.13 Importancia del manglar

Los manglares son fundamentales para el equilibrio ecológico y la protección costera. Estos ecosistemas almacenan carbono, sirven de hábitat para una gran diversidad de aves, mamíferos y peces, actúan como reguladores hidrológicos y funcionan como barreras naturales contra la erosión, protegiendo a las comunidades locales de los huracanes. A su vez, desempeñan una función vital en la reducción del cambio climático no obstante el crecimiento industrial y turístico en la zona amenaza su preservación, lo que subraya la urgente necesidad de establecer políticas de gestión sostenible y conservación en las comunidades del estado. La implicación de la comunidad es vital para mantener estos ecosistemas que no solo

respaldan actividades económicas como la pesca, sino que también forman una parte fundamental de la identidad cultural de la zona (Monroy, 2014).

6.14 Marco legal

6.14.1 Ley de la constitución de la República del Ecuador

Título 1: Elementos constitutivos del Estado

Capítulo 2: Derechos del buen vivir

Sección segunda

Ambiente sano

Art. 14.- Se admite el derecho de las personas a habitar en un entorno saludable y ecológicamente equilibrado, que asegure la sostenibilidad y el bienestar, *sumak kawsay*. Se considera de interés general la protección del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la diversidad biológica y la integridad del patrimonio genético nacional, la mitigación del daño ambiental y la restauración de áreas naturales deterioradas.

Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La constitución de la Republica del Ecuador reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos y establece que debe garantizarse el respeto a su existencia, así como la conservación y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura funciones y procesos evolutivos. Además, dispone que cualquier persona o colectividad puede

exigir el cumplimiento de estos derechos y que el estado promoverá acciones orientadas a la protección de los ecosistemas (Del Ecuador, 2008)

Art. 73.- La Constitución de la Republica del Ecuador establece que el Estado debe adoptar medidas preventivas y de control frente a actividades que representen un riesgo para la biodiversidad especialmente aquellas que pueden provocar la desaparición de especies; el deterioro de los ecosistemas o alteraciones permanentes en los procesos naturales. Del mismo modo prohíbe la introducción de organismos y materiales que pueden afectar de manera irreversible el patrimonio genético del país (Del Ecuador, 2008)

Título VII: Régimen del Buen Vivir

Segundo capítulo: Biodiversidad y recursos naturales

Primera sección: Naturaleza y ambiente

Art. 397.- La Constitución de la Republica del Ecuador establece que cuando se produzca un daño ambiental, el Estado debe intervenir de forma inmediata para garantizar la protección de la salud t la recuperación de los ecosistemas afectados. Del mismo modo determina que el responsable de la actividad que ocasionó el impacto deberá asumir las obligaciones derivada de la reparación integral, conforme a lo establecido en la legislación vigente. Esta responsabilidad integral,

conforme a lo establecido en la legislación vigente. Esta responsabilidad también se extiende a los funcionarios encargados de la supervisión y control ambiental cuando exista incumplimiento de sus funciones (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008)

Art. 405.- La constitución de la Republica del Ecuador dispone que el Sistema Nacional de Áreas protegidas tiene como finalidad conservar la biodiversidad y asegurar el mantenimiento de las funciones ecológicas del país. Del mismo modo establece que este sistema está conformado por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, cuya rectoría corresponde al Estado. También señala que el estado debe garantizar los recursos necesarios para su sostenibilidad t promover la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades vinculados ancestralmente a estas áreas en los procesos de administración gestión. Finalmente prohíbe que personas naturales o jurídicas extranjeras adquieran tierras o concesiones dentro de áreas protegidas y zonas de seguridad nacional, conforme a la normativa vigente (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

7 MARCO METODOLÓGICO

7.1 Área de estudio

7.1.1 Delimitación y caracterización del sitio

El área delimitada fue fija durante el periodo de investigación para evitar errores de estimación. La investigación se realizó en el manglar ubicado en Valdivia donde se tomaron en cuenta los siguientes parámetros.

- **Espacio:** Para el presente estudio se estableció un lugar con presencia de manglares: Estuario “El Azufre” de la comuna Valdivia, a 4km del cantón Santa Elena, este punto de estudio fue separado por 2 zonas con diferentes posiciones geomorfológicas y gradientes hidrológicos.
- **Tiempo:** El trabajo de investigación se realizó con un tiempo de duración de 5 meses donde se evaluó el carbono que puede almacenar este ecosistema en la comuna Valdivia.
- **Población:** En el Estuario “El Azufre” se encuentran especies de Mangle rojo, Mangle negro, Mangle blanco.

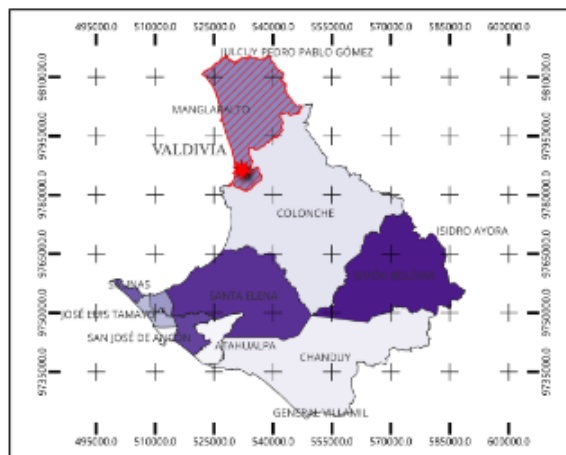


Figura 1 Mapa de Santa Elena con punto de investigación

Tabla 1 Coordenadas de ubicación para cada unidad de muestreo distribuidas en las dos zonas de estudio

Zona	UDM	Coordenadas x	Coordenadas y
1	1	1°55'12.34"S	80°43'33.75"O
	2	1°55'7.69"S	80°43'35.04"O
	3	1°55'11.77"S	80°43'35.51"O
2	1	1°54'51.77"S	80°43'38.36"O
	2	1°54'57.81"S	80°43'37.72"O
	3	1°54'52.14"S	80°43'40.14"O

7.2 Definición de parcelas

Se establecieron unidades de muestro, que permiten extrapolar y recolectar las muestras requeridas de los reservorios de carbono, para evaluar las reservas de carbono presentes en un ecosistema de manglar se pueden utilizar dos tipos de parcelas permanentes y temporales.

Se emplearon parcelas “anidadas” las cuales son permanentes con subparcelas dentro de estas. Donde serán medidas los adultos en el total de 10m x 10m, para este trabajo de investigación se utilizaron cintas/sogas para una mejor visualización de los transectos.

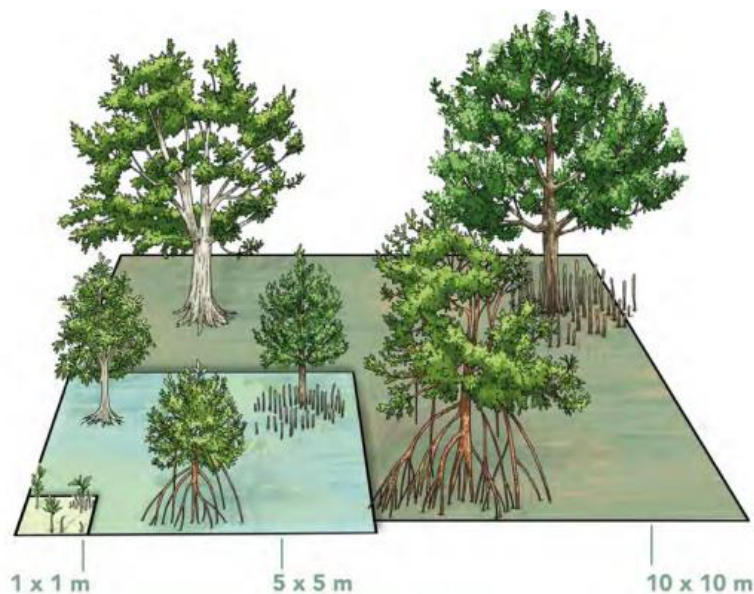


Figura 10 Ejemplo de diseño estructural para parcelas por transecto

7.3 Medición del almacén y captura de carbono

Para el trabajo en campo se realizaron 2 actividades principales en la zona de estudio: 1. Medición in situ para las medidas estructurales de los transectos, donde se realizó la composición estructural mediante dasometría.; 2. Recolección de núcleos de suelo en las parcelas para su posterior análisis en laboratorio.

7.4 Identificación Taxonómica

Mediante observación directa en la zona de estudio se identificó mediante claves dicotómicas las especies de mangle presentes en las parcelas establecidas, esta información fue registrada en plantillas/fichas personalizadas.

Claves dicotómicas

1a. Raíces aéreas zancudas (arco) muy desarrolladas; hojas elípticas, coriáceas (duras) y glabras (lisas) con envés verde claro

..... **Género *Rhizophora* (Mangle Rojo)**

1b. Raíces sin forma de arco zancudo (neumatóforos o raíces basales)

..... **Ir a 2**

2a. Raíces neumatóforos (raíces verticales que salen del suelo, tipo "respiradores") presentes; hojas opuestas, verde grisáceo a amarillo-verde en el envés

..... **Mangle Negro (*Avicennia germinans*)**

2b. Raíces sin neumatóforos prominentes

..... **Ir a 3**

3a. Hojas con dos glándulas en la base del peciolo (excretan sal); hojas verdes claro, lisas, de forma obovada

..... **Mangle Blanco (*Laguncularia racemosa*)**

3b. Hojas sin glándulas notorias en la base; hojas con envés cubierto de pelos finos (tomentosas)

..... **Ir a 4**

4a. Corteza gris oscura a marrón; hojas verdes brillante; fruto en forma de cono pequeño

..... **Mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*)**

4b. Raíces con "ojos" o lenticelas blancas, corteza rojiza, hojas verdes oscuro

..... **Mangle Piñuelo (*Pelliciera Rhizophora*)**

De forma complementaria se utilizó manuales de identificación como:

- GUÍA DE MANGLARES DEL ECUADOR (Cordero, J. GUÍA DE MANGLARES DEL ECUADOR.)

7.5 Carbono en suelo

El suelo se considera como el mayor almacén de carbono azul en especial en manglares. Las muestras de suelo fueron tomadas mediante un barreno a una profundidad entre intervalos de 5 – 15 cm siendo el núcleo principal para el análisis en laboratorio la sección de 5 a 10 cm es decir la parte media de la muestra principal, una vez extraído se conserva la muestra en bolsas herméticas para su transporte y así determinar los diferentes porcentajes.

En laboratorio también se consideró en determinar la densidad aparente del suelo, proceso que consistió en secar las muestras de suelo a una temperatura de 105°C entre 24 y 48 h,



Figura 19 Secado de muestras de suelo en laboratorio a 105°C

7.6 Carbono en hojarasca

Se colectó la muestra total que existía en un cuadrante de 50 x 50 cm, se registró el peso húmedo total el cual fue secado a una temperatura de 60 a 65°C, esto para evitar que se quemen o se carbonicen compuestos volátiles esto durante 48 a 72 horas, una vez el tiempo transcurrido alcanza las 48 horas se pesa las muestras, se registraron los pesos y se regresan las muestras al horno un par de horas más esto con el fin de comprobar si existe una variación de pesos en esas horas extra, una vez existe una variación de pesos mínimos entre registros, este se determina como el peso seco de la muestra.



