



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
"DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ"
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DE CARBONO CAPTADO POR EL MANGLE
BOTONCILLO (CONOCARPUS ERECTUS) Y MANGLE NEGRO
(AVICENNIA GERMINANS) EN EL ÁREA NACIONAL DE
RECREACIÓN ISLA SANTAY**

**AUTORA
SANDOVAL RONQUILLO THAILY DAYANA**

**TUTOR
BLGO. ARIZAGA GAMBOA RAÚL ENRIQUE, MSc.**

GUAYAQUIL, ECUADOR

2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ARIZAGA GAMBOA RAÚL ENRIQUE**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DE CARBONO CAPTADO POR EL MANGLE BOTONCILLO (*CONOCARPUS ERECTUS*) Y MANGLE NEGRO (*AVICENNIA GERMINANS*) EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY** realizado por la estudiante **SANDOVAL RONQUILLO THAILY DAYANA**; con cédula de identidad N° **0750566606** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, sede matriz “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”- **GUAYAQUIL**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Blgo. Raúl Enrique Arizaga Gamboa, MSc
Tutor del trabajo de titulación
Carrera Ingeniería Ambiental

Guayaquil, 08 de enero del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DE CARBONO CAPTADO POR EL MANGLE BOTONCILLO (*CONOCARPUS ERECTUS*) Y MANGLE NEGRO (*AVICENNIA GERMINANS*) EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY** realizado por la estudiante **SANDOVAL RONQUILLO THAILY DAYANA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. HERNANDEZ PAREDES TOMÁS EDINSON, MSc.
PRESIDENTE

Ing. GUEVARA VINZA JUAN CARLOS, MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

Econ. BELLO VELÉZ MELISSA ISABEL, MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 18 de diciembre del 2023

DEDICATORIA

A mis abuelos Flor y Augusto, por ser la raíz y fortaleza de nuestra familia, por enseñarme que el esfuerzo y la humildad son los pilares para alcanzar cualquier meta. A mis padres Mayra y Marco, por su amor incondicional, su apoyo en cada paso de mi vida y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Su ejemplo me inspira a dar siempre lo mejor de mí. A mi tío Johnnatan, por su sabiduría, consejos y constante motivación. Tu fe en mis capacidades ha sido un motor que me impulsa a crecer. A mi hermana Nohely, por ser mi compañera de vida, mi cómplice y mi refugio en los días grises. Gracias por tu cariño y por recordarme siempre que soy capaz de lograr lo que me proponga. Y a mi pareja Edinson, por caminar a mi lado, compartiendo sueños, retos y triunfos. Tu amor, paciencia y apoyo han sido un faro que ilumina mi camino en esta travesía. A todos ustedes, con gratitud y amor eterno, dedico este proyecto que es tanto mío como suyo.

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino, muchas personas han dejado una huella invaluable en mi vida y en este proyecto, y hoy quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos ellos. A mi familia, mi mayor fortaleza y fuente de amor incondicional. Su apoyo, comprensión y motivación constante me han permitido superar cada desafío y llegar hasta aquí. Este logro es también suyo, porque en cada paso siempre estuvieron conmigo. Al Biólogo Raúl Arizaga, mi tutor de tesis, quien con su paciencia, conocimiento y guía me brindó las herramientas necesarias para llevar este proyecto a buen puerto. Su confianza en mi trabajo y sus consejos han sido fundamentales en mi crecimiento académico y personal. A mis amigas Génesis y Krystel, por su amistad sincera y su apoyo constante. Gracias por las risas, el ánimo y la compañía en los momentos de presión y cansancio y a mi compañero Enrique, por su colaboración, disposición y compañerismo a lo largo de este proceso. Tu presencia hizo que este camino fuera más llevadero. A los docentes de mi carrera, quienes, con su dedicación, esfuerzo y pasión por la enseñanza, sembraron en mí las bases del conocimiento y las herramientas para ser una mejor profesional. A la institución que me acogió y me brindó los espacios y recursos necesarios para mi formación. Gracias por ser el hogar donde construí sueños y los transformé en realidad. A todos ustedes, mi gratitud eterna por haber sido parte de esta etapa tan importante de mi vida.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **SANDOVAL RONQUILLO THAILY DAYANA**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“ESTIMACIÓN DE CARBONO CAPTADO POR EL MANGLE BOTONCILLO (*CONOCARPUS ERECTUS*) Y MANGLE NEGRO (*AVICENNIA GERMINANS*) EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY”** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 08 de enero del 2025

SANDOVAL RONQUILLO THAILY DAYANA
C.I. 0750566606

RESUMEN

La investigación estimó la captura de carbono por el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay mediante ecuaciones alométricas. Para ello, se realizaron mediciones de altura total, diámetro a la altura del pecho y biomasa aérea, determinando las concentraciones de carbono capturado. El *Conocarpus erectus* registró una captura promedio de 365.76 kilogramos de carbono en media hectárea, mientras que *Avicennia germinans* alcanzó 12 909.6 kilogramos en la misma área. No obstante, ambos valores quedaron por debajo del promedio de captura de carbono de *Rhizophora mangle* en el área de estudio. Los resultados mostraron que *Avicennia germinans* tiene una capacidad de captura un 10% superior a la de *Conocarpus erectus*, pero significativamente inferior a la de *Rhizophora mangle*, lo que llevó al rechazo de la hipótesis inicial. Además, se corroboró que estas especies de manglar desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros de carbono a largo plazo, almacenando carbono tanto en su biomasa viva como en los sedimentos circundantes. La comparación con otras especies de manglar confirmó que tanto *Conocarpus erectus* como *Avicennia germinans* son eficaces en la captura de carbono dentro de su hábitat, aunque con menor eficiencia que *Rhizophora mangle*. Este estudio resalta la importancia de conservar estos ecosistemas frente a amenazas como la urbanización y la contaminación, proporcionando fundamentos científicos para su manejo sostenible y destacando su papel en estrategias de mitigación del cambio climático.

Palabras clave: *Avicennia germinans*, Biomasa, Carbono, *Conocarpus erectus*, captura de carbono, manglares.

ABSTRACT

The research estimated the carbon capture of buttonwood mangrove (*Conocarpus erectus*) and black mangrove (*Avicennia germinans*) in the Isla Santay National Recreation Area using allometric equations. Measurements of total height, diameter at breast height, and aerial biomass were conducted to determine the concentrations of captured carbon. *Conocarpus erectus* recorded an average capture of 365.76 kilograms of carbon in half a hectare, while *Avicennia germinans* captured 12,909.6 kilograms in the same area. However, both values fell below the average carbon capture of *Rhizophora mangle* in the study area. The results showed that *Avicennia germinans* has a carbon capture capacity 10% higher than that of *Conocarpus erectus* but significantly lower than that of *Rhizophora mangle*, leading to the rejection of the initial hypothesis. Additionally, it was confirmed that these mangrove species play a crucial role in mitigating climate change by acting as long-term carbon sinks, storing carbon both in their live biomass and surrounding sediments. The comparison with other mangrove species confirmed that *Conocarpus erectus* and *Avicennia germinans* are effective in carbon capture within their habitat, albeit less efficient than *Rhizophora mangle*. This study underscores the importance of conserving these ecosystems against threats such as urbanization and pollution, providing scientific foundations for their sustainable management and highlighting their role in climate change mitigation strategies.

Keywords: *Avicennia germinans*, biomass, carbon, *Conocarpus erectus*, carbon capture, mangroves.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes del problema	1
1.2	Planteamiento y formulación del problema	4
1.2.1	<i>Planteamiento del problema</i>	4
1.2.2	<i>Formulación del problema</i>	5
1.3	Justificación de la investigación	5
1.4	Delimitación de la investigación	6
1.5	Objetivo General	7
1.6	Objetivos específicos	7
1.7	Hipótesis	7
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Estado del arte	8
2.2	Bases teóricas	14
2.2.1	<i>Cambio climático</i>	14
	2.2.1.1. Calentamiento global.	14
	2.2.1.2. Gases de efecto invernadero.	15
2.2.2	<i>Ciclo del carbono</i>	15
2.2.3	<i>Carbono azul</i>	15
	2.2.3.1 Captura de Carbono en las plantas.....	15
	2.2.3.2 Biomasa forestal.	16
2.2.4	<i>Mangle</i>	16
	2.2.4.1 Mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>).....	16
	2.2.4.2 Mangle botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>).....	18
2.2.5	<i>Isla Santay</i>	18
2.3	Marco legal	19
2.3.1	<i>Ley de la Constitución de la República del Ecuador 2008</i>	19
2.3.2	<i>Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992)</i>	20
2.3.3	<i>Convenio de la Tierra de Río de Janeiro (1992)</i>	20
2.3.4	<i>Convención relativa a los Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, RAMSAR (1992)</i>	21
2.3.5	<i>Código Orgánico del Ambiente (2018)</i>	21
2.3.6	<i>Código Orgánico Integral Penal</i>	21

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1	Enfoque de la investigación	22
3.1.1	<i>Tipo de investigación</i>	22
3.1.2	<i>Diseño de investigación</i>	22
3.2	Metodología	22
3.2.1	<i>Variables</i>	22
	3.2.1.1. Variable independiente	22
	3.2.1.2. Variable dependiente.	22
3.2.2	<i>Matriz de operacionalización de variables</i>	22
3.2.3	<i>Tratamientos</i>	23
3.2.4	<i>Recolección de datos</i>	23
	3.2.3.1. Recursos.....	23
	3.2.3.2. Métodos y técnicas.	24
3.2.4.	<i>Análisis estadístico</i>	27
	3.2.4.1 Estadística Descriptiva.....	27
4.	RESULTADOS	29
4.1	Establecer mediante sistema de información geográfica las zonas con mayor presencia del mangle <i>Conocarpus erectus</i> y <i>Avicennia germinans</i> en la Isla Santay.....	29
3.3.	Determinar la concentración de carbono mediante ecuaciones alométricas del mangle Botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>) y mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay.....	30
4.2.1	<i>Resultados de las mediciones de campo</i>	30
	4.2.1.1 Diámetro de altura de pecho y altura del mangle botoncillo y mangle negro.....	31
	4.2.1.2 Biomasa total por componente (hojas, tronco, ramas).....	35
	4.2.1.3 Biomasa aérea total.	38
	4.2.1.4 Estimación de carbono capturado.....	42
	4.2.1.5 Estimación total de captura de carbono de las especies <i>Avicennia germinans</i> y <i>Conocarpus erectus</i>	46
3.4.	Comparar la capacidad de absorción de carbono captado por el <i>Conocarpus erectus</i> y <i>Avicennia germinans</i> con otras especies de mangle.	47
5.	DISCUSIÓN	50
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52

6.1	Conclusiones	52
6.2	Recomendaciones	53
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	54
8.	ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de variable dependiente.	22
Tabla 2. Matriz de Variable Independiente.	23
Tabla 3. Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) en el transecto 1.	31
Tabla 4. <i>Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle negro (Avicennia germinans) en el transecto 2.</i>	32
Tabla 5. Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) en el transecto 3.	33
Tabla 6. Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>) en el transecto 4.	34
Tabla 7. Biomasa aérea por componente de las especies muestreadas de mangle negro en la parcela 1.....	35
Tabla 8. Biomasa aérea por componente de las especies muestreadas de mangle negro en la parcela 2.....	36
Tabla 9. Biomasa aérea por componente de las especies muestreadas de mangle negro en la parcela 3.....	37
Tabla 10. Biomasa aérea total parcela 1 <i>Avicennia germinans</i>	38
Tabla 11. Biomasa aérea total parcela 2.....	39
Tabla 12. Biomasa aérea total parcela 3.....	40
Tabla 13. Biomasa aérea total parcela 4.....	41
Tabla 14. Captura de carbono (kg) del transecto 1 del mangle <i>A. germinans</i>	42
Tabla 15. Captura de carbono (kg) del transecto 2 del mangle <i>A. germinans</i>	43
Tabla 16. Captura de carbono (kg) del transecto 3 del mangle <i>A. germinans</i>	44
Tabla 17. Captura de carbono (kg) del transecto 4 del mangle <i>C. erectus</i>	45
Tabla 18. Estimación de captura de carbono total en la especie <i>Avicennia germinans</i>	46
Tabla 19. Estimación de captura de carbono total en la especie <i>Conocarpus erectus</i>	47
Tabla 20. Estimación de la captura de carbono de diferentes especies de mangles.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento del Árbol <i>Avicennia germinans</i> en dos ecotipos contrastantes.....	17
Figura 2. Mangle Botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>).....	18
Figura 3. Mapa de Transectos en la Isla Santay.....	29
Figura 4. Gráfica comparativa de las distintas especies de mangles en cuanto a la Captura de Carbono.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Mapa de ubicación del Área Nacional De Recreación Isla Santay. .	61
Anexo N° 2. Visita al lugar de estudio para la identificación de las especies <i>A. germinans</i> y <i>C. erectus</i>	61
Anexo N° 3. Mediciones a la altura del pecho para el cálculo de estimación de carbono.	62
Anexo N° 4. Tomas aéreas para la identificación de especies de manglares.....	62
Anexo N° 5. Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el estudio del presente proyecto. (Página #1)	62
Anexo N° 6. Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el estudio del presente proyecto. (Página #2)	62
Anexo N° 7. Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el estudio del presente proyecto. (Página #3)	62
Anexo N° 8. Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el uso del dron. (Página #1)	62
Anexo N° 9. Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el uso del dron. (Página #2)	62
Anexo N° 10. Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el uso del dron. (Página #3)	62

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Según la Organización Meteorológica Mundial (2021) uno de los GEI más prominente es el dióxido de carbono, llegando a alcanzar las 413.2 ppm en el año 2020. El CO₂ se caracteriza por su extensa vida, lo que resulta que los niveles de temperatura en la actualidad permanecerán durante varias décadas, aun si las emisiones son reducidas en un 100%. Esto intensifica el riesgo de presencia de fenómenos meteorológicos extremos (calor sofocante, precipitaciones abundantes, acidificación de los océanos, aumento del nivel del mar).

Igualmente, las Naciones Unidas (2019) informa que en el periodo 2015 a 2019 la temperatura global promedio está encaminada a ser la más alta jamás registrada para un lapso equivalente, actualmente alcanzando aproximadamente 1.1 C° por encima de los niveles preindustriales (1850-1900). Durante los últimos años, las olas de calor, las más mortales hasta la fecha han afectado a todos los continentes, estableciendo récords de temperatura a nivel nacional. Estos eventos extremos, como las prolongadas olas de calor, incendios récord y fenómenos devastadores como ciclones tropicales, industriales y sequias, han tenido un impacto significativo tanto en el desarrollo socioeconómico como en el medio ambiente.

A lo largo de las últimas 1 000 décadas, las condiciones climáticas a nivel mundial han permanecido mayormente estables, creando un entorno propicio para el desarrollo de la especie humana. No obstante, en la actualidad, se observan evidentes señales de un cambio en el clima, y el fenómeno del cambio climático representa uno de los desafíos más críticos para la humanidad en su conjunto. Según las conclusiones del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), es altamente probable que el calentamiento global experimentado desde la mitad del siglo XX sea atribuible en gran medida a la actividad humana (Useros, 2013).

Los gases de efecto invernadero ayudan a mantener el calor y se encuentran naturalmente en la atmosfera generando condiciones idóneas para el desarrollo de la vida. El problema se da en el alarmante incremento de estos gases como resultado de las actividades antropogénicas (Morales, 2021).

El CO₂ se destaca como el principal gas de efecto invernadero de origen humano, y sus emisiones anuales experimentaron un aumento significativo de aproximadamente un 80% entre 1970 y 2004. Sin embargo, a partir del año 2000, la tendencia al alza en las emisiones de CO₂ por unidad de energía suministrada se revirtió a una disminución a largo plazo. En 2005, las concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppm) superaron con creces el rango natural en los últimos 650 000 años. Este aumento en la concentración de CO₂ se atribuye principalmente al uso de combustibles fósiles, con cambios en el uso del suelo contribuyendo en menor medida (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, [IPCC], 2007).

El cambio climático a nivel mundial se sitúa actualmente como uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad, tanto por sus impactos en el medio ambiente como por ser principalmente impulsado por el aumento de los gases de efecto invernadero, derivados de las acciones humanas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Bárcena et al., 2020).

La rápida intensificación del cambio climático en las últimas décadas, derivada del incremento de gases de efecto invernadero generados por la utilización de combustibles fósiles, constituye una realidad que plantea una seria amenaza para diversos ecosistemas. El aumento de la temperatura global, resultado del efecto invernadero, es responsable del aumento del nivel del mar, la reducción de las capas de nieve y hielo, así como de alteraciones en los patrones de precipitación. Estos cambios impactarán en los sistemas naturales relacionados con el hielo, los sistemas hidrológicos, la calidad del agua, los ecosistemas biológicos marinos y de agua dulce, así como en la productividad agrícola y forestal (Pita, 2022).

Los impactos generados por el cambio climático a nivel mundial parecen manifestarse a un ritmo más rápido de lo que se anticipaba hace veinticinco años. En otras palabras, en lapsos breves, e incluso en tiempo real, la humanidad está presenciando colapsos ecológicos y sus consecuencias en los sistemas sociales y económicos, atribuidos directamente al cambio climático global (Pernía et al., 2019).

El cambio climático está afectando los procesos fundamentales de diversos organismos, como el crecimiento, la reproducción y la supervivencia en las primeras etapas vitales, con el potencial de comprometer la viabilidad de algunas

poblaciones. Estos cambios también conllevan una considerable pérdida de biodiversidad y diversidad genética. En el año 2018, se registró un evento lamentable para la biodiversidad global: dos tercios de la Gran Barrera de Coral australiana perecieron debido al aumento de las temperaturas inducido por el cambio climático (Ramírez, 2020).

Uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del cambio climático a lo largo del tiempo es el dióxido de carbono (CO₂). Las emisiones de este gas han experimentado un aumento debido a actividades humanas como la deforestación, cambios en el uso del suelo, la ganadería y el incremento en la producción y uso de combustibles fósiles, entre otros. El impacto del CO₂ se extiende a nivel global, afectando no solo la preservación del ecosistema, sino también influyendo en aspectos económicos, políticos y sociales (Ibañez y Urango, 2019).

Varios de los ecosistemas que tienen la capacidad de reducir las emisiones de CO₂ están enfrentando amenazas significativas. Uno de los problemas fundamentales radica en la expansión y crecimiento de asentamientos en las zonas costeras, así como en la explotación excesiva de sus recursos. Además, el aumento de la turbidez debido a cargas elevadas de sedimentos y la contaminación de aguas mal tratadas también contribuyen a poner en peligro estos ecosistemas (Ibañez y Urango, 2019).

Dentro de los ecosistemas con la capacidad de reducir estas emisiones, se destacan las marismas, caracterizadas por la predominancia de plantas vasculares capaces de almacenar alrededor de 430 Tg de carbono en los primeros centímetros del suelo. En segundo lugar, los pastos marinos, formados por fanerógamas responsables de capturar el 15% del carbono. Además, los bosques de manglar esenciales en la absorción de carbono lo almacenan en la biomasa viva, tanto superficialmente (hojas, tallos, ramas) como bajo tierra (raíces) (Ibañez y Urango, 2019).

Si hablamos a nivel regional, México cuenta con aproximadamente 755.55 ha de manglar en su superficie, posicionándolo en el segundo lugar de los países que cuentan con la mayor cantidad de sitios RAMSAR. Sin embargo, ha tenido una pérdida de al rededor del 10% de los manglares en los últimos 30 años, por esta razón, el gobierno mexicano ha hecho énfasis en el área ambiental implementando estrategias de conservación y manejo de los ecosistemas de manglar y siendo más

responsables con sus emisiones al comprometerse a cumplir con la meta de reducir al menos un 30% de emisiones hacia el 2020 y un 50% al 2050 (INECC-PNUD, 2017).

Ecuador cuenta con alrededor de 157 094,28 ha de bosques de manglares, donde la gran parte de la flora se conforma mayormente por *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Avicennia germinans*, entre otros. También, posee una gran variedad de fauna que incluyen especies como: cangrejo rojo (*Ucides occidentalis*), jaibas (*Callinectes arcuatus*, *C. toxotes*), camarones (*Litopenaeus stylirostris*, *L. vannamei*) y varias especies de peces. Sin embargo, estos ecosistemas se ven amenazados por el aumento de la pesca indiscriminada, la tala de manglares, la construcción de camaroneras y por la acelerada expansión urbanística (Pernía et al., 2019).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El calentamiento global se origina a partir del fenómeno del efecto invernadero, en el cual ciertos gases atmosféricos, conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), retienen una parte significativa de la radiación emitida por la superficie terrestre, manteniéndola en la atmósfera. En condiciones controladas, este efecto invernadero contribuye a un clima estable en nuestro planeta. Sin embargo, desde la era preindustrial, con la intensificación de las actividades humanas, la concentración de estos gases ha experimentado un aumento considerable, evidenciándose en alteraciones climáticas drásticas (Acevedo et al., 2016).

El dióxido de carbono (CO₂) destaca como el principal gas de efecto invernadero generado por las acciones humanas. Estas actividades están perturbando el ciclo del carbono al introducir una mayor cantidad de CO₂ en la atmósfera y afectar la capacidad de los sumideros naturales, como los bosques, para eliminar el CO₂ atmosférico, además de influir en la capacidad de las tierras para almacenar carbono. A pesar de que existen emisiones naturales de CO₂, el aumento observado en la atmósfera desde la Revolución Industrial se atribuye principalmente a las emisiones derivadas de las actividades humanas (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, [EPA], 2024).

A pesar de su considerable valor ecológico, Santay se ve confrontada con la amenaza de la contaminación industrial y doméstica proveniente de las ciudades

de Guayaquil y Durán. La escasez de estudios e investigaciones referente a la importancia ecológica, económica y social de los manglares ha promovido la realización de actividades humanas que están conduciendo a la pérdida de los servicios ambientales proporcionados por estos ecosistemas. Entre estos servicios se incluyen la prevención de la erosión del suelo y las playas, la provisión de hábitat para la fauna silvestre, la protección de la línea costera contra tormentas, oleajes e inundaciones, así como la facilitación de actividades recreativas. A pesar de la documentada disminución general de los manglares a nivel mundial, con una tasa anual de pérdida que oscila entre el 1% y el 2% (Avalos, 2010).

De acuerdo con la investigación temporal llevada a cabo por el Ministerio del Ambiente (2015), la Isla Santay alberga uno de los últimos vestigios de manglar en la región costera. En su extensión territorial, se encuentran presentes cinco de las siete especies de manglar que existen en Ecuador, abarcando aproximadamente la mitad de la isla.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la cantidad estimada de carbono que puede captar el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay?

1.3 Justificación de la investigación

La relevancia de este estudio radica en el papel significativo que desempeña el ecosistema de manglares al absorber una proporción considerable de dióxido de carbono presente en la atmósfera. Este gas de efecto invernadero, que contribuye de manera exponencial al cambio climático, resalta la importancia crucial de comprender y preservar los manglares (Fourqurean et al., 2019).

Además, el manglar alberga una amplia variedad de especies, especialmente aves, y funciona como refugio para diversas especies marinas como peces pelágicos, moluscos y crustáceos. La degradación del hábitat de manglar resulta en la pérdida de innumerables especies marinas de valor comercial. Dado que se encuentra en la interfaz entre el medio marino y costero, también sirve como hábitat para especies tanto terrestres como marinas, además de ser un entorno propicio para insectos (CONABIO, 2021).

El manglar es reconocido como el principal "riñón" del planeta, ya que los organismos que lo habitan retienen sedimentos valiosos y purifican sales minerales antes de devolverlas a la cadena alimentaria. Además, funciona como un filtro biológico al absorber agentes contaminantes, preservando así la calidad del agua.

Este ecosistema boscoso no solo genera oxígeno, sino que también absorbe cantidades significativas de dióxido de carbono, superando incluso a los hábitats terrestres al capturar carbono a largo plazo en sus sedimentos (Aldana, 2017).

El ecosistema de manglares desempeña un papel crucial en la defensa de las costas contra eventos climáticos y meteorológicos. El manglar actúa como un sumidero de carbono, absorbiendo cantidades significativas presentes en el entorno, pudiendo llegar a secuestrar aproximadamente hasta 25 toneladas de carbono por hectárea. Este carbono, emitido tanto de manera natural como antropogénica a la atmósfera, destaca la necesidad de calcular la retención de carbono específicamente en el manglar botoncillo (*Conocarpus erectus*) y realizar una comparación de la capacidad de absorción de carbono con otras especies más comunes en el Área Nacional de Recreación Isla Santay (Reyes y Tovilla, 2021).

El área de estudio es reconocida como un humedal categoría RAMSAR de Importancia Internacional No1041, especialmente por poseer los primeros bosques de manglar del inicio del estuario del río Guayas siendo un refugio para varias especies de patos, loros y otras aves migratorias incluidas en el libro rojo de aves. También, se ha demostrado un incremento en la demanda turística en el lugar por parte de extranjeros y locales por lo que estas áreas de manglar merecen ser protegidas.

1.4 Delimitación de la investigación

Espacio: La isla Santay, reconocida como un área protegida (Área Nacional de Recreación Isla Santay) y parte integral del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador debido a su abundante biodiversidad y su designación Ramsar, se encuentra ubicada en la provincia de Guayas, cantón Durán, en el curso del río Guayas y frente a la ciudad de Guayaquil, en las coordenadas 627505 - 9754718 17M. Con una extensión de 2214 hectáreas como se muestra en la figura 2. Santay constituye un importante espacio natural (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, [MAATE], 2015).

Tiempo: El trabajo de investigación se ejecutará en un periodo de tiempo de 5 meses donde se estimará la cantidad de carbono que el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) es capaz de secuestrar.

Población: La Isla Santay cuenta con 310 personas en la Ecoaldea San Jacinto de Santay (INEC, 2023).

1.5 Objetivo General

Estimar la concentración de carbono captado por el mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) mediante ecuaciones alométricas en el Área Nacional de Recreación Isla Santay para la comparación con otras especies de mangle.

1.6 Objetivos específicos

- Determinar in situ la zona con mayor presencia del mangle *Conocarpus erectus* Y *Avicennia germinans* en la Isla Santay.
- Estimar la concentración de carbono mediante ecuaciones alométricas del mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay.
- Comparar la capacidad de absorción de carbono captado por el *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* con otras especies de mangle.

1.7 Hipótesis

El mangle negro (*Avicennia germinans*) capta 10% más cantidad de carbono en comparación con el mangle rojo (*Rhizophora mangle*).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

El estudio realizado Escobar (2020) reveló la presencia de carbono azul en dos remanentes de bosque de manglar ubicados en Barra Salada y Playa Dorada, dentro del área de conservación Los Cobanos, Sonsonate, El Salvador. La toma de muestras se llevó a cabo durante un periodo de seis meses, comprendido entre julio y diciembre de 2019, siguiendo la metodología de Kauffman y Howard, detallada en el Manual Centroamericano para la Medición de Carbono. Se establecieron diez puntos de muestreo en ambas zonas, dividiendo el estudio en cuatro fases: estudio preliminar, trabajo de campo, laboratorio y análisis de datos.