Figura 20 Muestra de hojarasca luego del secado a 65°C

7.7 Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo en el que se calcularon medias de concentración como media, desviación estándar, coeficiente de variación, así como los valores máximos y mínimos de variables como el área basal y el volumen arbóreo. Se incluyó la biomasa aérea total, la biomasa total del tronco y los datos totales de carbono los cuales fueron obtenidos a través del uso de ecuaciones alométricas (ERNESTO, 2019).

7.8 Desarrollo de composición forestal y dasometría en el ecosistema de manglar

Estos ecosistemas costeros ofrecen un entorno único, marcado por raíces expuestas que limitan el acceso y un suelo inestable que dificulta el desplazamiento. Debido a estas características, el método para planificar las áreas de muestreo en humedales es notablemente distinto al que se emplea en otros tipos de bosques o hábitats. Por esta razón, se implementaron unidades de muestreos en transectos según lo propuesto por (Kauffman & Donato, 2012) y adaptaciones de parcelas cuadradas de 10m x 10m.

Altura del árbol

Para determinar o calcular la altura de árbol se establece una distancia de 6 a 9 metros desde el centro del objetivo a medir y se utiliza un clinómetro para determinar los ángulos del objetivo para así determinar la altura mediante teorema de Pitágoras.

Diámetro normalizado o Diámetro a la altura del pecho

Para determinar el mismo se utiliza la variable Cn, como se muestra en la formula descrita a continuación.

$$D (cm) = \frac{Cn}{\pi}$$

Donde

D= Diámetro normalizado

Cn= Circunferencia normalizada

Área basal del árbol

Para este cálculo se toma la variable D obtenida anteriormente además de la constante pi y el número 4, descrito mediante la siguiente formula.

$$AB = \frac{\pi * DAP^2}{4}$$

7.8.1 Volumen del árbol

Para hallar el volumen del árbol se aplicó la siguiente formula según (Brown, 1997).

$$V = AB * f * h$$

Donde: V = Volumen del árbol (m^3)

AB = Área basal (m^2)

f = Factor de forma (0.5)

h = Altura total (m)

7.9 Cálculo de la biomasa aérea y de raíces dentro del ecosistema de manglar a través de la ecuación alométrica.

7.9.1 Cálculo de biomasa aérea por árbol

Para determinar la biomasa aérea tanto de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* se empleó el método no destructivo denominado ecuaciones alométricas propuestas por Brown las cuales se basan en D , Altura del Árbol y densidad.

$$Y = 0.105 \times \rho \times (DAP)^{2.57}$$

Donde:

Y = Biomasa

ρ = Densidad de la madera, 0.67 en caso de *Avicennia germinans*; 0.85 (*Rhizophora mangle*)

DAP = Diámetro a la altura del pecho en centímetros

7.9.2 Cálculo del carbono almacenado en biomasa aérea por árbol

A través de la fórmula de Brown se efectúa la estimación del carbono acumulado en la biomasa que está por encima del suelo. Esto se lleva a cabo multiplicando la biomasa aérea medida en toneladas por el coeficiente propuesto por el Panel intergubernamental sobre el cambio climático (MacDicken, 1997)

$$C = BT \times 0.5$$

C = Carbono en toneladas por árbol (t)

Bt = Biomasa por árbol en toneladas

0.5 = Coeficiente de fracción de carbono

Cálculo de biomasa de raíces por árbol

Además de la biomasa que se encuentra sobre el suelo, se calculó también la biomasa en las raíces. La biomasa del subsuelo juega un papel significativo en los ecosistemas de manglares, ya que representa una parte considerable al compararse con otros tipos de bosques. Para esto se aplicó la fórmula de Komiyama.

$$B_{TB} = 0.199 \times \rho \times D$$

7.9.3 Cálculo del carbono almacenado en biomasa de raíces por árbol

La medición de secuestro de carbono en las raíces se realiza mediante la multiplicación de la masa de biomasa por el nivel de carbono correspondiente. Un caso relevante es la investigación de Jaramillo (2003), que reportó niveles de carbono en las raíces que oscilan entre el 35% y el 42%, lo que resulta en un valor medio razonable del 39% para el ecosistema de manglar. Este método es fundamental para entender las interacciones dentro del ciclo del carbono y su repercusión en las dinámicas ecológicas, favoreciendo una gestión responsable de los bosques (Kauffman & Donato, 2012). Esto se ilustra con la ecuación siguiente.

$$C_{TB} = B_{TB} \times 0.39$$

Donde: CTB= Carbono en raíces

Btb= Biomasa de raíces

0.39= factor de conversión

7.9.4 Conversión de kilogramos a toneladas de carbono

Puesto que los hallazgos de carbono en la biomasa sobre el suelo y en las raíces se expresan en kilogramos, resulta necesario convertirlos a toneladas, que es la unidad utilizada para calcular la absorción por hectárea. Para este proceso, se utilizó la fórmula.

$$CT = Ckg/1000$$

Donde:

Ct= Carbono almacenado en toneladas

Ckg= Carbono almacenado en kilogramos

1000= Factor de conversión

7.9.5 Cálculo de carbono aéreo y de raíces almacenado por hectárea

Mediante el uso del carbono acumulado en la biomasa sobre el suelo y en las raíces promedio por árbol en cada área, se lleva a cabo una estimación total de carbono capturado. Para esto, se suman ambos componentes conforme se indica en la siguiente formula.

$$Ct = C_{aéreo} + C_{raíces}$$

Para lograr una estimación del carbono almacenado por hectárea, se lleva a cabo multiplicando el carbono capturado en cada árbol por la cantidad de árboles aproximados que hay en una hectárea.

$$C_{ha} = C \times n$$

C ha = Carbono almacenado por hectárea en toneladas (t/ha)

C = Carbono por árbol en toneladas (t)

n = Número de árboles

7.9.6 Cálculo del carbono aéreo y de raíces almacenado por localidad

Empleando la captura de carbono por hectárea que se obtuvo en la sección previa, se realiza el cálculo del carbono acumulado en cada zona. Para esto, se multiplicó el área aproximada por zona por la cantidad de carbono que se almacena en cada hectárea, tal como se detalla en la formula.

$$CT = C_{ha} \times H_{sector}$$

CT= Carbono almacenado por localidad

Hsector= Hectáreas aproximadas por localidad

7.10 Estimación de carbono total almacenado en biomasa

Mediante los datos registrados de los diferentes análisis en laboratorios y registros en campo se calculó la estimación de carbono multiplicando la biomasa por la fracción de carbono en biomasa dependiendo de la muestra.

Tabla 2 Factor de conversión para ecuaciones según el componente. Fuente: (Cisneros et al., 2021)

	Componente	Factor de conversión
Biomasa aérea	Arboles Jóvenes y	0.46 – 0.5
	adultos	
Necromasa	Hojasasca (Mantillo)	0.45
	Sedimentos	0,39

8 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El procesamiento y análisis estadístico de la información recopilada en la fase de campo se estructuró de manera sistemática, indexando cada procedimiento al cumplimiento de los tres objetivos específicos de la investigación.

A partir de la evaluación y recolección de datos, se pudo obtener los hallazgos de la investigación tomando en cuenta la población, cantidad total de biomasa, altura total, volumen y área basal de las especies de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*.

Área basal de los árboles m²/árbol

Para los muestreos realizados en las 2 zonas dentro del área de investigación se establecieron 3 transectos, constando cada uno con 5 parcelas. Los datos de cada árbol tomados, como circunferencia normalizada y altura permitió determinar el área basal.

Tabla 3 Resultados del área basal de los árboles de la zona 1

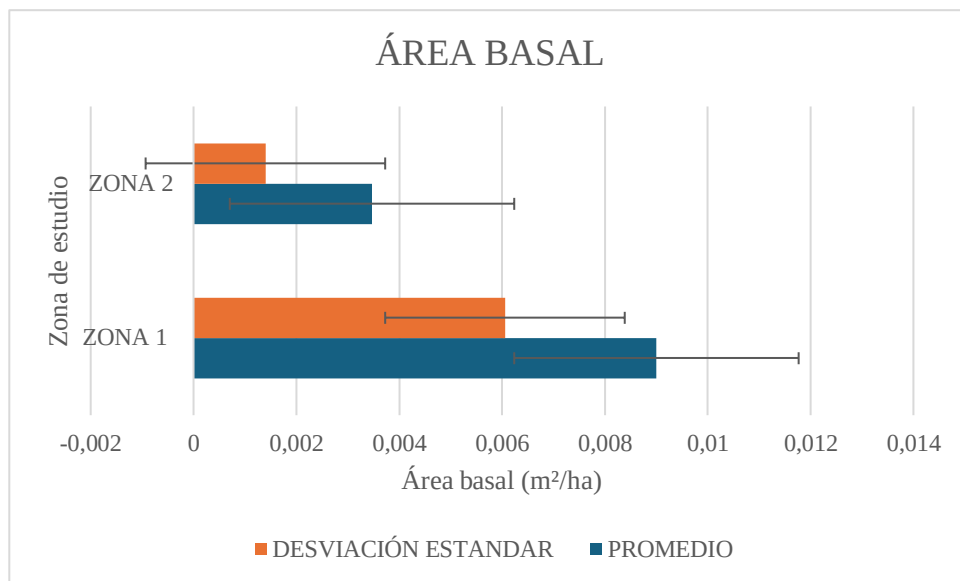
ZONA 1 / Área basal				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	40	30	35	105
Promedio	0,009064288	0,012060958	0,006229807	0,00900205
Dev. Est	0,005706605	0,006854274	0,004275978	0,0060564
Máxima	0,027513433	0,033414899	0,021187979	0,0334149
Mínima	0,002140316	0,002635924	0,002192837	0,00214032
Co. Var	63%	57%	68,64%	67%

El promedio más alto del área basal en la Zona 1, se encuentra en el transecto 2 con $0,012 \text{ m}^2/\text{árbol}$ y con una variación de 57% y el más bajo es el transecto 3 con $0,006 \text{ m}^2/\text{árbol}$ y una variabilidad de 68,64%, en cuanto a la máxima es de $0,026 \text{ m}^2/\text{árbol}$ en el transecto 2 y la mínima más baja está representado por el transecto 1 con $0,021 \text{ m}^2/\text{árbol}$.

Tabla 4 Resultados del área basal de los árboles de la ZONA 2

ZONA 2 / Área basal				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	11	19	14	44
Promedio	0,00318562	0,00363327	0,00347492	0,00351586
Dev. Est	0,00124607	0,00157935	0,0013061	0,00141901
Máxima	0,0058012	0,00709053	0,00635978	0,00709053
Mínima	0,00203718	0,00200421	0,00204228	0,00200421
Co. Var	39%	43%	37,59%	40%

Se registraron 44 individuos de *Rhizophora mangle* distribuidos en tres transectos de la Zona 2, donde se obtuvo un área basal promedio general de $0,00351586 \text{ m}^2$ por árbol. El Transecto 2 presentó el mayor valor promedio ($0,00363327 \text{ m}^2$), seguido por el Transecto 3 ($0,00347492 \text{ m}^2$) y el Transecto 1 ($0,00318562 \text{ m}^2$), lo que indica una ligera predominancia de individuos con mayor desarrollo diamétrico en el segundo transecto.