La evaluación del carbono capturado y almacenado por los manglares se realizó a través de un enfoque integral que abarcó aspectos físicos, químicos y biológicos. Las mediciones y recolección de muestras en el terreno fueron posteriormente analizadas en laboratorio bajo condiciones controladas. Se emplearon ecuaciones alométricas establecidas para calcular el carbono en la biomasa de los componentes epigeos. Todos los datos obtenidos se procesaron utilizando el programa Excel 2016. Las especies identificadas en ambos bosques de manglar incluyeron *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*. La clasificación del manglar en Barra Salada fue de tipo alto y denso, mientras que en Playa Dorada se caracterizó por ser alto y denso, enano y con praderas pantanosas.

La concentración de carbono en Barra Salada se estimó en 272.01 ± 23.68 MgC. ha⁻¹, distribuido en un 25% (67.16 ± 22.71 MgC. ha⁻¹) en la parte epigea y un 75% (204.85 ± 21.66 MgC. ha⁻¹) en la subterránea, sumando un total de $112\,720.94 \pm 9\,812.99$ MgC en las 414.4 hectáreas de bosque. En Playa Dorada, la concentración fue de 293.54 ± 47.73 MgC. ha⁻¹, con un 17% (51.00 ± 3.39 MgC. ha⁻¹) en la parte epigea y un 83% (242.55 ± 50.75 MgC. ha⁻¹) en la subterránea, totalizando $2\,935.40 \pm 477.3$ MgC en las 10 hectáreas de bosque. En ambos lugares, el suelo y la biomasa de árboles fueron los componentes más significativos. En comparación con otros tipos de bosques terrestres, se observó una existencia de carbono en el bosque de manglar que supera en un 260% y más del 500% a los bosques y ecosistemas de cultivos o ganaderos, respectivamente. Adicionalmente, se calculó que las emisiones de carbono a la atmósfera fueron de 191 895.16

MgCO₂ en un periodo de 64 años (1954-2018), asociadas a la deforestación de 233.98 hectáreas en Barra Salada, y de 4,046.18 MgCO₂ en los últimos 50 años, vinculadas a la deforestación de 4.5 hectáreas en Playa Dorada.

En la investigación llevada a cabo por Castro (2023) se destaca la preocupante intervención negativa de la actividad antropogénica en la mayoría de los ecosistemas de manglar a nivel mundial. Este impacto se produce a pesar de los beneficios significativos que estos ecosistemas aportan tanto a la economía como al medio ambiente. En respuesta a esta problemática, el presente trabajo se centra en el análisis del potencial de captura de carbono por la especie *Rhizophora mangle* en Ecuador, utilizando una metodología basada en la investigación documental. El objetivo principal es formular estrategias efectivas para la conservación de los bosques de manglar. Los resultados obtenidos revelan la capacidad de almacenamiento de carbono del mangle rojo en las áreas más representativas. En la zona norte, se estimó en 6.28 toneladas por hectárea, mientras que en la zona sur se registró un total de carbono almacenado de 12.39 toneladas por hectárea. Esta diferencia se atribuye principalmente a la distribución y densidad poblacional más elevada en la zona sur del Jama-Zapotillo. Adicionalmente, se corroboró la importancia ecológica de los ecosistemas de manglar, con especial énfasis en el Manglar del Chocó Ecuatorial para la zona norte y el Manglar del Jama-Zapotillo para la zona centro sur. Ambos se destacan como notables acumuladores de carbono orgánico, reforzando su valor desde una perspectiva ambiental.

Paredes y Cevallos (2022) su trabajo investigativo tiene como propósito principal estimar la biomasa y la concentración de carbono en el mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, ubicada en Ecuador. Este análisis se llevó a cabo mediante la aplicación de ecuaciones alométricas diseñadas específicamente para la estimación de la biomasa aérea y subterránea de los individuos de mangle en esta región. Los resultados obtenidos revelaron que la biomasa aérea promedio de los individuos de mangle alcanzó los 1 000 kg, mientras que la biomasa subterránea promedio se situó en 500 kg. Estos datos proporcionan una visión detallada de la distribución de la biomasa en diferentes partes de la planta, destacando la contribución significativa tanto de la parte aérea como de la subterránea en la acumulación de materia orgánica. Asimismo, la concentración de carbono en la biomasa aérea se estableció en un

46.2%, mientras que en la biomasa subterránea fue de 53.8%. Este hallazgo resalta la variabilidad en la distribución de carbono en las distintas partes de la planta, subrayando la importancia de considerar tanto la parte aérea como la subterránea al evaluar el papel del mangle Botoncillo como sumidero de carbono. En conjunto, la concentración total de carbono en los individuos de mangle se calculó en un 50.0%, proporcionando una visión integral de la capacidad de este ecosistema para almacenar carbono en su conjunto. Estos resultados contribuyen al entendimiento más profundo de la función ecológica del mangle Botoncillo en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, brindando información valiosa para la gestión y conservación de este importante hábitat en Ecuador.

El objetivo del estudio presentado por Núñez et al. (2019) fue identificar diferencias significativas en el flujo de CO₂ generado por microorganismos en suelos desnudos (SD), en comparación con suelos dominados por *Avicennia germinans* (Ag) y *Conocarpus erectus* (Ce). El trabajo de campo se llevó a cabo en la laguna de Unare, donde se recolectaron un total de 72 muestras de suelo superficial, distribuidas en 36 muestras de suelos desnudos, 18 de suelos con *Avicennia germinans* y 18 de suelos con *Conocarpus erectus*. La respiración basal se determinó durante el proceso. Los datos recopilados fueron sometidos a un análisis estadístico mediante pruebas específicas. Se encontró que los suelos desnudos generaron 3.74 mg de carbono en forma de CO₂ por gramo cada 24 horas, mientras que los suelos dominados por manglares mostraron una emisión de 12.25 mg C-CO₂/g/24h. La prueba estadística reveló una significancia de 0.01, demostrando de manera concluyente la diferencia significativa entre ambos grupos. En cuanto a los suelos con *Avicennia germinans*, se registró una emisión de 10.61 mg C-CO₂/g/24h, mientras que los suelos dominados por *Conocarpus erectus* presentaron una emisión de 13.88 mg C-CO₂/g/24h. La prueba estadística corroboró las diferencias significativas en el flujo de CO₂ liberado por los tres grupos analizados. Estos resultados enfatizan la importancia de la vegetación, especialmente de manglares como *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, en la regulación del flujo de CO₂ en los suelos, subrayando la relevancia de la conservación de estos ecosistemas para el equilibrio del ciclo del carbono en la laguna de Unare.

Según Cruz (2023) el problema del cambio climático ha sido objeto de debate a nivel global durante muchos años, buscando tomar medidas efectivas para

mitigar los desastres ambientales asociados. Aunque los manglares representan una fracción pequeña en comparación con los bosques terrestres, desempeñan un papel vital como pulmones del planeta y proveedores de servicios ecosistémicos. Por ende, este trabajo de investigación se llevó a cabo con el propósito de evaluar la cantidad de carbono capturado en los manglares de la comuna Valdivia y la zona de Olón, mediante el uso de ecuaciones alométricas y análisis de laboratorio. El enfoque se centró en la valoración bioeconómica y la promoción de prácticas de conservación en los estuarios El Azufre y El Cangrejal de Olón. La recolección de datos en campo se realizó mediante el método de zonas y transectos de 100 m x 20 m y de 50 m x 10 m. Se empleó un método no destructivo basado en ecuaciones alométricas para determinar el contenido de carbono almacenado en la biomasa, mientras que el contenido de carbono en el suelo se determinó a través de análisis de laboratorio, considerando la necromasa y el suelo a menos de 10 cm de profundidad. Los resultados obtenidos indicaron un almacenamiento de carbono estimado en 84,832.01 toneladas por hectárea en el manglar El Azufre, con un valor económico de \$169.66 por hectárea, y un total de 3,623.31 toneladas por hectárea en el manglar El Cangrejal, con un valor de \$159.85 por hectárea. Además, los análisis de suelo y necromasa proporcionaron datos significativos, como el 38.99% de hojas caídas en la zona 1/Valdivia, 29.15% en la zona 2/Valdivia, y 47.58% en la zona de Olón. En cuanto a las ramas sobre el suelo, se observaron porcentajes de 37.08%, 42.74%, y 53.42% en las respectivas zonas. Finalmente, para el suelo (<10 cm), se registraron porcentajes de 1.20%, 2.04%, y 1.10% en las áreas mencionadas, contribuyendo tanto en porcentaje como en toneladas de carbono al secuestro de CO₂ atmosférico, ofreciendo una perspectiva positiva hacia el cambio climático y sus impactos.

El propósito de la investigación de Ugas et al. (2021) fue destacar las diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico (C) y materia orgánica (MO) en tres categorías de suelos: no rizosférico (nr), con presencia de *Avicennia germinans* (Ag) y *Conocarpus erectus* (Ce). Para llevar a cabo este propósito, se recolectaron 54 muestras de suelo superficial (0-20 cm) en la región de Boca de Uchire, distribuidas en tres grupos: 18 muestras de suelo no rizosférico, 18 de suelo con *Avicennia germinans* y 18 de suelo con *Conocarpus erectus*. El contenido de C se determinó mediante la oxidación con dicromato de potasio, mientras que el % de MO se calculó utilizando el factor convencional de Bemmelen.

Los datos recopilados se sometieron a un análisis descriptivo, ANOVA y la prueba de Tukey para realizar comparaciones entre grupos. Los resultados revelaron diferencias significativas en las variables analizadas entre los tres grupos de muestras. El contenido de C presentó valores promedio de 0.04% para suelo no rizosférico, 0.08% para suelo con *Avicennia germinans* y 0.13% para suelo con *Conocarpus erectus*. En cuanto a la MO, se estimaron valores promedio de 0.07%, 0.15% y 0.23% respectivamente para los mismos grupos. Se reconoce que, dentro de los grupos estudiados, los suelos con presencia de *Conocarpus erectus* exhibieron la mayor potencialidad forestal, aportando 2.73 Mg C ha⁻¹ al suelo. Estos resultados resaltan la importancia de considerar la diversidad vegetal y sus efectos en el contenido de carbono y materia orgánica del suelo, contribuyendo así al entendimiento de la dinámica del carbono en los ecosistemas estudiados.

Un estudio realizado por Pernía (2019) muestra el nivel de contaminación en los manglares de Ecuador, principalmente por altas concentraciones de metales pesados, coliformes fecales y residuos sólidos. Lo cual ha provocado una reducción considerable de su diversidad, la muerte de organismos y problemas de salud en diferentes especies de peces y cangrejos que son destinados al consumo humano. También, los sedimentos están contaminados por diferentes metales, lo que garantiza que los manglares cumplen la función de atrapar los metales pesados.

En Ecuador se ha registrado principalmente contaminación por los metales pesados como cadmio, plomo y mercurio. En las zonas de manglares, específicamente en el Estero Salado en la provincia de Guayas, se encontró contaminación por cobre (4 708 204.1 mg/kg), níquel (42.39-60.14 mg/kg), vanadio (96.82-159.88 mg/kg) y zinc (93.95-527.17 mg/kg).

Para determinar los resultados de su investigación realizaron búsquedas en bases de datos Web of Science Scopus, Latindex, Google Scholar, informes técnicos y tesis para poder generar matrices para agua, sedimentos y organismos e incita en la realización de estudios ecotoxicológicos y se resalta la escasez de información en ciertas áreas, recomendando muestreos y monitoreos continuos a nivel nacional por parte de las autoridades.

Por otro lado, en México, Aviña (2023), alega que es importante realizar evaluaciones detalladas con respecto al almacenamiento considerable de carbono en los humedales costeros para obtener mayor conocimiento sobre el valor ecosistémico en la disminución del cambio climático.

Las evaluaciones se realizaron in situ para limitar la escala del análisis. Se utilizaron herramientas de percepción remota que ayudan a la evaluación de CO en diversos ecosistemas para poder describir la variabilidad espacial del carbono en atributos espaciales del punto de estudio. Estas imágenes aéreas también pueden determinar la distribución de especies, carbono en función de las especies, entre otros.

El método que se utilizó fue mediante análisis de carbono en suelos, mediciones de biomasa aérea, clasificación de imágenes aéreas y modelamiento de la distribución del carbono a partir de modelos (GAMs). En las muestras de sedimentos se demostró un almacenamiento de hasta 43.4 MgC ha⁻¹ en marismas, 43.12 y 41.08 MgC ha⁻¹ en los sistemas de manglar.

Otro estudio realizado en Cali, Colombia por Palacios (2017) menciona la importancia de los estudios en manglares ya que proporcionan servicios ecosistémicos a las comunidades locales. La información para su estudio se obtuvo mediante entrevistas con las comunidades locales evaluando los impactos de la cosecha de manglares sobre la estructura del bosque. Además, se realizó un análisis de la composición, estructura y abundancia de cada especie de manglar en los diferentes bosques, para examinar la variación de secuestro de carbono en los compartimentos del sistema, y variación en las reservas de carbono tomando en cuenta el tamaño y la estructura de la vegetación de mangle.

Los resultados revelaron que hay diferencias significativas en la estructura (altura, DAP y área basal) entre las estaciones y las parcelas de estudio. Las estaciones 2 y 3 presentan arboles de mayor altura y área basal, para las especies *Mora oleífera* (17.32± 8.46; 1 082.82±38.86) y *Rhizophora spp.* (11.29± 8.93; 235.13± 24.82).

En el estudio realizado por Molina (2018) se determinó la estructura y las reservas de carbono en la biomasa arbórea y en el suelo del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México; haciendo uso de la metodología de Kauffman se midió la altura y el diámetro a la altura del pecho de cada árbol mayor a 2.5 cm y se colectaron 2 muestras de suelo por transecto a 30 cm de profundidad. Se determinaron taxonómicamente las especies de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa*. En relación al carbono almacenado en la biomasa aérea la especie de *A. germinans* capturó 28.555 Ton C/ha, seguida de *L. racemosa* con 19.508 Ton

C/ha y *R. mangle* con 4.82 Ton C/ha; mientras que el carbono almacenado en el suelo del manglar de Tumilco fue de 147.41 Ton C/ha.