Gráfica 1 Resultado de área basal de los puntos de investigación

La zona 1 presenta valores de área basal mayores en comparación a la zona 2 así mismo una mayor dispersión. Mientras que los valores mínimos son sumamente similares en ambas zonas, la Zona 1 registra una máxima de 0,0334 y un promedio de 0,0090, cifras que superan por más del triple a la máxima de 0,0071 y al promedio de 0,0035 obtenidos en la Zona 2. Esta marcada diferencia se complementa con una heterogeneidad más pronunciada en la zona 1, que a su vez se refleja tanto en su desviación estándar como en su coeficiente de variación del 67% en contraste con el 40% de la Zona 2, lo que demuestra que es un entorno con magnitudes de área basal notablemente superiores, pero también mucho más variables y heterogéneas.

Volumen

Esta variable fue determinada mediante la compilación dasométrica sobre el componente de altura obtenidos en conjunto con el factor de forma estándar.

Tabla 5 Resultados del volumen de los árboles de la zona 1

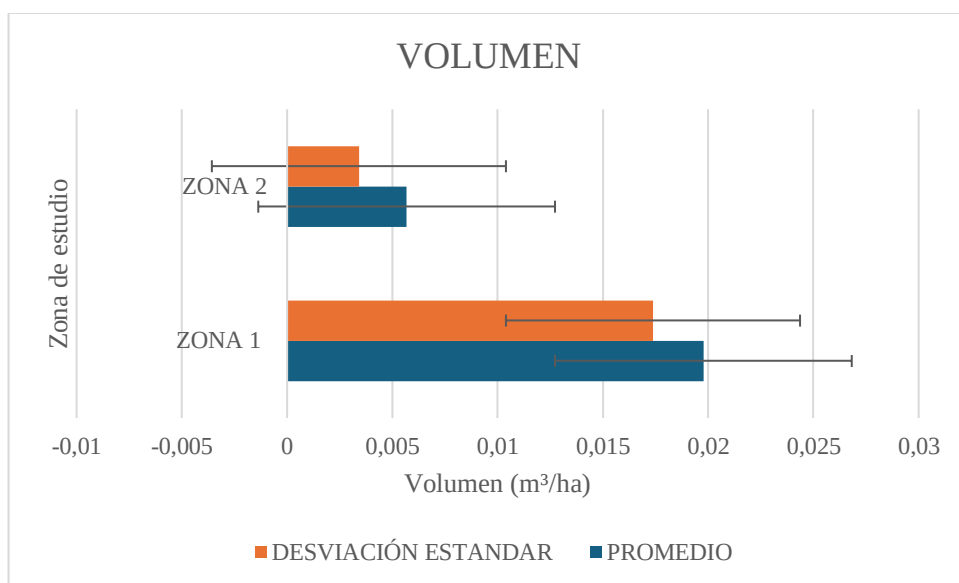
ZONA 1 / Volumen				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	40	30	35	105
Promedio	0,019741648	0,02660313	0,01378324	0,01977298
Dev. Est	0,017751389	0,01932614	0,01275892	0,01737991
Máxima	0,109641032	0,09022023	0,0770183	0,10964103
Mínima	0,003334344	0,00566724	0,00306997	0,00306997
Co. Var	90%	73%	93%	88%

Se registró un promedio general para la Zona 1 de 0.0197m³. Al analizar el comportamiento espacial por transecto, el Transecto 2 exhibió el mayor desarrollo volumétrico medio con 0.0266, superando al Transecto 1 0.019 m³ y duplicando el promedio del Transecto 3 0.0137m³.

Tabla 6 Resultados del volumen de los árboles de la ZONA 2

ZONA 2 / Volumen				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	11	19	14	44
Promedio	0,00469245	0,00654922	0,0052692	0,00581157
Dev. Est	0,00150491	0,00452697	0,00249839	0,00346045
Máxima	0,00707221	0,01701728	0,01049363	0,01701728
Mínima	0,00278457	0,00205432	0,00221587	0,00205432
Co. Var	32%	69%	47%	60%

En la siguiente tabla se observa que se registró un promedio general para la Zona 2 de 0.0058 m³. Al analizar el comportamiento espacial por transecto, el Transecto 2 presentó el mayor desarrollo volumétrico medio con 0.00654, superando al Transecto 3 0,0052 m³ y estableciendo una superioridad del 30% contra el promedio del Transecto 1 0.0046 m³.



Gráfica 2 Resultado de volumen por árbol de los puntos de investigación

Mediante el siguiente gráfico se logra identificar que la zona 1 refleja una acumulación significativa mayor y una estructura forestal más heterogénea en comparación con la Zona 2. A pesar que los valores mínimos demuestran magnitudes más bajas y relativamente cercanas entre sí 0,00307 m³/árbol frente a 0,00205 m³/árbol, la Zona 1 registra un volumen máximo de 0,10964 m³/árbol y un promedio de 0,01977 m³/árbol, valores que superan de manera sobresaliente a la máxima de 0,01701 m³/árbol y al promedio de 0,00567 m³/árbol de la Zona 2, siendo que el volumen promedio de la Zona 1 es casi cuatro veces superior al de la

Zona 2, en términos de variabilidad la Zona 1 también manifiesta una mayor dispersión absoluta y relativa, con una desviación estándar de 0,01738 m³/árbol y un coeficiente de variación de 88% en contraste con el 60% que se puede observar en la Zona 2. Este comportamiento estructural indica que si bien ambas zonas albergan individuos en estas iniciales de desarrollo o dimensiones reducidas la zona 1 se caracteriza por la presencia de ejemplares con esta variable como la dominante lo que exhibe un perfil forestal mucho más discontinuo, disímil y con un potencial de secuestro más elevado al de la Zona 2.

BIOMASA

Para obtener el total de biomasa acumulado

Tabla 7 Resultados de la biomasa de los árboles de la ZONA 1

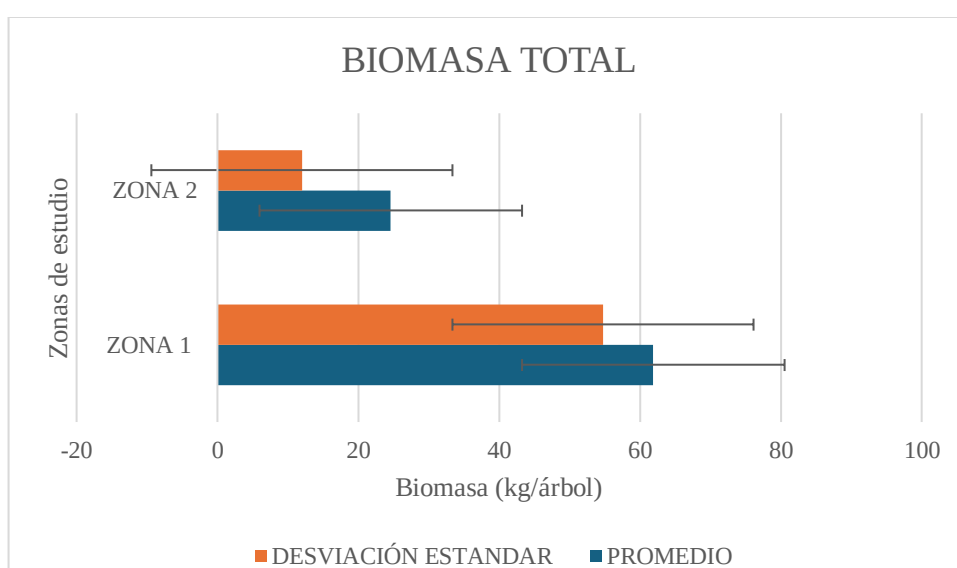
ZONA 1 / Biomasa				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	40	30	35	105
Promedio	61,1167303	88,4283322	39,399493	61,8952109
Dev. Est	46,9305941	70,9932412	34,0857526	54,7500031
Máxima	223,5333196	371,559332	162,889066	371,559332
Mínima	11,76865593	13,284194	10,6636621	10,6636621
Co. Var	77%	80%	87%	88%

El análisis espacial posiciona al Transecto 2 como la unidad con mayor acumulación media, alcanzando 88.43 kg/árbol, seguido por el Transecto 1 con 61.12 kg/árbol y el Transecto 3 con 39.40 kg/árbol. Esta marcada ventaja estructural del Transecto 2 sugiere condiciones locales óptimas.

Tabla 8 Resultados de la biomasa de los árboles de la ZONA 2

ZONA 2 / Biomasa				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	11	19	14	44
Promedio	22,1619396	26,0655389	26,0005704	25,0008012
Dev. Est	10,4981451	13,6644805	11,6893989	12,1969674
Máxima	44,7714656	56,9942818	50,0036871	56,9942818
Mínima	12,7805543	12,534001	12,8187359	12,534001
Co. Var	47%	52%	45%	49%

El Transecto 2 registró la mayor densidad con 19 árboles, seguido por el Transecto 3 con 14, y el Transecto 1 con 11 individuos. A nivel general, la biomasa promedio de la zona fue de 25.00 kg/árbol, con un valor mínimo registrado de 12.53 kg/árbol y un máximo de 56.99 kg/árbol. Al evaluar los transectos de manera individual, el Transecto 2 presentó el promedio estimado más alto 26.07 kg/árbol, así como el espécimen con la mayor biomasa registrada 56.99 kg/árbol. Por el contrario, el Transecto 1 mostró el promedio más bajo con 22.16 kg/árbol.



Gráfica 3 Resultado de Biomasa por árbol de los puntos de investigación

Mediante el análisis de dispersión se revela una alta variabilidad en la biomasa de los árboles dentro de esta zona, este dato se evidencia mediante un coeficiente de variación total de 49% y una desviación estándar general de 12.20. Esta fluctuación es particularmente pronunciada en el Transecto numero 2 donde el CV alcanza el 52%.

El alto porcentaje de variación presente, demuestra que la estructura forestal del mangle rojo en esta zona es heterogénea. La coexistencia de valores mínimos muy bajos con máximos que llegan a duplicar el promedio como se observa en el transecto 2 sugiere una población compuesta por árboles en diferentes estadios de desarrollo.