Vera (2019) presentó un interesante proyecto, donde tuvo como objetivo principal estimar el almacenamiento de carbono de los árboles de mangle del noroeste de la Isla Mondragón, Golfo de Guayaquil, mediante Acuerdo de Uso Sustentable y Custodia de Manglar. Se determinó la estructura del bosque y mediante ecuaciones alométricas, se estimó la biomasa acumulada de los árboles, tanto aérea como subterránea, además se determinó la especie de mangle capaz de acumular mayores cantidades de carbono. La zona corresponde a un bosque de manglar de tipo ribereño, bastante desarrollado estructuralmente y dominada por *Rhizophora* (mangle rojo), con presencia de *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Avicennia germinans* (mangle negro). La acumulación de carbono en los cuatro sitios tuvo un promedio de 147.83 Mg C/ha (Megagramos de carbono por hectárea). *Rhizophora sp.* fue la especie que presentó mayores cantidades de carbono almacenado, tanto por su dominancia como por su morfología. Esto demuestra la importancia de la conservación del ecosistema de manglar mediante estrategias ejecutadas por el Gobierno, así como, la capacidad de los manglares como almacenamiento de carbono para combatir el cambio climático.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cambio climático

El cambio climático engloba las transformaciones a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos. Si bien estos cambios pueden tener causas naturales, como variaciones en la actividad solar o grandes erupciones volcánicas, desde el siglo XIX, las acciones humanas han sido la principal fuerza impulsora del cambio climático, principalmente a través de la combustión de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, [IPCC], 2007).

2.2.1.1. Calentamiento global.

El calentamiento global se determina mediante mediciones rutinarias de la temperatura atmosférica según las condiciones meteorológicas en distintas regiones del planeta. Con estos datos se aprecia el incremento significativo en la temperatura media global en las últimas décadas. El calentamiento global se relaciona directamente con el CO₂, lo que corrobora que el aumento de la temperatura es una intensificación del efecto invernadero (Caballero et al., 2007).

2.2.1.2. Gases de efecto invernadero.

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son aquellos gases que se encuentran en la atmósfera y contribuyen al fenómeno del efecto invernadero. Estos gases tienen origen tanto natural como antropogénico, siendo este último resultado de la actividad humana. El efecto invernadero se refiere al proceso en el cual la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los gases presentes y luego irradiada en diversas direcciones (Aldana, 2017).

2.2.2 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono demuestra como el carbono interviene entre diferentes depósitos en la tierra mediante cambios físicos, químicos y biológicos. Las entradas y salidas que se presentan como fuentes o sumideros tienen una variación significativa en su eficacia y cambio dependiendo de las diferentes escalas temporales. Es decir, la estructura del ciclo del carbono serán diferentes según la escala temporal que se evalúe (Chivelet, 2010)

2.2.3 Carbono azul

El carbono azul se refiere al carbono almacenado en el suelo, la biomasa aérea viva (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viva (raíces) y la biomasa no viva (como hojarasca y madera muerta) en ecosistemas de manglares, marismas y pastos marinos. Al igual que el carbono capturado en ecosistemas terrestres, el carbono azul queda atrapado en la biomasa vegetal viva durante períodos relativamente cortos. Sin embargo, a diferencia de los ecosistemas terrestres, el carbono almacenado en los suelos costeros es considerable y puede mantenerse durante períodos prolongados, formando grandes reservorios de carbono de alta duración (Fourqurean et al., 2019).

2.2.3.1 Captura de Carbono en las plantas.

El proceso de captura de carbono comienza cuando las plantas absorben CO_2 de la atmósfera a través de la fotosíntesis. El CO_2 capturado se convierte en compuestos básicos como la glucosa, que contribuyen a formar las estructuras de la planta y se almacenan en su tejido como biomasa aérea (hojas, ramas y tallos), biomasa subterránea (raíces gruesas y finas) o en el suelo, en forma de humus estable proveniente de la degradación de biomasa (tanto de órganos leñosos como no leñosos). Este humus contribuye a la retención de CO_2 en el entorno. Se estima que aproximadamente una tonelada de CO_2 atmosférico equivale a 0,27 toneladas de carbono en la biomasa (Carbajal et al., 2017).

2.2.3.2 Biomasa forestal.

La biomasa forestal es descrita como la cantidad de materia orgánica mediante estimaciones o pesos real que se encuentra en un ecosistema forestal en el suelo, ya sea de forma superficial o debajo del suelo. Se miden en toneladas por hectárea de peso verde o seco y se divide en varios componentes que incluyen la masa del tronco, ramas, hojas, corteza, raíces y madera en descomposición (Ministerio del ambiente, [MINAM], 2015).

2.2.4 Mangle

El término "mangle" se utiliza para describir plantas leñosas, densas y, a menudo, arbustivas o arbóreas, compuestas generalmente por una o varias especies de fanerógamas. Estas formaciones suelen carecer de plantas herbáceas y trepadoras, presentándose solo en raras ocasiones epífitas o plantas parásitas. Las especies de mangle poseen hojas perennes, no muy suculentas y de borde entero. En ciertas especies, el sistema de raíces incluye raíces zancudas y pneumatóforos, estructuras que les permiten sostenerse en fondos lodosos y facilitar la respiración en ambientes con bajos niveles de oxígeno, lo que otorga a los manglares una apariencia característica (Yáñez et al., 2016).

En América Latina, se identifican 11 especies de mangle, distribuidas en los géneros *Rhizophora* y *Avicennia* con cuatro especies cada uno; *Laguncularia*, *Conocarpus* y *Pelliceria*, con una especie cada uno (Rodríguez et al., 2021). En Colombia, se reportan cinco especies en la región del Caribe: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (mangle Botoncillo), y *Pelliceria Rhizophorae* (mangle piñuelo), siendo *R. mangle* y *A. germinans* las especies más abundantes y de mayor uso. En la región del Pacífico colombiano se registran ocho especies, cinco de las cuales también están presentes en el Caribe colombiano; las tres especies adicionales en el Pacífico son *Rhizophora barisonii*, *Rhizophora racemosa* y *Mora oleífera* (Núñez y Ugas, 2018).

2.2.4.1 Mangle negro (*Avicennia germinans*).

Según González y Andrade (2024), el género *Avicennia* cuenta con un total de ocho especies a nivel mundial, de las cuales en Ecuador solo se ha registrado *A. germinans*. Este tipo de mangle puede presentarse como árbol o arbusto, alcanzando alturas de entre 0,5 m y 25 m un diámetro a la altura del pecho (DAP) de hasta 120 cm. Su corteza es ligeramente fisurada y varía en color desde negro

y gris hasta marrón oscuro, con lenticelas. Las raíces secundarias son superficiales, acompañadas de numerosos neumatóforos verticales que pueden alcanzar los 40 cm de altura. Las hojas son opuestas, de color verde oliva en el haz y opacas en el envés, con una forma lanceolada y pecíolos de entre 1 y 2 cm. La inflorescencia es terminal y axilar, en forma de panículas o espigas densas de entre 1 y 5 cm de longitud. El cáliz es dialisépalo, con cinco sépalos. La corola es campanulada, de color blanco a crema, con lóbulos de 3 a 5 mm y garganta amarilla, y presenta cuatro estambres. El ovario es superior, con un estilo de aproximadamente 2 mm y un estigma bifido. El fruto es asimétrico y lateralmente comprimido, de 1,5 a 2,5 cm de largo y 1 a 1,7 cm de ancho, dividido en dos válvulas rugosas, de color verde amarillento en el exterior.

Figura 1.

Crecimiento del Árbol *Avicennia germinans* en dos ecotipos contrastantes.



Nota: A. Ecotipo chaparro. B. Ecotipo de cuenca. C. Hoja de *A. germinans* con acumulación de sal.

Fuente: (González y Andrade, 2024)

2.2.4.2 Mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*).

El mangle *Conocarpus erectus* conocido como el mangle botoncillo o mangle jolí, es un árbol de la familia Combretaceae que crece en las costas, en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, incluyendo Florida, las Bermudas, las Bahamas, el Caribe, Centroamérica y desde el sur de México hasta Brasil en la costa atlántica y de México a Ecuador en la costa del Pacífico, así como en África occidental, Melanesia y Polinesia. Es una de las dos especies de mangles pertenecientes al género *Conocarpus* (Tovilla y Espino, 1999).

Figura 2.

Mangle Botoncillo (Conocarpus erectus).



Fuente: (Guerrero, 2019)

2.2.5 Isla Santay

El humedal Isla Santay comprende dos islas formadas por sedimentos y un tramo del río Guayas, ubicadas al inicio de su estuario, el cual se extiende por 60 km hasta desembocar en el Golfo de Guayaquil. La isla Santay es propiedad del Banco Ecuatoriano de la Vivienda, bajo la administración del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, que ha establecido un fideicomiso para su gestión. Se encuentra bajo la jurisdicción política del Municipio de Durán, en la provincia del Guayas, y su administración recae en la Fundación Malecón 2000. Actualmente,

alrededor de 200 personas habitan la isla, en su mayoría adultos que trabajaron o nacieron en las antiguas haciendas de la zona (Zambrano et al., 2019).

Isla Santay constituye el 46% de la superficie del humedal (4.705 ha) y, hasta 1980, fue utilizada principalmente para ganadería y cultivo de arroz. La isla alberga los primeros bosques de manglar del estuario del río Guayas y áreas de conservación que se inundan durante la temporada lluviosa, como en la llanura de inundación de la cuenca baja del río Guayas. En los últimos 15 años, ha logrado recuperar la vegetación representativa del bosque seco y matorral espinoso periódicamente inundado, características propias de las planicies de la provincia del Guayas (Ordóñez y Bayona, 2019).

2.3 Marco legal

2.3.1 Ley de la Constitución de la República del Ecuador 2008

Título I: Elementos constitutivos del Estado

Capítulo segundo: Derechos del buen vivir

Sección segunda: Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, 35 Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.13).

Sección sexta: Hábitat y vivienda

Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajos los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural. El ejercicio del derecho a la ciudad se basa en la gestión democrática de esta, en la función social y ambiental de la propiedad y de la ciudadanía (p.17).

Título VII: Régimen del Buen Vivir

Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales

Sección primera: Naturaleza y ambiente

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a: Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado (p.122).

Sección segunda: Biodiversidad

Art. 400.- El Estado ejerce la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Conforme al artículo

403, el Estado no se comprometerá en Convenios o Acuerdos de cooperación que incluyan cláusulas que menoscaben la conservación, el manejo sustentable de la biodiversidad, la salud humana y los derechos colectivos de la naturaleza (p.123).

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador, único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial (p.123).

Art. 405.- Es sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión. Las personas naturales o jurídicas 36 extranjeras no podrán adquirir ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley (p.124).

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los parámetros, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos- costeros (p.124).

Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energía alternativas

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (p.125).

2.3.2 Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992)

La República del Ecuador suscribió el Convenio sobre Diversidad Biológica, instrumento internacional cuyo "Programa de Trabajo sobre Áreas Protegidas" y el Mandato de Yakarta incluyen un eje dedicado a las áreas marinas y costeras protegidas, en el cual se reconoce la importancia de estos espacios y se promueve su manejo integral y sustentable con miras a crear y fortalecer sistemas nacionales y crear redes de conservación a nivel regional y global. Su objetivo primordial es la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Manda a cada país miembro a establecer un sistema de áreas protegidas, ordenación de las áreas, desarrollo de zonas adyacentes y preservación y mantenimiento de conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales que respeten estilos tradicionales de vida para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad.

2.3.3 Convenio de la Tierra de Río de Janeiro (1992).

Es un tratado internacional en el que se trató entre otras cosas la necesidad de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, fueron ratificados en la Cumbre, la Declaración de Principios relativos a los Bosques y el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Después de la cumbre Río en 1992, se llevó a cabo la Cumbre de la Tierra Río, se celebró del 20 al 22 de junio de 2012 en Brasil., incluyo lo siguiente:

1. El fortalecimiento de los compromisos políticos en favor del desarrollo sustentable.
2. El balance de los avances y las dificultades vinculados a su implementación.
3. Las respuestas a los nuevos desafíos emergentes de la sociedad.

2.3.4 Convención relativa a los Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, RAMSAR (1992)

Publicado en el Registro Oficial No. 647 de 6 de marzo de 1995. En su Art. 1 se establece: "Los objetivos del presente Convenio, que se han de perseguir de conformidad con sus disposiciones pertinentes, son la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a 37 esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada." Firmada en la ciudad de Ramsar, Irán en 1971, fue ratificada por Ecuador el 7 de enero de 1994 (Registro Oficial No. 33 del 24 de septiembre de 1992). Persigue la conservación de los humedales como protección de los hábitats de especies bioacuáticas. En octubre del 2000 la Isla Santay fue declarada por la Convención Ramsar como un humedal de importancia internacional.

2.3.5 Código Orgánico del Ambiente (2018)

Libro Preliminar

Título II: De los derechos, deberes y principios ambientales

Art. 4.- Disposiciones comunes. Las disposiciones del presente Código promoverán el efectivo goce de los derechos de la naturaleza y de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrados, de conformidad con la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles, de igual jerarquía, interdependiente, progresivos y no se excluyen entre sí. Para asegurar el respeto, la tutela y el ejercicio de los derechos se desarrollarán las garantías normativas, institucionales y jurisdiccionales establecidas por la Constitución y la Ley. Las herramientas de ejecución de los principios, derechos y garantías ambientales son de carácter sistémico y transversal (p.12).