Carbono Total por árbol

Tabla 9 Resultados del carbono almacenado de los árboles de la ZONA 1

ZONA 1 / CT por árbol				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	40	30	35	105
Promedio	0,027519324	0,0399407	0,01767522	0,02788415
Dev. Est	0,021335425	0,03240299	0,01546345	0,02492748
Máxima	0,101575304	0,16945775	0,07381854	0,16945775
Mínima	0,005210302	0,00588775	0,00471686	0,00471686
Co. Var	78%	81%	87%	89%

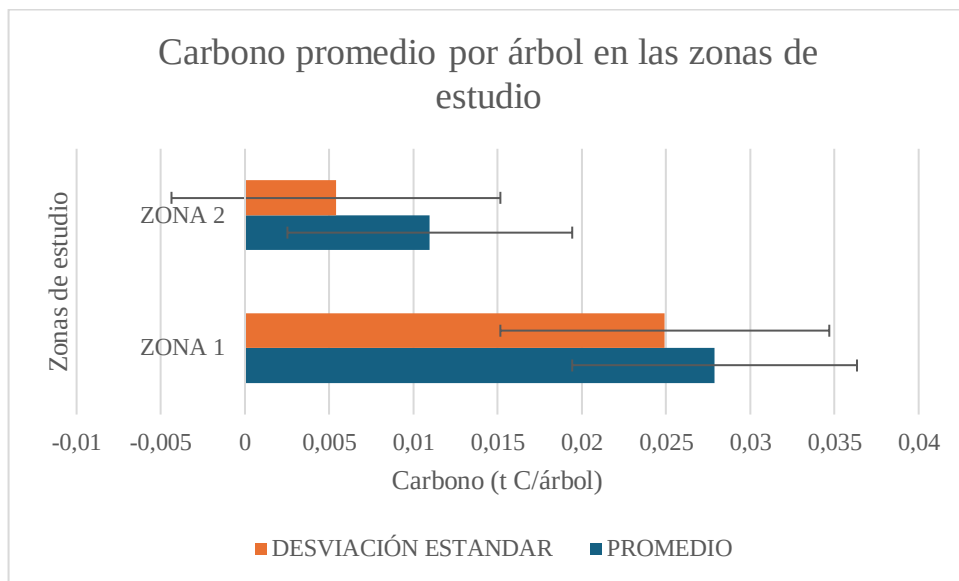
El desglose espacial por transecto replica la jerarquía observada en las fases dasométricas previas. El Transecto 2 lidera la capacidad de retención individual con un promedio de 0.0399 t C/árbol, seguido por el Transecto 1 con 0.0275 t C/árbol y

el Transecto 3 con 0.0176 t C/árbol. Esta fluctuación espacial denota que las condiciones edáficas o lumínicas del Transecto 2 favorecen un almacenamiento de carbono por fuste que duplica la eficiencia del Transecto 3.

Tabla 10 Resultados del carbono almacenado de los árboles de la ZONA 2

ZONA 2 / CT por árbol				
Transectos	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Total
N.º de árb	11	19	14	44
Promedio	0,00986985	0,01162807	0,01095508	0,01097438
Dev. Est	0,00472004	0,00615226	0,00502241	0,0053993
Máxima	0,0200485	0,02557668	0,02241352	0,02557668
Mínima	0,00565877	0,00554862	0,00567583	0,00554862
Co. Var	48%	53%	46%	49%

El Transecto 2 exhibió tanto el promedio estimado más elevado 0.012 t C/árbol como el espécimen con la mayor capacidad de acumulación individual 0.026 t C/árbol. Por su parte, el Transecto 1 presentó el valor medio de carbono más discreto con 0.010 t C/árbol, mientras que el Transecto 3 se situó en una posición intermedia con una media de 0.011 t C/árbol.



Gráfica 4 Resultado de carbono en biomasa por árbol de los puntos de investigación

De la misma forma que en la sección de biomasa, el análisis de dispersión denota una marcada heterogeneidad en la estructura forestal dentro de la zona, Esto se logra corroborar mediante un coeficiente de variación global de 49% y una desviación estándar de 0.005 t C/árbol.

La fluctuación interna fue superior en el Transecto 2 $CV = 53\%$, lo cual refleja que este sector alberga árboles con una disparidad metabólica o estructural considerable, permitiendo que coexistan individuos en etapas iniciales de fijación de carbono con especímenes maduros altamente eficientes en el secuestro de este elemento. En contraste, los transectos 1 y 3 manifestaron una dispersión ligeramente menor 48% y 46%, sugiriendo condiciones ambientales o de edad del rodal sutilmente más homogéneas entre sus individuos.

Los resultados finales obtenidos a partir del uso de las diversas ecuaciones presentadas en este estudio se exhiben en las siguientes tablas y gráficos

Tabla 11 Estimación de carbono contenido en la biomasa aérea y radical por hectárea de la zona 1

		Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3
N.º de árb		40	30	35
Carbono aéreo	Promedio de biomasa/ árbol	33,48	49,57	20,99
	Promedio de biomasa/ ha	26791,26	29747,20	14696,30
	Pasar de kg a Ton de biomasa	26,79	29,74	14,69
	Carbono total (t C/ha)	13,39	14,87	7,34
Carbono raíces	Promedio de biomasa/ árbol	27,62	38,84	18,40
	Promedio de biomasa/ ha	22102,12	23309,79	12883,34
	Pasar de kg a Ton de biomasa	22,10	23,30	12,88
	Carbono total (t C/ha)	11,05	11,65	6,44
Carbono total				
	(tC/ha)	24,44	26,52	13,78

Los valores más elevados de la biomasa se observan en el transecto, donde el promedio alcanzó 49,57 kg/árbol. Este comportamiento también se reflejó en el carbono estimado por unidad de superficie, con 29,74 t/ha de biomasa y 14,87 t C/ha almacenados. El transecto 1 ocupó una posición intermedia registrando 33,48 kg/árbol y 13,39 t C/ha. En contraste, el transecto 3 presentó el menor promedio de biomasa individual 20,99 kg de biomasa, aunque el carbono almacenado alcanzó 18,40 t C/ha.

En respuesta al comportamiento del reservorio de carbono en raíces. El Transecto 2 lideró el almacenamiento con 11,65 t C/ha, seguido por el Transecto 1 con 11,05 t C/ha y, finalmente el Transecto 3 con 6,44 t C/ha.

Al integrar ambos depósitos, el carbono total acumulado varió notablemente entre los transectos 2 y 3. El Transecto 2 mostró la mayor capacidad de almacenamiento con un total de 26,52 t C/ha, superando ligeramente al Transecto 1, que registró 24,44 t C/ha. El Transecto 3 presentó la menor reserva de carbono con 13,78 t C/ha, lo que representa casi la mitad del potencial de almacenamiento observado en el Transecto 2.

Tabla 12 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por hectárea (tC/ha) mediante ecuaciones alométricas en la Zona 2

		Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3
N.º de árb		11	19	14
Carbono aéreo	Promedio de biomasa/ árbol	11,15	13,29	12,45
	Promedio de biomasa/ ha	2453,39	5052,31	3664,62
	Pasar de kg a Ton de biomasa	2,45	5,05	3,66
	Carbono total (t C/ha)	1,22	2,52	1,83
Carbono raíces	Promedio de biomasa/ árbol	11,01	12,76	12,12
	Promedio de biomasa/ ha	2422,22	4852,58	3556,41
	Pasar de kg a Ton de biomasa	2,42	4,85	3,55
	Carbono total (t C/ha)	1,21	2,42	1,69
Carbono total (tC/ha)		2,43	4,94	3,52

El transecto 2 registró el mayor promedio de biomasa por individuo con 13,29 kg/árbol, lo que se tradujo en la mayor acumulación a nivel de superficie con 5,05 t/ha de biomasa y un stock de 2,52 t C/ha, seguido del transecto 3 que presentó un promedio de biomasa por árbol menor con 12,45 kg/árbol alcanzando un stock de 1,83 t C/ha. Por su parte, el transecto 1 presentó los valores más bajos para este depósito, siendo 11,15 kg de biomasa por árbol y un almacenamiento de 1,22 t C/ha.

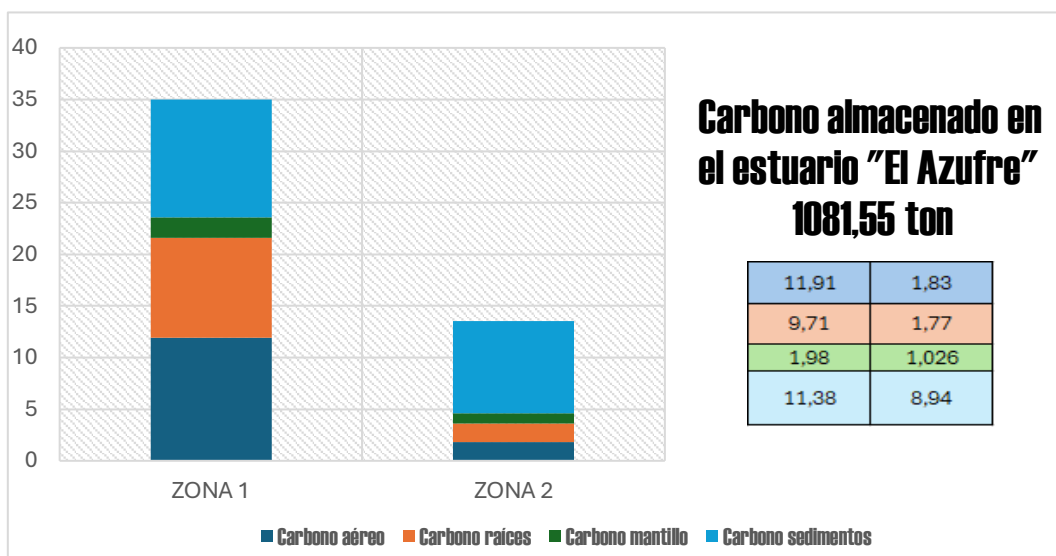
El comportamiento del reservorio de carbono en raíces mantuvo una tendencia homóloga a la del componente aéreo. El transecto 2 lideró el almacenamiento con 2,42 t C/ha, seguido por el transecto 3 con 1,69 t C/ha y, finalmente, el transecto 1 con 1,21 t C/ha.

Existió una variación cercana entre los transectos. El transecto 2 mostró la mayor capacidad de almacenamiento con un total de 4,94 t C/ha, superando al transecto 3, que registró 3,52 t C/ha. El transecto 1 presentando 2,43 t C/ha.

8.1 Comparación de carbono almacenado en zonas con diferentes posiciones geomorfológicas

Tabla 13 Comparación de la biomasa y el carbono almacenado entre las zonas de estudio

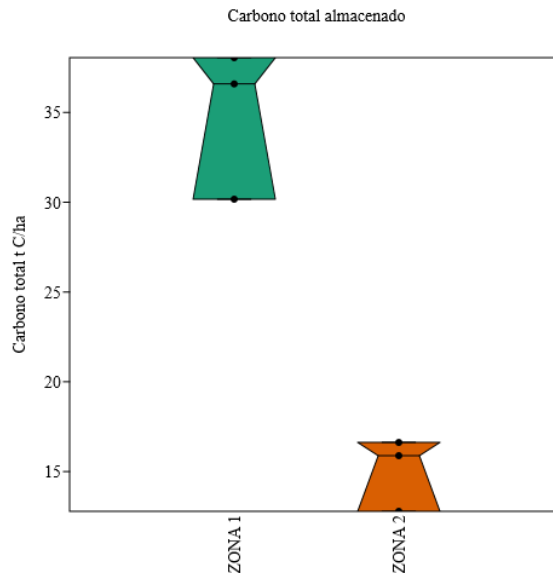
		ZONA 1	ZONA 2
N.º de árb		105	44
Carbono aéreo	Promedio de biomasa/ árbol	34,04	12,49
	Promedio de biomasa/ ha	23744,82	3664,62
	Pasar de kg a Ton de biomasa	23,74	3,66
	Carbono total (t C/ha)	11,87	1,83
Carbono raíces	Promedio de biomasa/ árbol	13,59	12,12
	Promedio de biomasa/ ha	19431,75	3556,41
	Pasar de kg a Ton de biomasa	19,43	3,56
	Carbono total (t C/ha)	9,71	1,77
Carbono total	(tC/ha)	21,58	3,6
Biomasa			
Carbono en Mantillo	tC/ha	1,98	1,026
Carbono en Sedimentos	tC/ha	11,38	8,94
Carbono Total	Tc/ha	34,94	13,56
Carbono almacenado en el estuario “El Azufre”	Extensión de manglar en El Azufre (ha) 22,3	1081.55	



Gráfica 5 Carbono comparativo entre 2 zonas de estudio

La Zona 1, caracterizada por una estructura madura dominada por la especie *Avicennia germinans* se registró una alta densidad de 105 individuos, lo que refleja un robusto inventario de carbono en biomasa de 11,91 t C/ha y un total de 11,38 ton de carbono en sedimentos a una profundidad de 10 cm. Por el contrario, la Zona 2 muestra un escenario significativamente menor, con apenas 3,68 t C/ha acumulado. Esta pronunciada disminución responde de manera directa a criterios ecológicos y de composición florística, debido a que esta zona está ocupada por ejemplares más jóvenes de *Rhizophora mangle* al tratarse de manglar rojo el desarrollo de sus raíces aéreas exigen un mayor espacio físico por individuo, lo que se ve traducido en una menor densidad arbórea y un rendimiento volumétrico inferior, en comparación con el bosque de manglar negro de la Zona 1, sin embargo en carbono almacenado vemos un almacenamiento equiparable a la zona 1, constando con 8,94 t C/ha

8.2 Fase estadística



Gráfica 6 Gráfico de Box plot de comparación entre zonas de estudio

Una vez verificado el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se comparó el carbono total almacenado entre las dos zonas mediante una prueba t de Student para muestras independientes. Los hallazgos del test de Shapiro- Wilk no indicaron diferencias notables en relación a la normalidad para la Zona 1 ($W=0.8833$; $p=0.3343$) ni para la Zona 2 ($W=0.8882$; $p=0.3488$).

El promedio de almacenamiento de carbono total en la Zona 1 fue de $34,94 \pm 4,19$ toneladas de carbono por hectárea, en comparación con $13,56 \pm 2.04$ toneladas de carbono por hectárea en la Zona 2. La discrepancia entre ambas zonas fue de alrededor de $10,84 \text{ t C/ha}$, resultando el valor medio de la zona 1 cerca de 2,3 veces superior al de la Zona 2. La prueba t evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las zonas evaluadas ($t=7,37$; $p=0,0018$; $\alpha=0,05$).

En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula, indicando que el carbono total almacenado difirió significativamente entre las posiciones geomorfológicas estudiadas.

La Figura 5 muestra la distribución del carbono total registrado en los tres transectos de cada zona. Los valores de la Zona 1 se ubicaron entre 30,17 y 38,05 t C/ha, mientras que en la Zona 2 oscilaron entre 12,79 y 16,63 t C/ha. El gráfico evidencia una separación clara entre ambas zonas, sin superposición de los valores observados. La dispersión fue relativamente baja en los dos grupos, aunque ligeramente mayor en la Zona 1, que presentó una desviación estándar de 4,19 t C/ha, frente a 2,04 t C/ha en la Zona 2.

La mayor cantidad de carbono total registrada en la Zona 1 estuvo asociada principalmente con el aporte del carbono almacenado en la biomasa arbórea, debido a la mayor densidad de individuos y al predominio de árboles de *Avicennia germinans* con mayor desarrollo estructural. En la Zona 2, aunque el componente de sedimentos representó una fracción importante del carbono almacenado, su contribución no compensó el menor almacenamiento registrado en la biomasa. Estos resultados muestran que la posición geomorfológica estuvo asociada con diferencias tanto en la cantidad total de carbono como en la participación de los distintos reservorios evaluados.

9 DISCUSIÓN

La caracterización dasométrica evidenció diferencias estructurales entre las dos zonas evaluadas de la Reserva Marina El Pelado. La zona 1 presentó una mayor densidad arbórea predominando *Avicennia germinans*, cuyos individuos alcanzaron mayores valores de DAP, altura total y biomasa. En contraste, la zona 2 registró únicamente 44 individuos, con predominio de *Rhizophora mangle*, caracterizada por árboles de menor diámetro y altura. Mediante lo anteriormente expuesto se logró determinar el secuestro de carbono en REMAPE, evidenciando diferencias en la contribución de los distintos reservorios. En la Zona 1, la biomasa aérea y radical constituyó el principal depósito de carbono, alcanzando 21,58 t C/ha, mientras que en la Zona 2 este reservorio fue considerablemente menor 3,60 t C/ha. Con respecto al carbono almacenado en sedimentos la Zona 1 presentó (11,38C/ha) y la Zona 2 (8,94 t C/ha), acumulando así un suministro de carbono de 48,5 t C/ha, almacenando 1081.55 toneladas en 22,3 ha.

Estas diferencias pueden atribuirse principalmente a la posición geomorfológica y al régimen hidrológico de cada zona. La zona 1 se encuentra en un sector con menor frecuencia de inundación lo que favorece la estabilidad del sustrato y crecimiento de individuos adultos de *A. germinans*. Por el contrario, la Zona 2 permanece bajo una influencia mareal constante, condición que genera suelos saturados, menor disponibilidad de oxígeno y un ambiente dinámico que limita el crecimiento diamétrico de los árboles.

En relación a lo anteriormente expuesto, es importante mencionar el estudio de estimación de la captura de carbono (Jiménez Castro & Villavicencio Villamar, 2023) quienes registraron datos de 355,80; 160,90 y 78,18 t C/ha, siendo datos cercanos a los detallados en el presente estudio, también es importante mencionar el trabajo presentado por (Mirando Muñoz, 2022) quien estimó datos de 30,01 a 21,50 t C/ha en sedimentos, resultados similares a este estudio con 11,38 a 8,94 t C/ha, resultados que concuerdan con lo reportado por (Alongi, 2014), quien señala que los sedimentos representan el principal reservorio de carbono en los manglares.

Al integrar los tres reservorios evaluados, la Zona 1 mostró una mayor capacidad de almacenamiento total, el análisis estadístico mediante La prueba t de Student para muestras independientes confirmó que esta diferencia fue estadísticamente significativa ($t = 7,37$; $p = 0,0018$). Por tanto, se rechazó la hipótesis nula y se determinó que el carbono total almacenado varió entre las posiciones geomorfológicas evaluadas.

Estos resultados sugieren que la posición geomorfológica influye principalmente en la distribución del carbono entre los diferentes reservorios del ecosistema, más que en el carbono total almacenado.

Los resultados mostrados indican, que las dos áreas desempeñan roles complementarios en el ecosistema de los manglares, por su parte la Zona 1 actúa

como un importante sumidero de carbono por su biomasa gracias a la presencia de árboles maduros, mientras que a su vez la Zona 2 sirve como un valioso depósito de carbono orgánico en sus sedimentos, beneficiándose de su constante inundación.

En conjunto los resultados muestran que las dos zonas participan de manera distinta en el almacenamiento de carbono. La Zona 1 destaca por el aporte de la biomasa de árboles con mayor desarrollo, mientras que en la Zona 2 el sedimento constituye el reservorio dominante. Estas diferencias refuerzan la necesidad de conservar ambas unidades geomorfológicas, ya que cada una contribuye mediante componentes distintos al mantenimiento del carbono azul en la Reserva Marina El Pelado.

10 CONCLUSIONES

La composición forestal y las características dasométricas del estuario “El Azufre” mostraron diferencias entre las dos zonas evaluadas, asociadas a sus condiciones geomorfológicas. La Zona 1 presentó una estructura dominada por individuos de *Avicennia germinans*, con un área basal promedio de 0.009002 m² y un volumen individual de 0.01977 m³, valores superiores a los registrados en la Zona 2. En esta última predominó *Rhizophora mangle* cuyos árboles presentaron un área basal media de 0.003516 m² y un volumen de 0.00581 m³ por individuo. De manera conjunta estos resultados indican que la mayor estabilidad geomorfológica de la zona 1 favoreció el desarrollo de árboles con mayores dimensiones, reflejándose en un área basal superior y un volumen aproximadamente cuatro veces mayor que el observado en la Zona 2.

El total de carbono almacenado mostró variaciones en las distintas posiciones geomorfológicas analizadas. La zona 1 mostró un promedio de $34,94 \pm 4,19$ t C/ha, mientras que la zona 2 llegó a $13,56 \pm 2,04$ t C/ha. La prueba t de Student para muestras independientes reveló diferencias que son estadísticamente significativas entre las dos zonas ($t = 7,37$; $p = 0,0018$), lo que llevó a descartar la hipótesis nula y a reconocer que la posición geomorfológica tuvo un impacto en la cantidad total de carbono almacenado en el estuario El Azufre

A través de la integración de los datos dasométricos y la extrapolación espacial basada en la cobertura forestal real del estuario "El Azufre", se estimó que el carbono total almacenado en las 22.3 hectáreas de extensión asciende a 1081,55 toneladas de carbono. Este valor representa la línea base cuantitativa del stock de carbono en biomasa, mantillo y sedimentos para este parche estuarino dentro de la Reserva Marina El Pelado (REMAPE), consolidando de forma inequívoca el valor estratégico de este ecosistema como sumidero natural local y proporcionando una herramienta técnica esencial para la gestión, conservación y mitigación del cambio climático en la provincia de Santa Elena.

11 RECOMENDACIONES

- Aumentar el muestro al incluir más transectos y parcelas con el fin de mejorar la representación espacial y potenciar la validez estadística en estudios futuros
- Analizar el carbono orgánico presente en el suelo a distintas profundidades, teniendo en cuenta que la principal parte del carbono azul en manglares generalmente se encuentra acumulada en sedimentos.
- Llevar a cabo revisiones regulares de las reservas de carbono para analizar cómo cambian con el tiempo y cómo reaccionan a variaciones en el entorno o por actividades antrópicas.
- Incorporar variables fisicoquímicas del suelo, como salinidad, potencial redox, humedad y granulometría, para comprender con mayor detalle los factores que controlan el almacenamiento de carbono.
- Promover estrategias de conservación y restauración de las distintas unidades geomorfológicas del manglar, considerando que cada una contribuye de manera diferente al almacenamiento de carbono y al mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

12 BIBLIOGRAFÍA

Alongi, D. (2014). *Carbon sequestration in mangrove forest*. Carbon Management.

3. 313-322. 10.4155/cmt 12.20.

ALVARADO, J. G. (2023). *ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO POR LA ESPECIE (Rhizophora mangle) EN EL ECUADOR*.

Bernal, J., Alfonso, L., Burbano, V., Vargas, S., González, M., Agudelo, J., & Campos, J. (2024). Cuantificación de sumideros de carbono azul en Colombia a partir de manglares costeros. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. doi:10.18257/raccefyn.2585

Bobadilla, D. (2024). *Estimación de las reservas de carbono en el suelo en zonas de manglar dentro del Refugio de Vida Silvestre Manglares el Morro*. Guayaquil.