Libro segundo del patrimonio natural

Título I: De la conservación de la biodiversidad

Art. 29.- Regulación de la biodiversidad. El presente título regula la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes. Asimismo, regula la identificación, el acceso y la valoración de los bienes y los servicios ambientales (p.20).

2.3.6 Código Orgánico Integral Penal.

Capítulo Cuarto: Delitos contra el ambiente y la naturaleza y Pacha Mama

Sección primera: Delitos contra la biodiversidad

Art. 247.- La persona que cace, pesque, capture, recolecte, extraiga, tenga, transporte, trafique, se beneficie, permite o comercialice, especímenes o sus partes, sus elementos constitutivos, productos y derivados, de flora y fauna silvestre terrestre, marina o acuática, de especies amenazadas en peligro de extinción y migratorias, listadas a nivel nacional por la Autoridad Ambiental Nacional, así como instrumentos o tratados internacionales ratificados por el Estado, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años (p.94).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación fue de carácter documental y de campo, ya que se realizó una extensa búsqueda de información relacionada con la captura de carbono por medio de especies de manglares y se efectuaron visitas al área de estudio para obtener los datos necesarios para realizar la estimación de la captura de carbono, dando lugar a una investigación descriptiva.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación de este trabajo fue no experimental, debido a que se realizaron monitoreos y recolección de datos para obtener los resultados sin alterar el área de estudio.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente.

- a) Área basal del mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle negro *Avicennia germinans* (m²/ha)
- b) Biomasa por componente (kgC)
- c) Biomasa total aérea (kgC)
- d) DAP (cm)
- e) Altura total (m)

3.2.1.2. Variable dependiente.

- a) Cantidad de carbono capturado por el mangle *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans*

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.

Matriz de variable dependiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Carbono capturado por el mangle <i>Conocarpus erectus</i> y <i>Avicennia germinans</i> (kg/ha).	Cuantitativa continua	Razón	Cantidad de carbono capturado por el manglar en toneladas por hectárea en el área de estudio.

Elaborado por: La Autora, 2024

Tabla 2.
Matriz de Variable Independiente.

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Área basal del mangle botoncillo (<i>Avicennia germinans</i> y <i>Conocarpus erectus</i>) (m ² /ha)	Cuantitativa continua	Razón	Medida de la superficie del tronco del árbol en el área de estudio por hectárea.
Biomasa total aérea (kg)	Cuantitativa continua	Razón	Cantidad de biomasa en la parte aérea del manglar por hectárea.
Volumen del árbol (m ³ /ha)	Cuantitativa continua	Razón	Volumen del manglar por hectárea calculado en metros cúbicos.
Biomasa total de fuste (t/ha)	Cuantitativa continua	Razón	Biomasa contenida específicamente en el fuste del árbol en toneladas por hectárea.
Altura total (m)	Cuantitativa continua	Razón	Altura completa del árbol medida en metros.

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.3 *Tratamientos*

No se realizó ningún tipo de tratamiento, ya que se determinó que era una investigación no experimental.

3.2.4 *Recolección de datos*

3.2.3.1. **Recursos.**

Los recursos que se implementaron en este trabajo de investigación fueron los siguientes:

3.2.3.1.1. **Recursos bibliográficos.**

- Tesis
- Libros
- Artículos científicos
- Páginas webs institucionales

3.2.3.1.2. **Equipos y materiales.**

- Cintas métricas
- Agenda de apuntes
- GPS
- Embarcación
- Esferos

3.2.3.1.3. Recursos tecnológicos.

- Cámara
- Laptop
- USB
- Celular

3.2.3.2. Métodos y técnicas.

3.2.3.2.1. Determinar in situ la zona con mayor presencia del mangle *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* en la Isla Santay.

Para identificar las zonas con mayor presencia de *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, se utilizó una metodología combinada que integró herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y trabajo de campo. En primera instancia, se realizó una recopilación y análisis de datos secundarios, como mapas topográficos y de vegetación, así como información generada por estudios previos en la región. Estos datos permitieron establecer una línea base que guió las actividades posteriores.

Posteriormente, se realizaron a cabo visitas in situ en los puntos estratégicos identificados previamente. Estas visitas tuvieron como objetivo validar la información obtenida a través del SIG, así como registrar datos adicionales mediante observaciones directas y mediciones preliminares de parámetros como la densidad de individuos y características físicas de las especies estudiadas.

Además, se realizaron registros fotográficos y se georreferenciaron los puntos evaluados, utilizando dispositivos GPS de alta precisión para garantizar la exactitud de las ubicaciones. Estas herramientas permitieron elaborar mapas actualizados que reflejan con mayor detalle la distribución de *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans*, facilitando la identificación de las áreas de mayor densidad de estas especies en la Isla Santay.

3.2.3.2.2. Estimación de la concentración de carbono mediante ecuaciones alométricas del mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay.

Para obtener la concentración de carbono capturado por el botoncillo mangle y mangle negro, se utilizaron ecuaciones alométricas, tomando en cuenta la circunferencia de altura de pecho (CAP), el diámetro de altura de pecho (DAP) y la altura total (m).

Para la determinación de la altura total, debido a las condiciones del medio, se utilizó el método de tomas aéreas mediante el uso de un dron, el cual ayudaría a tener medidas más precisas de la altura total de cada individuo.

Para poder utilizar este método se obtuvo un permiso para realizar tomas de drones debido a que la Isla Santay es considerada un área protegida. Este método consistió en ubicar el dron cerca de la base del árbol y proceder a elevarlo hasta llegar a la copa del árbol, donde el dispositivo arrojaba de manera inmediata los valores de la altura total de cada uno de los individuos.

Para la determinación del Diámetro de Altura de Pecho (DAP), se realizó la medición a 1.30 metros del suelo, o como se conoce comúnmente, a la altura del pecho para el mangle *Avicennia germinans*. Inicialmente, se obtuvo la circunferencia de pecho (CAP) con una cinta diamétrica, la cual fue convertida en DAP a partir de la siguiente fórmula (Villareal et al., 2004)

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Donde:

CAP: circunferencia (cm)

π : 3.1416

Se empleó un método no invasivo para determinar la biomasa aérea, utilizando ecuaciones alométricas ajustadas a la especie *Avicennia germinans* para los componentes troncos, hojas y ramas. Para la especie *Avicennia germinans*, se utilizaron las siguientes fórmulas:

- Hojas: $\log_{10} B = 0.985 \cdot \log_{10} DAP - 0.855$
- Tronco: $\log_{10} B = 2.062 \cdot \log_{10} DAP - 0.590$
- Ramas: $\log_{10} B = 1.607 \cdot \log_{10} DAP - 1.090$

Para determinar la biomasa total de la especie *Avicennia germinans*, se empleó la siguiente ecuación alométrica.:

- Biomasa total: $\log_{10} B = 1.934 \cdot \log_{10} DAP - 0.395$

Donde:

B: Biomasa (kg)

DAP: diámetro de altura de pecho (cm)

Para obtener la estimación de captura de carbono, se multiplicó la biomasa por la proporción de carbono en la biomasa media, utilizando el factor (0.46 – 0.5), como indica la siguiente fórmula (Kauffman et al., 2013):

- Secuestro de carbono (kg) = Biomasa arbórea (kg) * la proporción de carbono en la biomasa media (0.46)

Para determinar biomasa de la especie *Conocarpus erectus* se adaptó a la siguiente fórmula por sus características físicas similares al mangle chaparro de *Avicennia germinans* según (Fromard et al. 1998):

$$B = 200.4 D_{30}^{2.1}$$

Donde la medición del diámetro a diferencia del mangle negro debe tomarse a 30cm del suelo o por encima de sus raíces aéreas.

3.2.3.2.3. Comparar la capacidad de absorción de carbono captado por el *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* con otras especies de mangle.

Para comparar la capacidad de captura de carbono entre las especies *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* con otras especies de manglar, se realizó un análisis integral basado en datos propios y referencias bibliográficas. Los resultados de esta investigación fueron contrastados con estudios previos realizados por autores como Andrade (2022) y Pita (2022), lo que permitió contextualizar y validar las estimaciones obtenidas en esta investigación.

Inicialmente, se llevó a cabo un conteo de los individuos presentes en un área de muestreo de 0.5 hectáreas, seleccionada estratégicamente en el bosque denso de manglar. Se midieron las variables dendrométricas necesarias, como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total, para calcular la biomasa aérea y, a partir de ella, la captura de carbono de cada especie. Posteriormente, este valor promedio fue multiplicado por el total de individuos del área para obtener el carbono total capturado en 0.5 hectáreas.

Además, se realizaron simulaciones para calcular la captura de carbono total en áreas más amplias. Utilizando los datos de Andrade (2022) y Pita (2022), se determina que el bosque denso de manglar de la Isla Santay equivale al 11.51% de su extensión total, es decir, aproximadamente 250.74 hectáreas. Con este valor, se extrapolaron las estimaciones de captura de carbono para toda el área de bosque denso, considerando la densidad promedio de individuos y los valores de captura de carbono por especie.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con información bibliográfica de otras investigaciones realizadas en ecosistemas de manglar en diferentes regiones. Esto permitió identificar patrones de captura de carbono y resaltar las

diferencias en eficiencia entre *Conocarpus erectus*, *Avicennia germinans* y otras especies comunes como *Rhizophora mangle*. Dicho análisis comparativo refuerza la importancia de conservar estas especies debido a su contribución diferenciada a la mitigación del cambio climático.

3.2.4. Análisis estadístico

En este proyecto, se empleó la estadística descriptiva como una herramienta analítica fundamental.

3.2.4.1 Estadística Descriptiva.

El análisis estadístico que se utilizó en esta investigación fue de tipo descriptivo para interpretar y organizar de manera coherente, sencilla y ordenada los resultados obtenidos.

- **Media aritmética.**

La media aritmética o promedio simple correspondió al valor céntrico de los datos obtenidos; se obteniendo los valores y dividiendo por el número de valores, y se calculó mediante la siguiente fórmula (Paz, 2007):

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

Donde:

\bar{X} = Media aritmética de la muestra

n = Número de elementos de la muestra

$\sum xi$ = Sumatoria de los valores de x .

- **Mediana**

Valor de la variable aleatoria que se encuentra en el centro de un conjunto de datos, su fórmula correspondería de la siguiente manera (Matus, 2003)

Fórmula para muestra par:

$$Me = \frac{\frac{x_n}{2} + \frac{x_n}{2}}{2}$$

Fórmula para muestra impar:

$$Me = x \frac{n+1}{2}$$

- **Moda**

De todos los datos, es aquel que aparece con mayor frecuencia o que se repite más veces, se presenta en la siguiente fórmula (Seoane et al., 2007)

$$Mo = fi \text{ máxima}$$

f_i máxima, quiere decir que es la de mayor frecuencia absoluta.

- **Varianza**

Esta medida de dispersión interviene el cuadrado de las desviaciones en cada puntuación calculando la sumatoria de los cuadrados de las desviaciones como indica la siguiente fórmula (Rodríguez J. , 2023):

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

- **Desviación estándar**

Medida de la dispersión de las observaciones a la media. Promedio de la distancia de las observaciones a la media, se presenta en la siguiente fórmula (Ochoa y Molina, 2018):

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

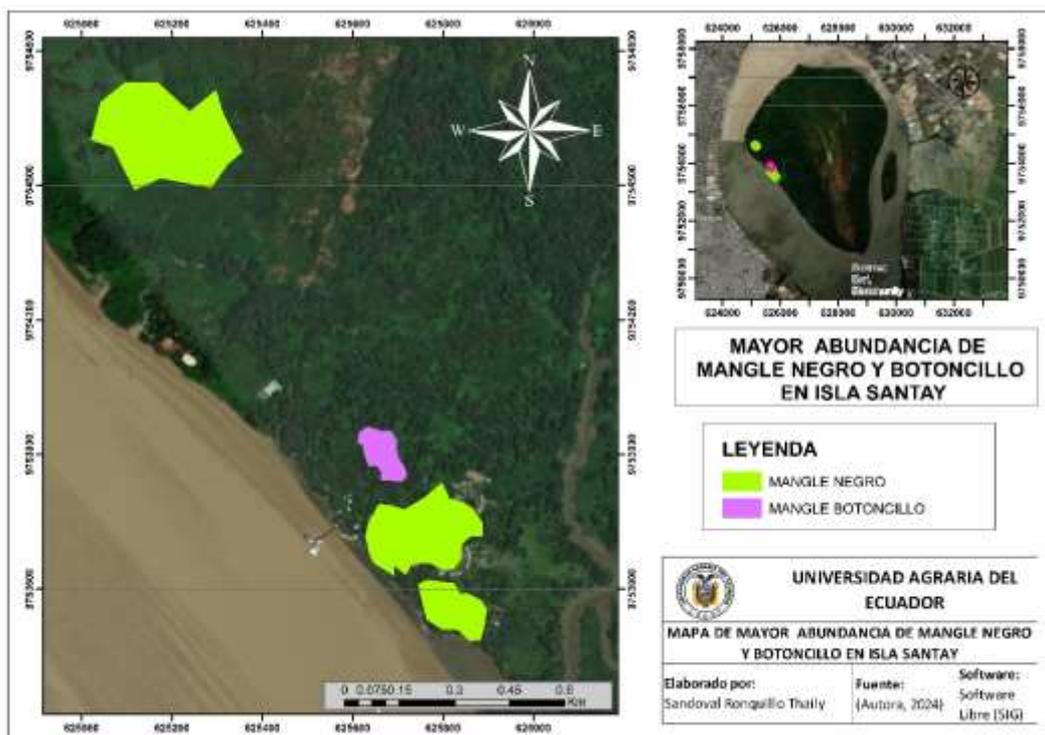
4. RESULTADOS

4.1 Determinación in situ de las zonas con mayor presencia del mangle *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* en la Isla Santay.

Se realizó el estudio de campo en diferentes áreas de la isla Santay con el apoyo del guardaparque y junto a un manual de identificación de especies de manglares para poder realizar el reconocimiento de los manglares elegidos para esta investigación guiándonos según sus características. Se determinó mayor presencia del mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) en un tramo del sendero por el que se ingresa a la Ecoaldea. El mangle negro (*Avicennia germinans*) tiene mayor cobertura en la isla, por lo que se encontraron tres zonas con mayor presencia de individuos.

Figura 3.

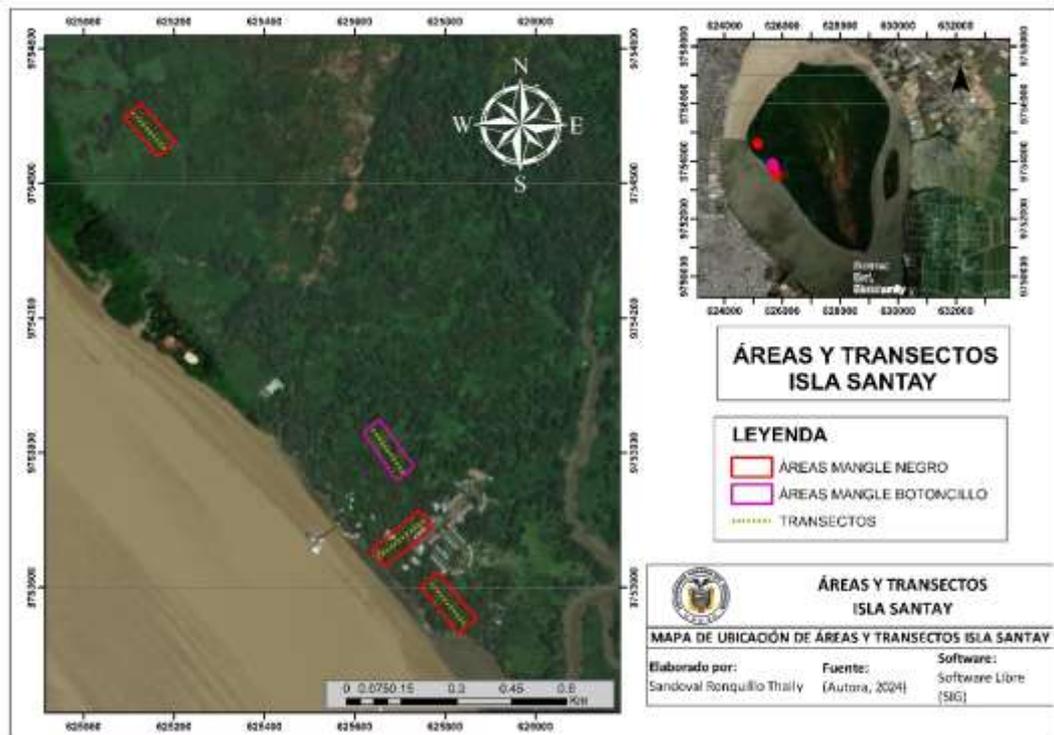
Mapa de abundancia de mangle negro y botoncillo en la Isla Santay.



Elaborado por: La Autora, 2024.

Como se observa en la figura 3 la primera zona está ubicada en una sección cercana al sendero principal de la isla, la segunda zona se ubicó a los alrededores de las cabañas de alquiler cercanas al muelle y la tercera zona se estableció en un bosque denso de esta especie ubicado cerca de la cocodrilera. Esta información fue esencial para determinar las zonas con mayor presencia de mangle botoncillo y mangle negro para posteriormente establecer los transectos.

Figura 4.
Mapa de Transectos en la Isla Santay.



Elaborado por: La Autora, 2024.

Una vez delimitada el área con mayor presencia de *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans*, se establecieron los transectos en estas zonas estratégicas, considerando un número específico de individuos por transecto. Cada transecto tuvo dimensiones de 25 m x 100 m, lo que permitió identificar un total de 40 individuos de mangle negro (*Avicennia germinans*) distribuidos en los tres transectos evaluados, y 10 individuos de mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) concentrados en un único transecto, como se muestra en la figura 4.

3.3. Concentración de carbono mediante ecuaciones alométricas del mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay.

4.2.1 Resultados de las mediciones de campo

Se determinó el Diámetro de Altura de Pecho (DAP) en centímetros y la altura total en metros de los 11 individuos del mangle negro en el transecto 1, 10 individuos del mangle negro en el transecto 2, 19 individuos del mangle negro en el transecto 3 y 10 individuos del mangle botoncillo muestreados en el transecto 4.

4.2.1.1 Diámetro de altura de pecho y altura del mangle botoncillo y mangle negro.

En las siguientes tablas se representan los valores obtenidos del diámetro a la altura del pecho de cada uno de los individuos. Además de los datos recolectados de la altura de los mangles estudiados, los cuales fueron divididos en 4 transectos.

Tabla 3.

Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle negro (*Avicennia germinans*) en el transecto 1.

N° Muestra	Coordenadas		Transecto 1	
	X	Y	DAP (cm)	Altura (m)
1	582674	9710731	35.01	12.2
2	582676	9710728	22.97	12.2
3	582672	9710727	28.19	14.1
4	582674	9710729	18.64	8.5
5	582645	9710692	26.60	15
6	582704	9710756	22.33	14.1
7	582705	9710757	26.60	12.2
8	582709	9710755	33.21	14.2
9	582708	9710755	10.55	9
10	582723	9710763	33.92	12.1
11	582702	9710738	29.92	8.7
		Prom	26.81	12.01
		Max	35.01	14.2
		Min	18.64	8.5
		Moda	26.60	12.2
		Desv. Estand.	2.91	0.83

Elaborado por: La Autora, 2024

Como se muestra en la tabla 3, el valor promedio del diámetro de altura de pecho del transecto 1 fue de 26.81 cm, con un valor máximo de 35.01 cm, un valor mínimo de 18.64 cm, una desviación estándar de 2.91 cm y una varianza de 0.21 cm. Con respecto a la altura, el promedio para este grupo fue de 12.01 m con un valor máximo igual a 14.2 m, el mínimo 8.5 m, con una desviación estándar de 0.83 m y varianza de 0.15 m.

Tabla 4.
Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle negro (*Avicennia germinans*) en el transecto 2.

N° Muestra	Coordenadas		Transecto 2	
	X	Y	DAP (cm)	Altura (m)
1	582674	9710731	31.19	10
2	582676	9710728	26.60	10.2
3	582672	9710727	26.60	10
4	582674	9710729	36.84	15
5	582645	9710692	22.52	14.9
6	582704	9710756	22.01	10.2
7	582705	9710757	27.29	14.5
8	582709	9710755	16.60	10.2
9	582708	9710755	28.19	12.3
10	582723	9710763	32.97	12.7
		Prom	27.08	12
		Max	32.97	14.9
		Min	16.60	10
		Moda	26.60	10.2
		Desv. Estand.	3.10	0.90

Elaborado por: La Autora, 2024

En la Tabla 4, se observan los datos de *Avicennia germinans* en el Transecto 2, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de 27.08 cm y una altura media de 12 m, alcanzando un DAP máximo de 32,97 cm y una altura máxima de 14,9 m. Estos valores indican una estructura de árboles de tamaño moderado, y las desviaciones estándar (3,10 cm para el DAP y 0,90 m para la altura) que reflejan uniformidad en el crecimiento de la especie en esta área. La variabilidad en el DAP y la altura puede deberse a diferencias en las condiciones ambientales y el acceso a recursos esenciales, como nutrientes y luz. Esta uniformidad moderada en el crecimiento podría indicar que los árboles en el Transecto 2 están en una fase de desarrollo similar, aunque algunos factores micro ambientales podrían estar favoreciendo el crecimiento de ciertos individuos.

Tabla 5.

Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle negro (*Avicennia germinans*) en el transecto 3.

N° Muestra	Coordenadas		Transecto 3	
	X	Y	DAP (cm)	Altura (m)
1	578989	9712314	32.40	14.6
2	579002	9712305	25.20	14.5
3	578994	9712316	30.60	13
4	579011	9712319	35.05	14.5
5	579009	9712312	25.45	16
6	578992	9712311	26.60	15.7
7	578980	9712301	28.30	14.2
8	578968	9712307	22.40	13
9	578970	9712309	33.26	14.5
10	578975	9712306	30.50	16.4
11	578963	9712316	25.20	15.7
12	578976	9712319	22.40	13.9
13	578984	9712325	28.30	16.1
14	579845	9712541	32.37	14.1
15	578695	9712685	23.18	13.8
16	579015	9712486	22.40	16.2
17	578891	9712854	31.20	14.5
18	579854	9712862	28.30	14.5
19	578965	9712681	31.94	16.5
		Prom	28.16	14.82
		Max	35.05	16.5
		Min	22.40	13
		Moda	28.30	14.5
		Desv. Estándar	3.2	1.25

Elaborado por: La Autora, 2024.

Los datos de la Tabla 5 reflejan una tendencia ligeramente superior en el crecimiento de *Avicennia germinans* en el Transecto 3, con un DAP promedio de 28.16 cm y una altura promedio de 14.82 m. Comparado con el Transecto 2, estos valores sugieren condiciones ambientales potenciales más favorables o la presencia de árboles más maduros en esta zona. El DAP máximo alcanza 35.05 cm, mientras que la altura máxima es de 16.5 m, indicando una mayor presencia de individuos de mayor tamaño y desarrollo en esta área. Las desviaciones estándar de 3.2 cm para el DAP y 1.25 m para la altura sugieren una variabilidad moderada en el crecimiento, lo cual puede estar vinculado a diferencias en factores como la disponibilidad de agua, nutrientes en el suelo y espacio para el desarrollo

de la copa. Este comportamiento puede ser indicativo de que el Transecto 3 ofrece condiciones que permiten a algunos individuos alcanzar un mayor tamaño, fortaleciendo el papel de esta zona en la contribución al secuestro de carbono y la estabilidad del ecosistema.

Tabla 6.

Datos recolectados del DAP y Altura de los árboles del mangle botoncillo (Conocarpus erectus) en el transecto 4.

N° Muestra	Coordenadas		Transecto 4	
	X	Y	DAP (cm)	Altura (m)
1	628565	9757003	8.34	4.5
2	628421	9757003	10.55	5.1
3	628286	9757003	9.30	5.0
4	628651	9757003	9.20	4.3
5	628782	9757003	9.20	5.2
6	628125	9757003	9.52	4.8
7	628365	9757003	11.10	5.2
8	628541	9757003	12.32	4.7
9	628851	9757003	9.50	3.2
10	628942	9757003	12.35	5.0
		Prom	10.13	4.7
		Max	12.35	5.2
		Min	8.34	3.2
		Moda	9.20	5.20
		Desv. Estándar	2.89	1.21

Elaborado por: La Autora, 2024

Como se muestra en la tabla 6, el valor promedio del diámetro de altura de pecho en este grupo fue de 10.13 cm, con un valor máximo de 12.35 cm, un valor mínimo de 8.34 cm, una desviación estándar de 2.89 cm y una varianza de 0.24 cm. Con respecto a la altura, el promedio para este grupo fue de 4.7 m con un valor máximo igual a 5.2 m, el mínimo 3.2 m, con una desviación estándar de 1.21 m y varianza de 0.23 m.

4.2.1.2 Biomasa total por componente (hojas, tronco, ramas).

En la tabla 7 se puede observar los resultados obtenidos mediante el cálculo de biomasa total por componente de la transecto 1 en donde se utilizaron las fórmulas de Smith y Whelan ajustadas a la especie *Conocarpus erectus*.

Tabla 7.

Biomasa aérea por componente de las especies muestreadas de mangle negro en el transecto 1.

N° Muestra	Transecto 1		
	Hojas kg	Tronco kg	Ramas kg
1	1.63	31.20	5.48
2	1.48	31.15	2.65
3	1.29	41.52	7.23
4	1.29	55.52	5.48
5	2.87	65.85	11.45
6	1.29	82.51	9.28
7	2.33	29.24	2.60
8	1.63	31.20	13.21
9	1.83	45.52	5.48
10	1.24	62.14	8.10
11	2.76	74.97	12.45
Total	22.75	550.82	64.28
Prom	1.67	50.07	7.23
Min	1.49	27.32	4.33
Max	2.67	95.62	11.48
Mediana	1.91	49.04	6.53
Moda	1.73	41.11	5.59
Desv. Estándar	0.46	19.77	2.35

Elaborado por: La Autora, 2024.

Como se muestra en la tabla 7, se estimó la biomasa en el componente hojas arrojando un resultado de 22.75 kg, con un promedio de 1.67 kg, un valor máximo de 2.67 kg y el mínimo 1.49 kg.

Por otra parte, en el componente tronco obtuvo un total de 550.82 kg, con valor promedio de 50.07 kg, el valor máximo de 95.62 kg y su valor mínimo de 27.32 kg. A su vez, con respecto al componente ramas, se obtuvo un total de 64.28 kg, un valor promedio de 7.23 kg, un máximo valor de 11.48 kg y un valor mínimo de 4.33 kg.

Tabla 8.

Biomasa aérea por componente de las especies muestreadas de mangle negro en el transecto 2.

N° Muestra	Transecto 2		
	Hojas kg	Tronco kg	Ramas kg
1	1.35	32.55	1.59
2	1.24	22.23	4.20
3	1.50	29.11	4.50
4	1.22	32.10	2.85
5	1.20	22.51	4.30
6	1.24	22.23	2.30
7	1.24	34.88	4.09
8	1.89	22.23	2.85
9	1.14	32.55	3.30
10	1.87	34.57	2.85
Total	13.89	284.96	32.83
Prom	1.38	28.49	3.28
Min	1.14	22.23	1.59
Max	1.89	34.88	4.50
Mediana	1.48	31.11	2.85
Moda	1.24	22.23	3.30
Desv. Estandar	0.45	18.76	2.32

Elaborado por: La Autora, 2024.