Calderón, C., Aburto, E., & Ezcurra. (Enero - Febrero de 2009). El valor de los manglares. 82, págs. 1-6. doi:ISSN: 1870-1760

CENAIM. (2015). *Entorno biogeográfico, Reserva Marina "El Pelado" LA REMAPE*. Recuperado el mayo de 2026, de CENAIM (Centro de

investigación de acuicultura e investigaciones Marinas):

https://www.cenaim.espol.edu.ec/biodiversidad_REMAPE_amb

Chen, D. (2022). Importance of Estuaries: Environmental Facts and its Benefits.

Journal of Coastal Zone Management, 25. doi:10.35248/2473-3350.22.25.522

Cisneros De la Cruz, D., Herrera-Silveira, C., Teutli-Hernández, S., Ramírez-

García, A., Moreno-Martínez, Pérez-Martínez, A., . . . RomanCuesta.

(2021). *Manual para la medición, Monitoreo y Reporte del Carbono y Gases de Efecto Invernadero en Manglares en Restauración*. doi:ISB: 000-000000-0-0

CONAM. (2025). *Los Estuarios*.

Day, J., Crump, B., Kemp, M., & Yañez, A. (2012). *Estuarine Ecology*. WILEY-

BLACKWELL.

De la Peña, A., Rojas, C., & De La Peña, M. (2010). *Valoración Económica del*

Manglar por el Almacenamiento de carbono. Ciénaga Grande de Santa Marta .

Duarte, C. &, & Jack & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2. doi:10.5194/bg-2-1-2005

Erika, R., Cohen, M., Liu, K.-b., Pessenda, L., Yao, Q., Ryu, J., . . . Dietz, M. (2021). The effect of global warming on the establishment of mangroves in coastal Louisiana during the Holocene.

ERNESTO, B. W. (2019). *EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO POR LA ESPECIE (Rizhophra mangle) MEDIANTE ECUACIONES ALOMÉTRICAS EN EL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE MANGLARES DEL ESTUARIO RÍO ESMERALDAS*. (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR.

Gayoso, J., Schlegel, B., & Guerra, J. (2000). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS MUESTREOS DE BIOMASA FORESTAL*. Universidad Austral De Chile. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/288f5c4b-1223-4cd5-84f1-4a1e0f894a5b/content>

Hernández, J., Zambrano, L., Gambos, Enrique, Sanchez, A. &., & Lisstte, F. &. (2024). *Captura de carbono por especies de plantas en la región costa del Ecuador*.

Hernández-Nava, J., Pascual-Barrera, A., Zaldívar-Jiménez, A., & Pérez-Ceballos, R. (2022). Estructura y secuestro de carbono en manglares urbanos, fundamentos para su conservación en la isla del Carmen, Campeche, México. *Botanical Sciences*, 100(4) 899-911.

IPPC. (2023). *CAMBIO CLIMÁTICO informe de síntesis*.

Jiménez Castro, M., & Villavicencio Villamar, D. (2023). *Estimación de la captura de carbono en el ecosistema manglar del cantón Guayaquil*.

Kathiresan, K., Narendran, R., Balasubramaniyan, B., Ramanathan, T., & Narayanasamy, R. (2021). Carbon sequestration and storage in planted mangrove stands of *Avicennia marina*. *Regional Studies in Marine Science*, 43.

Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. CIFOR.

MAATE (Ministerio del Ambiente, A. y. (2022). *Informe Nacional sobre el estado de los ecosistemas costeros del Ecuador*.

McLeod, E. &., Bouillon, G. &., Salm, S. &., Rodney & Bjork, M. &., Schlesinger, C. &., Silliman, W. &., & Brian. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9. doi:10.1890/110004

Méndez-Vallejo, C., Simpson, N. P., Johnson, F., & Birt, A. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report (Full Volume) Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Ministerio del Ambiente. (2014). *Plan de Manejo de la Reserva Marina El Pelado*. Quito.

Mirando Muñoz, R. A. (2022). *ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DEL CARBONO EN SUELO DE MANGLAR EN ECUADOR CONTINENTAL*.

Molina-Moreira, N., Rodríguez, M. G., & Macías Tulcan, M. (2024). *GUIA DE MANGLARES DEL ECUADOR "un estudio entre la academia y el saber de las comunidades"* (Primera ed.). Universidad Espiritu Santo- Ecuador. Obtenido de <https://uees.edu.ec/descargas/libros/2024/guia-de-manglares-del-ecuador.pdf>

Monroy Torres, M., Flores Verdugo, F., & Flores de Santiago, F. (2014).

Crecimiento de tres especies de mangle subtropical en respuesta a la variabilidad en el hidropериодо en un tanque experimental. *Ciencias marinas*, 40(4), 263-275. doi:<https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2455>

Nellmann, C. (2009). *Blue carbon A UNEP rapid response assessment*.

Núñez Ravelo, F., Ugas Pérez, M., Calderón Castellanos, R., & F, R. (2021).

Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por *Avicennia germinans* (L.) y *Conocarpus erectus* (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*, (66), 340-366.

Pita Villamar, R. F. (2020). *CAPTURA DE CARBONO DEL MANGLE ROJO (Rhizophora mangle) EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY*.

Rodrigues, E., C.L. Cohen, M., Kam-biu, L., Pessenda, L. C., Yao, Q., Ryu, J., . . .

Dietz, M. (2021). The effect of global warming on the establishment of mangroves in. *Geomorphology*, 381. doi:10.1016

Russo, R. (2009). *GUÍA PRÁCTICA PARA LA MEDICIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LA BIOMASA FORESTAL.*

Silveira, J., & Hernández, C. (2017). *Carbono azul, manglares y políticas públicas. Elementos para Pol. Public.*

Tricone, F., & Anderson, T. (2018). *Guía para la instalación de parcelas de monitoreo de vegetación. .*

Urrutia Dublé, L. (2017). *Calentamiento Global.* UNIVERSIDAD DE MAGALLANES GAI ANTÁRTICA Diplomado en Asuntos Antárticos.

Valdés Velarde, E., Valdez Hernández, J., Ordaz Chaparro, V., Gallardo Lancho, J., Pérez Nieto, J., & Ayala Sánchez, C. (2011). *Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit.* Revista Mexicana de Ciencias Forestales.

Yánez Arancibia, A., & Lara Domínguez, A. (1999). *Los manglares de América Latina en la encrucijada.* Ecosistemas de Manglar en América Latina, 9, 16.

13 ANEXOS

Anexo 1 Selección de cinta para etiquetado



Anexo 2 Etiquetado con cinta flaming para registro Dasométrico



Anexo 3 Muestra de suelo para análisis en laboratorio (DA, Fh)



Anexo 4 Muestra de suelo a 10cm de profundidad



Anexo 5 Acompañamiento de voluntarios en REMAPE



Anexo 6 Registro de Laguncularia racemosa (Mangle blanco)



Anexo 8 Instalaciones para ensayos para (DA, Fh)



Anexo 7 Registro de datos en muestras de suelo



Anexo 9 Pesaje de submuestras de suelo



Anexo 10 Secado de muestras de hojarasca a 65°C



**AUTORIZACIÓN DE RECOLECCIÓN DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD
BIOLÓGICA No. 498**

ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES)

**1.- AUTORIZACIÓN DE RECOLECCIÓN DE ESPECÍMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD
BIOLÓGICA**

2.- CÓDIGO

MAE-ARSFC-2026-0498

3.- DURACIÓN DEL PROYECTO

FECHA INICIO	FECHA FIN
2026-07-19	2027-07-19

4.- COMPONENTE A RECOLECTAR

Plantae

El Ministerio de Ambiente y Energía, en uso de las atribuciones que le confiere la Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre autoriza a:

**5.- INVESTIGADORES /TÉCNICOS QUE INTERVENDRÁN EN LAS ACTIVIDADES DE
RECOLECCIÓN**

Nº de C.I./Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Nº REGISTRO SENESCYT	EXPERIENCIA	GRUPO BIOLÓGICO
0913042008	RODRIGUEZ MOREIRA DADSANIA SORAYA	Ecuatoriana	1017-12-86028142	2 años	Magnoliopsida
2450139130	TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO	Ecuatoriana	ME-REF-05956336	6 meses	Magnoliopsida

**6.- PARA QUE LLEVEN A CABO LA RECOLECCIÓN DE ESPECIMENES DE ESPECIES LA
DIVERSIDAD BIOLÓGICA:**

Nombre del Proyecto: Captura de carbono en el Estuario El Azufre de la Reserva Marina El Pelado - Santa Elena

7.- SE AUTORIZA LA RECOLECCION CON EL PROPOSITO DE:

Cuantificar el carbono almacenado en el ecosistema de manglar de la reserva Marina El Pelado, mediante parcelas y ecuaciones alométricas, evidenciando su función como sumidero natural de carbono
• Comparar el almacenamiento de carbono orgánico total entre zonas diferenciadas por su posición geomorfológica, evaluando la influencia de estas variables ambientales sobre los depósitos evaluados
Estimar la cantidad de carbono almacenado en biomasa aérea y en sedimentos mediante ecuaciones alométricas y análisis de laboratorio
Caracterizar la composición forestal del manglar por medio de claves dicotómicas y Dasometría

8.- ÁREA GEOGRÁFICA QUE CUBRE LA RECOLECCIÓN DE LAS ESPECIES O ESPECÍMENES:

PROVINCIAS	SNAP	BOSQUE PROTECTOR
SANTA ELENA	RESERVA MARINA EL PELADO	NA

9.- INFORMACIÓN DE LAS ESPECIES A RECOLECTAR

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	TIPO MUESTRA	Nº MUESTRA	Nº LOTE
Magnoliopsida	Malpighiales	Rhizophoraceae	Rhizophora	Rhizophora mangle	Organismo completo/Observación directa	1	
Magnoliopsida	Lamiales	Acanthaceae	Avicennia	Avicennia germinans	Organismo completo/Observación directa	1	
Magnoliopsida	Brassicales	Bataceae	Batis	Batis maritima	Organismo completo/Observación directa	1	
Magnoliopsida	Boraginales	Boraginaceae	Cordia	Cordia lutea	Organismo completo/Observación directa	1	
Magnoliopsida	Caryophyllales	Aizoaceae	Sesuvium	Sesuvium portulacastrum	Organismo completo/Observación directa	1	

10.- METODOLOGÍA APLICADA EN CAMPO

FASE DE RECOLECCIÓN:	Estimación de biomasa En cada parcela se identificarán y contabilizarán los individuos de manglar mayores a 60 cm de altura. Para cada árbol se registrarán variables morfológicas como altura total, diámetro a la altura del pecho (DAP) y ancho de copa mediante observación directa y equipos de medición especializados (clinómetro digital, distanciómetro láser y cinta diamétrica). Los datos obtenidos serán utilizados posteriormente para estimar la biomasa mediante ecuaciones alométricas específicas para cada especie Mantillo Se establecerán tres
-----------------------------	---

	cuadrantes de 20 × 20 cm por parcela, dentro de los cuales se recolectará manualmente todo el mantillo presente para determinar su biomasa. Sedimentos Se obtendrán seis muestras de sedimento, una por cada parcela de estudio, mediante núcleos de suelo extraídos a una profundidad comprendida entre 5 y 15 cm. Las muestras serán destinadas al análisis de carbono orgánico en laboratorio
FASE DE PRESERVACIÓN:	Las muestras de mantillo y sedimentos serán colocadas inmediatamente en bolsas herméticas debidamente etiquetadas con información de la parcela, fecha y tipo de muestra. Posteriormente, serán transportadas en condiciones de refrigeración para evitar alteraciones físicas o biológicas y conservadas temporalmente en bolsas herméticas hasta su procesamiento y análisis en laboratorio.

11. METODOLOGIA APLICADA EN LABORATORIO

MÉTODOS EMPLEADOS EN EL LABORATORIO:	as muestras de sedimento recolectadas en campo serán etiquetadas y registradas según su parcela de origen, profundidad de muestreo y fecha de recolección. Secado de muestras Las muestras serán secadas en estufa a 40 °C hasta alcanzar peso constante, con el fin de eliminar la humedad y obtener el peso seco de referencia. Preparación de muestras Una vez secas, las muestras serán homogeneizadas y tamizadas. En las muestras de suelo se retirará manualmente la biomasa radicular y cualquier material orgánico grueso que pueda interferir con el análisis. Molienda y pulverización Las muestras limpias serán molidas y maceradas hasta obtener un polvo fino homogéneo apto para análisis químicos. Eliminación de carbono inorgánico Se realizará el tratamiento correspondiente para eliminar posibles carbonatos o fuentes de carbono inorgánico presentes en las muestras, siguiendo los procedimientos descritos por Komada et al. (2008). Determinación de densidad aparente Se calculará la densidad aparente (DA) de los sedimentos para estimar las reservas de carbono por unidad de superficie. Determinación de carbono orgánico total De las muestras pulverizadas se determinará el porcentaje de carbono orgánico total (%Corg) mediante análisis elemental.
---	--

12.- SE AUTORIZA LA UTILIZACIÓN DE LOS SIGUIENTES MATERIALES Y/O EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA RECOLECCION.

Grupo Biológico a Recolectar	Descripción	Tipo de Equipamiento
Magnoliopsida	CEBOS (AVENA, ATÚN, ESENCIA VAINILLA), CINTA FLAGGING, PILAS AA/AAA, BOLSAS DE TELA	Material en Campo
Magnoliopsida	MICROSCOPIO-ESTEROMICROSCOPIO,	Equipo en Laboratorio
Magnoliopsida	BARRENO, GPS	Equipo en Campo
Magnoliopsida	CLINOMETRO CINTA DIAMETRICA GS CINTA METRICA	Equipo en Campo
Magnoliopsida	FUNDAS ZIPLOC, LIBRETA DE CAMPO	Material en Campo

13.- COLECCIONES NACIONALES DEPOSITARIAS DEL MATERIAL BIOLÓGICO

Magnoliopsida	Herbario Universidad de Guayaquil
---------------	-----------------------------------

14.- RESULTADOS ESPERADOS

Resultados esperados del objetivo 1 Se espera elaborar un catálogo de las especies de manglar presentes en el estuario "El Azufre", registrando parámetros dasométricos como altura total, diámetro a la altura del pecho (DAP) y diámetro de copa para especies como *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y otras asociadas. Resultados esperados del objetivo 2 Se espera cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea y en los sedimentos del manglar, estimando la densidad de carbono total ($t\ C\ ha^{-1}$) y las variaciones del carbono orgánico (%Corg) entre zonas de estudio. Los resultados permitirán establecer una línea base sobre el potencial de almacenamiento de carbono azul del ecosistema. Resultados esperados del objetivo 3 Se espera identificar diferencias en el almacenamiento de carbono entre las zonas evaluadas, relacionando variables estructurales como DAP y altura de los árboles con las reservas de carbono. Además, se prevé evidenciar que los sectores con menor intervención antrópica presentan una mayor capacidad de secuestro de carbono.

15.- CONTRIBUCIÓN DEL ESTUDIO PARA LA TOMA DE DECISIONES A LA ESTRATEGIA NACIONAL DE BIODIVERSIDAD 2011-2020.

METAS	DESCRIPCIÓN
Meta02.07.04A1 2017 se cuenta con una línea base espacialmente explícita sobre el estado de degradación de ecosistemas a nivel nacional.	El estudio aportará información técnica sobre las reservas de carbono almacenadas en la biomasa y sedimentos del manglar del estuario "El Azufre", contribuyendo a la valoración de los servicios ecosistémicos de este ecosistema estratégico. Los resultados servirán como línea base para futuras acciones de monitoreo, restauración y conservación de manglares, fortaleciendo la gestión sostenible de la biodiversidad costera y la mitigación del cambio climático en Ecuador.

DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES ESPECIFICACIONES

1. Solicitud de: **TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO**
2. Institución Nacional Científica : **UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA**
3. Fecha de entrega del informe final o preliminar: **2027/07/04**
4. Valoración técnica del proyecto: **GUARDERAS CHICAIZA DANNY VLADIMIR**
5. Esta Autorización **NO HABILITA LA MOVILIZACIÓN DE FLORA, FAUNA, MICROORGANISMOS Y HONGOS.**
6. Esta Autorización **NO HABILITA EXPORTACIÓN DE FLORA, FAUNA, MICROORGANISMOS Y HONGOS**, sin la correspondiente autorización del Ministerio de Ambiente y Energía.
7. Los especímenes o muestras recolectadas no podrán ser utilizadas en actividades de **BIOPROSPECCIÓN, NI ACCESO AL RECURSO GENÉTICO.**

8. Los resultados que se desprendan de la investigación, no podrán ser utilizados para estudios posteriores de Acceso a Recurso Genéticos sin la previa autorización del Ministerio de Ambiente y Energía.

OBLIGACIONES DEL/ LOS INVESTIGADOR/ES.

9. Ingresar al sistema electrónico de recolecta de especímenes de especies la diversidad biológica del Ministerio de Ambiente y Energía, el o los informes parciales o finales en formato PDF, en el formato establecido.

Con los siguientes anexos:

- Escaneado de el o los certificados originales del depósito o recibo de las muestras, emitidas por las Colecciones Científicas Ecuatorianas como Internacionales depositarias de material biológico.
- Escaneado de las publicaciones realizadas o elaboradas en base al material biológico recolectado.
- Escaneado de material fotográfico que considere el investigador pueda ser utilizados para difusión. (se mantendrá los derechos de autor).

10. Citar en las publicaciones científicas, Tesis o informes técnicos el número de Autorización de Recolección otorgada por el Ministerio de Ambiente y Energía, con el que se recolecto el material biológico.

11. Depositar los holotipos en una institución científica depositaria de material biológico.

12. Los holotipos solo podrán salir del país en calidad de préstamo por un periodo no más de un año.

13. Las muestras biológicas a ser depositadas deberán ingresar a las colecciones respectivas siguiendo los protocolos emitidos por el Curador/a custodio de los especímenes.

14. Las muestras deberán ser preservadas, curadas y depositadas de lo contrario, se deberán sufragar los gastos que demanden la preparación del material para su ingreso a la colección correspondiente.

Del incumplimiento de las obligaciones dispuestas en los numerales, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se responsabiliza a **TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO**.

DIRECTOR DE BIODIVERSIDAD
BAQUERO GONZALEZ JUDITH DENNIS



Ministerio de
Ambiente y Energía

2026-06-04



Av. República de El Salvador N36-64 y Suecia
Código postal: 170135 / Quito - Ecuador
Teléfono: +593-2 3976000

EL NUEVO ECUADOR DEFIENDE
IMPULSA CONSTRUYE

6 / 6

Anexo 17 Resultados de laboratorio INIAP

	ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.oetp@iniap.gob.ec
---	--

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				PARA USO DEL LABORATORIO							
Nombre : TIGRERO DE LA A CARLOS OSWALDO	Nombre : REMAPE	Cultivo Actual : Bosque	Cultivo Actual : Bosque	Dirección : SANTA ELENA / LA LIBERTAD	Provincia : Santa Elena	N° de Reporte : 14524	N° de Reporte : 14524	Ciudad : LA LIBERTAD	Cantón : Santa Elena	Fecha de Muestreo : 18/6/2026	Fecha de Muestreo : 18/6/2026	Fecha de Ingreso : 30/6/2026	Fecha de Ingreso : 30/6/2026	Fecha de Salida : 8/7/2026	Fecha de Salida : 8/7/2026
Teléfono : 0967512103				Parroquia : Manglaralto				Fecha de Salida : 8/7/2026				Fecha de Salida : 8/7/2026			
Correo-e : carlosdelan1@gmail.com				Ubicación : Reserva Marina											

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS.m	C.E.		Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na		C.E.	M.O.							Arena	Limo	Arcilla	
119402											1,20					
119403											0,60					
119404											2,70					
119405											0,50					
119406											0,40					
119407											0,30					

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O. y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	SMS = Muy Salino	M = Medio
T = Toxicos			A = Alto

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
BAR = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Conductímetro
M.O. = Titración de Walkley Black
Al+H = Titración con NaOH


 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS


 RESPONSABLE LABORATORIO



Anexo 18 Tabla de registro Dasométrico transecto 1 Zona 1

TRANSECTO 1				
PARCEL A	ESPECIE	CN	DAP	AT
1	<i>Avicennia germinans</i>	31	9,867606472	3,84
1	<i>Avicennia germinans</i>	41,5	13,20986028	4,2
1	<i>Avicennia germinans</i>	35	11,14084602	4,06
1	<i>Avicennia germinans</i>	34,8	11,07718404	4,8
1	<i>Avicennia germinans</i>	33	10,50422624	5
1	<i>Avicennia germinans</i>	34,5	10,98169107	3
1	<i>Avicennia germinans</i>	47,5	15,11971959	4,3
1	<i>Avicennia germinans</i>	33,5	10,66338119	4,44
1	<i>Avicennia germinans</i>	31,7	10,09042339	4
1	<i>Avicennia germinans</i>	38,3	12,19126864	4,1
1	<i>Avicennia germinans</i>	54,6	17,37971979	3
1	<i>Avicennia germinans</i>	14,9	4,742817304	2,97
2	<i>Avicennia germinans</i>	31,4	9,994930426	3,8
2	<i>Avicennia germinans</i>	32,2	10,24957834	3,8
2	<i>Rhizophora mangle</i>	16,4	5,220282133	5
2	<i>Avicennia germinans</i>	22,2	7,066479473	4,02
2	<i>Avicennia germinans</i>	44,3	14,10112796	4
2	<i>Avicennia germinans</i>	50,6	16,10648024	4,33
2	<i>Avicennia germinans</i>	22,8	7,257465405	4,04
2	<i>Avicennia germinans</i>	36,3	11,55464887	4,75
2	<i>Avicennia germinans</i>	29,2	9,294648677	4,7
3	<i>Avicennia germinans</i>	26,4	8,403380995	2,61
3	<i>Avicennia germinans</i>	21,2	6,748169587	2,35
3	<i>Avicennia germinans</i>	31,7	10,09042339	4,08
3	<i>Avicennia germinans</i>	31,8	10,12225438	4,71
3	<i>Avicennia germinans</i>	34,8	11,07718404	4,39
4	<i>Avicennia germinans</i>	33	10,50422624	5,48
4	<i>Avicennia germinans</i>	17,7	5,634084985	4,88
4	<i>Avicennia germinans</i>	39,2	12,47774754	5,8
4	<i>Avicennia germinans</i>	29,3	9,326479665	3,45
5	<i>Avicennia germinans</i>	29,3	9,326479665	3,78
5	<i>Avicennia germinans</i>	58,8	18,71662131	7,97
5	<i>Avicennia germinans</i>	21	6,68450761	3,95
5	<i>Avicennia germinans</i>	17,3	5,506761031	2,8
5	<i>Avicennia germinans</i>	22,5	7,161972439	3,8
5	<i>Avicennia germinans</i>	42,8	13,62366313	3,7
5	<i>Avicennia germinans</i>	36,5	11,61831085	3,08
5	<i>Avicennia germinans</i>	29	9,230986699	2,7