En la Tabla 8, se observa que el total de biomasa aérea de *Avicennia germinans* en el transecto 2 alcanzó 331.68 kg, distribuidos en hojas, tronco y ramas. Las hojas aportaron un total de 13,89 kg, con un promedio de 1,38 kg por muestra. Este valor, aunque modesto, es representativo de la capacidad foliar para contribuir a la captura de carbono. El componente tronco fue el principal contribuyente a la biomasa aérea, con un total de 284,96 kg y un promedio de 28,49 kg, lo que refleja su papel crucial en la acumulación de carbono a través de la madera. Por su parte, las ramas contribuyeron con 32,83 kg, alcanzando un promedio de 3,28 kg, lo que, aunque menor en proporción, sigue siendo un componente esencial del almacenamiento de biomasa total.

La variabilidad en los valores de biomasa entre muestras muestra diferencias en el desarrollo de los árboles. El valor máximo para el tronco alcanzó 34.88 kg, mientras que el mínimo fue de 22.23 kg, lo que indica heterogeneidad en el tamaño y la edad de los individuos dentro de la parcela. Estas diferencias pueden estar

influenciadas por condiciones micro ambientales como la densidad de árboles, disponibilidad de nutrientes y variaciones en la luz solar. El estudio resalta la importancia del tronco como el componente principal en el almacenamiento de biomasa, lo cual subraya su relevancia para la gestión de carbono en los manglares.

Tabla 9.

Biomasa aérea por componente de las especies muestreadas de mangle negro en el transecto 3.

N° Muestra	Transecto 3		
	Hojas kg	Tronco kg	Ramas kg
1	2.25	25.50	3.15
2	1.64	32.40	5.25
3	2.80	50.10	6.43
4	1.20	80.24	8.16
5	2.50	30.32	4.20
6	1.64	46.15	5.25
7	2.54	32.40	3.12
8	1.62	43.54	4.36
9	1.19	26.10	7.34
10	2.20	52.13	9.15
11	1.64	76.12	11.25
12	1.32	81.34	3.47
13	2.62	90.16	3.32
14	1.75	55.13	5.25
15	1.89	32.40	3.90
16	1.64	30.10	4.28
17	1.64	95.15	6.90
18	2.10	72.20	8.16
19	1.90	41.10	4.21
Total	36.08	992.58	107.15
Prom	1.89	52.24	5.63
Min	1.19	25.50	3.12
Max	2.80	95.15	11.25
Mediana	1.98	52.04	7.18
Moda	1.64	41.11	5.59
Desv. Estándar	0.46	19.77	2.35
Co. Variación	3.59	1.98	2.25

Elaborado por: La Autora, 2024.

Como se muestra en la tabla 9, se estimó la biomasa en el componente hojas arrojando un resultado de 36.08 kg, con un promedio de 1.89 kg, un valor máximo de 2.80 kg y el mínimo 1.19 kg.

Por otra parte, en el componente tronco obtuvo un total de 992.58 kg, con valor promedio de 52.24 kg, el valor máximo de 95.15 kg y su valor mínimo de 25.50 kg. A su vez, con respecto al componente ramas, se obtuvo un total de 107.15 kg, un valor promedio de 5.63 kg, un máximo valor de 11.25 kg y un valor mínimo de 3.12 kg.

4.2.1.3 Biomasa aérea total.

Tabla 10.

Biomasa aérea total transecto 1 Avicennia germinans

N° Muestra	Transecto 1
	Biomasa aérea total (kg)
1	390.36
2	172.78
3	256.73
4	115.35
5	229.47
6	163.58
7	229.47
8	352.48
9	38.37
10	367.20
11	288.07
Total	2603.86
Prom	236.71

Elaborado por: La Autora, 2024.

La tabla 10 muestra la biomasa aérea total en un transecto de *Avicennia germinans*, con un promedio de 236.71 kg por muestra. Este promedio representa la cantidad media de biomasa aérea en la parcela y sugiere un nivel moderado de acumulación de biomasa para esta especie en ese espacio específico.

Existe una variabilidad considerable entre las muestras, con valores que van desde 115.35 kg hasta 352.48 kg. Esta dispersión sugiere que ciertas áreas de la parcela podrían tener árboles más grandes o una mayor densidad de vegetación, mientras que otras presentan menos biomasa, posiblemente por diferencias en factores ambientales o de crecimiento local.

El total de biomasa para las 11 muestras es de 2603.86 kg, un valor que aporta información útil para estimaciones más amplias de biomasa en la zona de estudio. La presencia de muestras con valores significativamente altos, como las muestras 1 y 10, resalta la importancia de investigar las causas de estas variaciones, ya que podrían estar vinculadas a factores específicos del transecto que afectan el crecimiento de *Avicennia germinans*.

Tabla 11.

Biomasa aérea total transecto 2.

N° Muestra	Transecto 2
	Biomasa aérea total (kg)
1	312.19
2	229.47
3	229.47
4	430.78
5	166.29
6	159.08
7	241.12
8	229.47
9	256.73
10	347.56
Total	2 602.16
Prom	26.22

Elaborado por: La Autora, 2024

La Tabla 11 presenta la biomasa aérea total de *Avicennia germinans* en el transecto 2, con un total de 2 602.16 kg y un promedio de 26.22 kg por muestra. Los valores de biomasa en esta parcela varían notablemente, con el valor más bajo en la muestra 6 (159.08 kg) y el valor más alto en la muestra 4 (430.78 kg). Esta variabilidad sugiere diferencias en la estructura de la vegetación o factores específicos del suelo y el entorno dentro de la parcela, que podrían influir en el crecimiento y acumulación de biomasa de cada muestra.

La variabilidad de biomasa en la parcela 2 refleja una dispersión significativa, con algunas muestras que superan ampliamente el promedio (como la muestra 4) y otras que están por debajo de este valor. Esto indica la importancia de considerar las diferencias locales al estimar la biomasa total y, en consecuencia, la capacidad

de captura de carbono en el área de estudio, ya que la distribución de la biomasa podría afectar la precisión en las estimaciones de carbono para esta especie.

Tabla 12.

Biomasa aérea total transecto 3.

N° Muestra	Transecto 3
	Biomasa aérea total (kg)
1	336.04
2	206.68
3	300.87
4	391.22
5	210.66
6	229.46
7	258.67
8	164.58
9	353.51
10	298.97
11	206.68
12	164.58
13	258.67
14	335.44
15	175.84
16	164.58
17	312.38
18	258.67
19	326.87
Total	4954.37
Prom	260.75

Elaborado por: La Autora, 2024.

La Tabla 12 muestra los datos de biomasa aérea para el transecto 3, donde el total es de 4954.37 kg, con un promedio de 260.75 kg por muestra. A diferencia de la parcela 2, aquí se observa una mayor acumulación de biomasa total, posiblemente debido a una mayor densidad de árboles o a condiciones favorables de crecimiento en esta parcela. La variabilidad es amplia, con valores que van desde 154.58 kg (muestra 10) hasta 353.51 kg (muestra 9), lo que refleja también condiciones diferenciadas de crecimiento.

La biomasa promedio en el transecto 3 es cercana al transecto 2, aunque con una distribución más uniforme entre las muestras. La presencia de varios

valores altos sugiere que esta parcela tiene un potencial considerable para la captura de carbono. Estos datos permitirán evaluar la capacidad de *Avicennia germinans* en diferentes transectos y compararla con la capacidad de otras especies, como indica uno de tus objetivos específicos.

Tabla 13.
Biomasa aérea total transecto 4.

N° Muestra	Transecto 4
	Biomasa aérea total (kg)
1	24.35
2	38.36
3	30.06
4	29.44
5	29.44
6	31.45
7	42.33
8	51.78
9	31.33
10	52.04
Total	360.58
Prom	36.05

Elaborado por: La Autora, 2024.

Al analizar la Tabla 13 de biomasa aérea total en el transecto 4 de *Avicennia germinans*, el total de biomasa es de 360.58 kg, con un promedio de 36.05 kg por muestra. Este promedio es notablemente más bajo en comparación con los otros transectos, lo que sugiere que los árboles en esta parcela presentan un menor desarrollo en términos de biomasa. Las posibles causas de esta diferencia podrían estar relacionadas con factores ambientales específicos de esta parcela, como la disponibilidad de nutrientes, el nivel de humedad del suelo o la exposición a la luz solar, que podrían estar limitando el crecimiento de los árboles.

Además, la variabilidad en la biomasa entre las muestras es baja, con valores que van desde 24.25 kg hasta 52.04 kg. La distribución de biomasa en esta parcela es relativamente homogénea, lo que indica que la mayoría de los árboles tienen un tamaño similar. Esta uniformidad en la biomasa también sugiere que la

capacidad de este transecto para capturar carbono será proporcionalmente baja en comparación con los otros transectos, donde la biomasa es mayor.

4.2.1.4 Estimación de carbono capturado.

Tabla 14.

Captura de carbono (kg) del transecto 1 del mangle A. germinans.

N° Muestra	Transecto 1
	Captura de carbono (kg)
1	179.56
2	79.48
3	118.09
4	53.06
5	105.55
6	75.24
7	105.55
8	162.14
9	17.65
10	168.91
11	132.51
Total	1 197.74
Prom	108.88
Max	179.56
Min	17.65
Mediana	105.55
Moda	105.55
Desv. Estándar	50.53

Elaborado por: La Autora, 2024.

La Tabla 14 refleja la captura de carbono en el transecto 1 de *Avicennia germinans*, con un total de 1197.74 kg y un promedio de 108.88 kg por muestra. El valor máximo de captura fue de 179.56 kg y el mínimo de 17.65 kg, con una moda y mediana de 105.55 kg. Esta variabilidad, con una desviación estándar de 50.53, sugiere diferencias significativas en la capacidad de los árboles para almacenar carbono dentro de la misma parcela, posiblemente influenciada por factores como la edad de los árboles y las condiciones del suelo en áreas específicas.

Tabla 15.
Captura de carbono (kg) del transecto 2 del mangle *A. germinans*.

N° Muestra	Transecto 2
	Captura de carbono (kg)
12	143.60
13	112.55
14	112.55
15	198.15
16	76.49
17	73.17
18	110.91
19	112.55
20	118.09
21	159.87
Total	1 217.93
Prom	121.793
Max	198.15
Min	73.17
Mediana	112.55
Moda	112.55
Desv. Estándar	37.35

Elaborado por: La Autora, 2024.

La Tabla 15 detalla la captura de carbono en el transecto 2 de *Avicennia germinans*, con un total de 1217.93 kg de carbono y un promedio de captura por muestra de 121.79 kg. El valor máximo de captura es de 198.15 kg y el mínimo de 73.17 kg, lo que indica que existe una variabilidad notable en la capacidad de almacenamiento de carbono entre los árboles de esta parcela. Esta dispersión, aunque significativa, es menor que la observada en la parcela 1, lo cual se refleja en una desviación estándar de 37.35, lo que sugiere una mayor uniformidad en las características de los árboles.

La moda y la mediana, ambas de 112.55 kg, indican que la mayoría de los valores de captura de carbono en este transecto están cercanos al promedio, sugiriendo una distribución relativamente consistente. Esta homogeneidad en los valores podría estar relacionada con condiciones ambientales o estructurales más estables en esta parcela, que facilitan un desarrollo similar entre los árboles y, por ende, una capacidad de captura de carbono más uniforme.

Tabla 16.

Captura de carbono (kg) del transecto 3 del mangle *A. germinans*.

N° Muestra	Transecto 3
	Captura de carbono (kg)
22	154.57
23	95.07
24	138.40
25	179.96
26	96.90
27	105.55
28	118.98
29	75.70
30	162.61
31	137.52
32	95.07
33	75.70
34	118.98
35	154.30
36	80.88
37	75.70
38	143.69
39	118.98
40	150.36
Total	2 278.92
Prom	119.94
Max	179.9
Min	75.70
Mediana	118.98
Moda	75
Desv. Estándar	31.89

Elaborado por: La Autora, 2024.

La Tabla 16 presenta la captura de carbono en el transecto 3 de *Avicennia germinans*, con un total acumulado de 2 278.92 kg y un promedio de 119.94 kg por muestra. Los valores de captura de carbono en este transecto muestran un rango amplio, con un máximo de 179.96 kg y un mínimo de 75.70 kg. Este rango de variación sugiere que existen diferencias notables en la capacidad de captura de carbono entre los árboles, posiblemente influenciadas por factores como la edad y el tamaño de los árboles, así como las condiciones ambientales en distintas áreas de la parcela.

La mediana de 118.98 kg y la moda de 75 kg indican que la mayoría de los valores de captura de carbono están distribuidos alrededor de estos puntos, lo que sugiere una ligera tendencia hacia los valores inferiores del rango, aunque el promedio general es mayor. La desviación estándar de 31.89 kg refleja una dispersión moderada en los datos, indicando cierta variabilidad entre los árboles en términos de su capacidad de almacenar carbono.

Tabla 17.

Captura de carbono (kg) del transecto 4 del mangle *C. erectus*.

N° Muestra	Transecto 4
	Captura de carbono (kg)
1	11.20
2	17.64
3	13.82
4	13.54
5	13.54
6	14.46
7	19.47
8	23.81
9	14.41
10	23.93
Total	165.82
Prom	16.58
Max	23.93
Min	11.20
Mediana	14.44
Moda	13.0
Desv. Estándar	4.24

Elaborado por: La Autora, 2024.

La Tabla 17 refleja la captura de carbono en la parcela 4 de *Conocarpus erectus*, con un total acumulado de 165.82 kg y un promedio de captura de carbono por muestra de 16.58 kg. Los valores varían desde un mínimo de 11.20 kg hasta un máximo de 23.93 kg, lo que indica una distribución moderadamente dispersa de la captura de carbono entre los árboles en esta parcela.