5	<i>Avicennia germinans</i>	17,8	5,665915974	2,75
5	<i>Avicennia germinans</i>	22,5	7,161972439	4,54
5	<i>Avicennia germinans</i>	27,8	8,849014836	4,8

Anexo 19 Tabla de registro Dasométrico transecto 2 Zona 1

TRANSECTO 2				
PARCELA	ESPECIE	CN	DAP	AT
1	<i>Avicennia germinans</i>	37,9	12,06394469	4,5
1	<i>Avicennia germinans</i>	42,5	13,52817016	1,63
1	<i>Avicennia germinans</i>	37,4	11,90478974	5,08
1	<i>Avicennia germinans</i>	38,9	12,38225457	3,07
2	<i>Avicennia germinans</i>	36,7	11,68197282	4,4
2	<i>Avicennia germinans</i>	13,5	4,297183463	3,3
2	<i>Avicennia germinans</i>	28,7	9,135493733	3,8
2	<i>Avicennia germinans</i>	32,4	10,31324031	3,8
2	<i>Avicennia germinans</i>	61	19,41690306	4,7
2	<i>Avicennia germinans</i>	33,4	10,6315502	3,2
2	<i>Avicennia germinans</i>	25,8	8,212395064	3
2	<i>Avicennia germinans</i>	30,3	9,644789551	4
2	<i>Avicennia germinans</i>	37,4	11,90478974	4,3
3	<i>Avicennia germinans</i>	30,9	9,835775483	3,1
3	<i>Avicennia germinans</i>	64,8	20,62648062	5,4
3	<i>Avicennia germinans</i>	19,4	6,175211792	3,9
3	<i>Avicennia germinans</i>	49,9	15,88366332	5,3
3	<i>Avicennia germinans</i>	35,2	11,20450799	4,9
3	<i>Avicennia germinans</i>	18,2	5,793239929	4,3
3	<i>Avicennia germinans</i>	41,2	13,11436731	3,9
4	<i>Avicennia germinans</i>	45,2	14,38760686	3,9
4	<i>Avicennia germinans</i>	31,7	10,09042339	4,2
4	<i>Avicennia germinans</i>	41,3	13,1461983	3,7
4	<i>Avicennia germinans</i>	37,1	11,80929678	3,6
4	<i>Avicennia germinans</i>	45,9	14,61042378	3,9
4	<i>Avicennia germinans</i>	35,6	11,33183195	4,89
5	<i>Avicennia germinans</i>	48	15,27887454	6,57
5	<i>Avicennia germinans</i>	39,6	12,60507149	4,9
5	<i>Avicennia germinans</i>	32	10,18591636	5,4
5	<i>Avicennia germinans</i>	45,9	14,61042378	5,01
5	<i>Rhizophora mangle</i>	21,9	6,970986507	5,1

Anexo 20 Tabla de registro Dasométrico transecto 3 Zona 1

TRANSECTO 3				
PARCELA	ESPECIE	CN	DAP	AT
1	<i>Rhizophora mangle</i>	25,4	8,085071109	3,84
1	<i>Avicennia germinans</i>	30,4	9,67662054	4,2
1	<i>Avicennia germinans</i>	35,5	11,30000096	4,06
1	<i>Avicennia germinans</i>	29,3	9,326479665	4,8
1	<i>Avicennia germinans</i>	18,9	6,016056849	5
1	<i>Avicennia germinans</i>	19,7	6,270704758	3
1	<i>Avicennia germinans</i>	23,6	7,512113314	4,3
1	<i>Avicennia germinans</i>	37,6	11,96845172	4,44
1	<i>Avicennia germinans</i>	21,1	6,716338598	4
2	<i>Avicennia germinans</i>	8,9	2,832957987	4,1
2	<i>Avicennia germinans</i>	22,6	7,193803428	3
2	<i>Rhizophora mangle</i>	6,3	2,005352283	2,97
2	<i>Avicennia germinans</i>	21,8	6,939155519	3,8
2	<i>Avicennia germinans</i>	8	2,546479089	3,8
3	<i>Avicennia germinans</i>	26,7	8,498873961	5
3	<i>Avicennia germinans</i>	29,6	9,421972631	4,02
3	<i>Avicennia germinans</i>	31,1	9,89943746	4
3	<i>Avicennia germinans</i>	38,4	12,22309963	4,33
3	<i>Avicennia germinans</i>	29,5	9,390141642	4,04
3	<i>Avicennia germinans</i>	21,6	6,875493542	4,75
4	<i>Avicennia germinans</i>	23,7	7,543944303	4,7
4	<i>Avicennia germinans</i>	18,7	5,952394872	2,61
4	<i>Avicennia germinans</i>	23,3	7,416620348	2,35
4	<i>Avicennia germinans</i>	20,4	6,493521678	4,08
4	<i>Avicennia germinans</i>	25	7,957747155	4,71
4	<i>Avicennia germinans</i>	27,3	8,689859893	4,39
4	<i>Avicennia germinans</i>	22,1	7,034648485	5,48
4	<i>Avicennia germinans</i>	33,1	10,53605723	4,88
4	<i>Avicennia germinans</i>	22,3	7,098310462	5,8
4	<i>Avicennia germinans</i>	20,1	6,398028712	3,45
5	<i>Rhizophora mangle</i>	14,4	4,583662361	3,78
5	<i>Rhizophora mangle</i>	19,6	6,238873769	7,97
5	<i>Rhizophora mangle</i>	13,5	4,297183463	3,95
5	<i>Rhizophora mangle</i>	16,6	5,283944111	2,8
5	<i>Rhizophora mangle</i>	21,1	6,716338598	3,8
5	<i>Rhizophora mangle</i>	26,6	8,467042972	3,7
5	<i>Rhizophora mangle</i>	9,6	3,055774907	3,08

Anexo 21 Tabla de registro Dasométrico transecto 1 Zona 2

TRANSECTO 1					
PARCELA	ESPECIE	CN	DAP	DAP(m)	AT
1	<i>Rhizophora mangle</i>	19	6,04788784	0,06047888	2,14
1	<i>Rhizophora mangle</i>	18	5,72957795	0,05729578	2,16
1	<i>Rhizophora mangle</i>	24	7,63943727	0,07639437	2,17
2	<i>Rhizophora mangle</i>	27	8,59436693	0,08594367	2,26
2	<i>Rhizophora mangle</i>	16	5,09295818	0,05092958	3,42
3	<i>Rhizophora mangle</i>	18	5,72957795	0,05729578	3,82
3	<i>Rhizophora mangle</i>	16	5,09295818	0,05092958	4,72
4	<i>Rhizophora mangle</i>	16,8	5,34760609	0,05347606	3,3
4	<i>Rhizophora mangle</i>	16,8	5,34760609	0,05347606	3,25
4	<i>Rhizophora mangle</i>	23	7,32112738	0,07321127	3,36
5	<i>Rhizophora mangle</i>	22	7,0028175	0,07002817	3,42

Anexo 22 Tabla de registro Dasométrico transecto 2 Zona 2

TRANSECTO 2					
PARCELA	ESPECIE	CN	DAP	DAP(m)	AT
1	<i>Rhizophora mangle</i>	25,45	8,1009866	0,08100987	3,9
1	<i>Rhizophora mangle</i>	19,79	6,29935265	0,06299353	3,1
1	<i>Rhizophora mangle</i>	16,34	5,20118354	0,05201184	2,15
2	<i>Rhizophora mangle</i>	28,59	9,10047965	0,0910048	4,65
2	<i>Rhizophora mangle</i>	22,62	7,20016963	0,0720017	3,8
3	<i>Rhizophora mangle</i>	18,22	5,79960613	0,05799606	2,9
3	<i>Rhizophora mangle</i>	16,96	5,39853567	0,05398536	2,4
4	<i>Rhizophora mangle</i>	26,7	8,49887396	0,08498874	4,3
4	<i>Rhizophora mangle</i>	20,42	6,49988788	0,06499888	3,25
4	<i>Rhizophora mangle</i>	17,28	5,50039483	0,05500395	2,6
5	<i>Rhizophora mangle</i>	16,02	5,09932438	0,05099324	2,1
5	<i>Rhizophora mangle</i>	29,85	9,5015501	0,0950155	4,8
5	<i>Rhizophora mangle</i>	23,88	7,60124008	0,0760124	3,95
5	<i>Rhizophora mangle</i>	19,16	6,09881742	0,06098817	3,15
5	<i>Rhizophora mangle</i>	16,65	5,2998596	0,0529986	2,35
5	<i>Rhizophora mangle</i>	24,5	7,79859221	0,07798592	4,1
5	<i>Rhizophora mangle</i>	21,36	6,79909917	0,06799099	3,5
5	<i>Rhizophora mangle</i>	17,91	5,70093006	0,0570093	2,85
5	<i>Rhizophora mangle</i>	15,87	5,05157789	0,05051578	2,05

Anexo 23 Tabla de registro Dasométrico transecto 3 Zona 2

TRANSECTO 3					
PARCELA	ESPECIE	CN	DAP	DAP(m)	AT
1	<i>Rhizophora mangle</i>	21,36	6,79909917	0,06799099	2,14
1	<i>Rhizophora mangle</i>	17,59	5,5990709	0,05599071	2,16
1	<i>Rhizophora mangle</i>	16,02	5,09932438	0,05099324	2,17
2	<i>Rhizophora mangle</i>	26,08	8,30152183	0,08301522	2,26
2	<i>Rhizophora mangle</i>	19,79	6,29935265	0,06299353	3,42
3	<i>Rhizophora mangle</i>	24,19	7,69991615	0,07699916	3,82
3	<i>Rhizophora mangle</i>	18,85	6,00014135	0,06000141	4,72
4	<i>Rhizophora mangle</i>	28,27	8,99862048	0,0899862	3,3
4	<i>Rhizophora mangle</i>	22,31	7,10149356	0,07101494	3,25
4	<i>Rhizophora mangle</i>	16,96	5,39853567	0,05398536	3,36
5	<i>Rhizophora mangle</i>	20,42	6,49988788	0,06499888	3,42
5	<i>Rhizophora mangle</i>	17,28	5,50039483	0,05500395	2,4
5	<i>Rhizophora mangle</i>	16,34	5,20118354	0,05201184	2,11
5	<i>Rhizophora mangle</i>	22,62	7,20016963	0,0720017	3,17