La mediana de 14.44 kg y la moda de 13.0 kg sugieren una tendencia de los valores de captura de carbono hacia el rango inferior del conjunto de datos, aunque existen muestras con capturas significativamente más altas. La desviación estándar de 4.24 kg refuerza esta variabilidad, reflejando una cierta heterogeneidad en la capacidad de los árboles para capturar carbono.

4.2.1.5 Captura de carbono de las especies *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*.

La estimación total de captura de carbono en las especies *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* en el área de estudio representa una medida importante de la contribución de estas especies al almacenamiento de carbono atmosférico, lo que resulta esencial para la mitigación del cambio climático. Mediante el uso de ecuaciones alométricas y muestreos de biomasa aérea, las Tablas 18 y 19 reflejan los valores obtenidos de carbono capturado en cada especie, permitiendo una comparación precisa de su eficiencia en el secuestro de carbono dentro del ecosistema de manglar en la Isla Santay.

Tabla 18.

Estimación de captura de carbono total en la especie *Avicennia germinans*.

	Transecto (A.G) 1	Transecto (A.G) 2	Transecto (A.G) 3	Totales
No. Arboles	11	10	19	40
Promedio DAP (cm)	26.81	27.08	28.16	92.18
Promedio Altura (m)	12.01	12	14.82	43.53
Biomasa Hojas (kg)	22.75	13.89	36.08	72.72
Biomasa Tronco(kg)	550.82	284.96	992.58	1828.3
Biomasa Ramas (kg)	64.28	32.83	107.15	204.2
Biomasa Total Aérea	2603.86	2602.16	4954.37	10160.39
Carbono total almacenado (Kg C)	1197.74	1217.93	2278.92	4694.59

Elaborado por: La Autora, 2024.

Los datos de la Tabla 19 muestran que la especie *Avicennia germinans* tiene una significativa capacidad de captura de carbono, alcanzando un total de 4694.59 kg en tres transectos estudiadas. Esto se distribuye proporcionalmente a la biomasa total aérea de los componentes hojas, tronco y ramas, siendo el tronco el mayor contribuyente con 1828.3 kg de biomasa. La altura promedio de los árboles (43,53

m en total) y el diámetro a la altura del pecho (DAP 92,18 cm en promedio) reflejan un desarrollo avanzado en términos estructurales. Este comportamiento sugiere que las condiciones ambientales en los transectos evaluados son favorables para el crecimiento, destacando su papel como sumideros de carbono eficientes en la Isla Santay.

Tabla 19.

Estimación de captura de carbono total en la especie *Conocarpus erectus*.

	Transecto (C.E) 4
No. Arboles	10
Promedio DAP (cm)	10,13
Promedio Altura (m)	4.7
Biomasa Hojas (kg)	19.27
Biomasa Tronco(kg)	289.44
Biomasa Ramas (kg)	38.81
Biomasa Total Aérea	360.58
Carbono total almacenado (Kg C)	165.82

Elaborado por: La Autora, 2024

En contraste, la Tabla 19 evidencia una capacidad menor de captura de carbono para *Conocarpus erectus*, con un total de 165,82 kg almacenados en una parcela. La biomasa aérea total es de 360,58 kg, donde el tronco nuevamente aporta la mayor parte (289,44 kg). Las dimensiones estructurales promedio, con una altura de 4.7 m y un DAP de 10.13 cm, revelan un tamaño inferior en comparación con *Avicennia germinans*. Estas diferencias pueden atribuirse a las condiciones locales, como el tipo de suelo o la densidad de la especie. Aunque *Conocarpus erectus* muestra una contribución más limitada, sigue siendo un componente valioso del ecosistema en términos de secuestro de carbono.

3.4. Comparación de la capacidad de absorción de carbono captado por el *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans* con otras especies de mangle.

La comparación de la capacidad de absorción de carbono entre *Conocarpus erectus*, *Avicennia germinans* y otras especies de mangle es crucial para identificar aquellas que contribuyen significativamente al secuestro de carbono. Este análisis no solo ayuda a entender las diferencias entre especies, sino que también resalta el papel de los manglares como sumideros de carbono en la mitigación del cambio climático.

En este estudio, se analizaron 0.5 hectáreas de manglar como muestra representativa, y los resultados obtenidos fueron simulados en un área mayor de 250.74 hectáreas. Este enfoque permitió estimar con mayor precisión el impacto de las diferentes especies en la captura de carbono a nivel ecosistémico, ofreciendo una visión más completa del comportamiento de cada una en un contexto más amplio. En el área simulada, se encontraron individuos de *Conocarpus erectus*, *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, lo cual facilitó la comparación de la eficiencia de cada especie en términos de carbono capturado.

Tabla 20.

Estimación de la captura de carbono de diferentes especies de mangles.

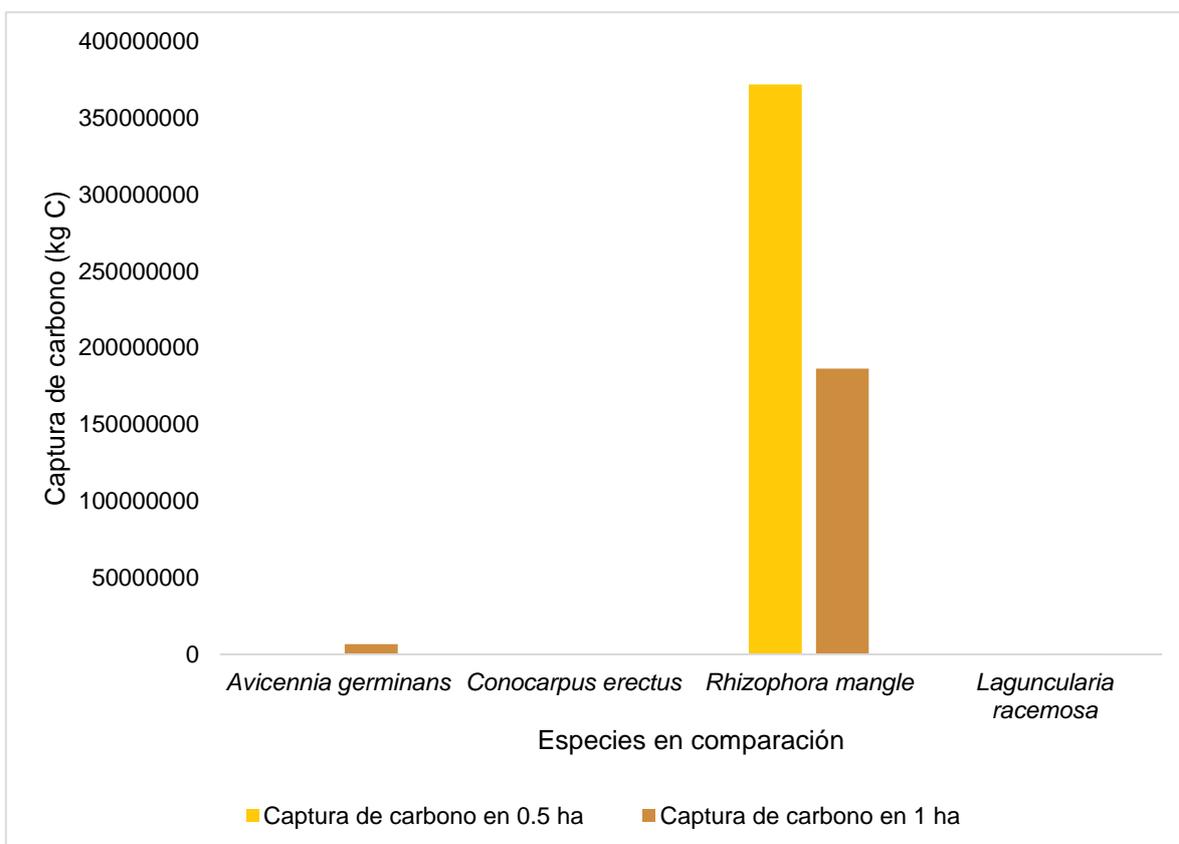
Especies en comparación	Fuente	Superficie (ha)	Número de individuos	Captura de carbono (kg C)
<i>Avicennia germinans</i>	(Autora, 2024)	0.5	110	12 909.6
		250.74	55 162.8	6 473 906.20
<i>Conocarpus erectus</i>	(Autora, 2024)	0.5	22	365.76
		250.74	11 032.56	182 919.84
<i>Rhizophora mangle</i>	(Pita, 2022)	0.5	30	371 906 257.8
		250.74	15 044.4	186 503 550.1
<i>Laguncularia racemosa</i>	(Andrade, 2022)	0.5	27	772.77
		250.74	13 540	387 529.84

Elaborado por: La Autora, 2024

La Tabla 20 revela que *Avicennia germinans*, con una capacidad de almacenamiento de 6 473 906.20 kg de carbono en el área simulada, supera notablemente en retención de carbono a *Conocarpus erectus*, que almacena 182 919.84 kg. Esta diferencia significativa sugiere que las características estructurales y el tamaño de *Avicennia germinans* favorecen una mayor acumulación de biomasa y, en consecuencia, una mayor capacidad de captura de carbono. En comparación con otras especies, como *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* destaca con una capacidad de 186 503 550.1 kg, lo que la convierte en una especie clave para el secuestro de carbono en los manglares de la Isla Santay.

Figura 4.

Gráfica comparativa de las distintas especies de mangles en cuanto a la Captura de Carbono.



Elaborado por: La Autora, 2024

La Figura 4 confirma estos hallazgos de manera visual, evidenciando que *Rhizophora mangle* presenta la mayor capacidad de absorción de carbono, seguida de *Avicennia germinans*. Sin embargo, los datos revelan que el mangle negro (*Avicennia germinans*) capta menos del 10% del carbono en comparación con el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), lo que llevó al rechazo de la hipótesis planteada inicialmente. Esta representación gráfica destaca la significativa diferencia entre ambas especies y *Conocarpus erectus*, cuya capacidad de almacenamiento es considerablemente menor en comparación. Estos resultados subrayan la necesidad de priorizar la conservación y el desarrollo de especies con alta eficiencia en la captura de carbono, como *Rhizophora mangle*, para optimizar los beneficios ecosistémicos relacionados con la mitigación del cambio climático.

5. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio confirman la mayor capacidad de captura de carbono del mangle negro (*Avicennia germinans*) frente al mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), lo cual valida su papel como sumidero clave en los ecosistemas de manglar. Sin embargo, al compararlos con los datos de *Rhizophora mangle*, se evidencia que *A. germinans* no alcanza los niveles de captura de carbono registrados para esta especie, lo que llevó al rechazo de la hipótesis planteada. Vera (2019) y Cruz (2023) encontraron que *R. mangle* acumula hasta un 30% más de carbono en biomasa y suelos que *A. germinans*, una diferencia que se atribuye a su estructura más robusta y adaptaciones morfológicas específicas para entornos intermareales. Este hallazgo subraya la importancia de incluir a *R. mangle* en estrategias de conservación enfocadas en maximizar la mitigación del cambio climático.

El desarrollo del sistema radicular de *A. germinans*, compuesto por neumatóforos, facilita la acumulación de carbono orgánico en el suelo, un comportamiento coherente con lo reportado por Ugas et al. (2021), quienes observaron que los suelos dominados por esta especie presentan mayores concentraciones de carbono en comparación con los suelos de *C. erectus*. Además, este estudio coincidió con los hallazgos de Núñez et al. (2019), quienes destacaron que los suelos con *A. germinans* tienen un ciclo más dinámico de captura y liberación de carbono en forma de CO₂, lo que contribuye a la regeneración constante del recurso en los ecosistemas de manglar.

Por su parte, aunque *C. erectus* mostró una capacidad limitada de captura de carbono en comparación con *A. germinans* y *R. mangle*, mantiene una proporción equilibrada entre sus partes aéreas y subterráneas, como indicaron González y Andrade (2024). Este equilibrio fue confirmado en este estudio, pero su menor densidad de madera y tamaño general restringen su contribución al almacenamiento de carbono, tal como lo señalaron Escobar (2020) y Molina (2018). No obstante, *C. erectus* cumple un rol complementario en el ecosistema al ocupar espacios donde otras especies tienen menor éxito, favoreciendo así la biodiversidad y estabilidad del manglar.

La comparación espacial realizada en este estudio permitió identificar patrones interesantes en la distribución de estas especies. *A. germinans* domina

áreas más cercanas a cuerpos de agua principales, adaptándose a niveles más altos de salinidad y anoxia, mientras que *C. erectus* prospera en zonas periféricas con menor salinidad. Este patrón coincide con las observaciones de Vera (2019), quien enfatizó que la coexistencia de especies con diferentes nichos ecológicos refuerza la resiliencia del ecosistema ante perturbaciones externas, como las asociadas al cambio climático o actividades humanas.

El análisis detallado también destacó que *R. mangle* es la especie con mayor eficiencia en la captura de carbono, acumulando hasta un 30% más de carbono que *A. germinans* y un 40% más que *C. erectus*, tal como reportaron Cruz (2023) y Molina (2018). Esto refuerza la necesidad de priorizar su conservación en áreas protegidas como la Isla Santay, ya que su papel en la mitigación del cambio climático es inigualable.

Asimismo, los resultados de este estudio concuerdan con lo reportado por Molina (2018) y Ugas et al. (2021),, quienes destacaron que los manglares tienen una capacidad significativamente mayor de almacenamiento de carbono en comparación con otros ecosistemas terrestres. En este contexto, las adaptaciones específicas de *A. germinans* y *R. mangle* para entornos costeros son esenciales para mantener esta ventaja ecológica. Sin embargo, el papel de *C. erectus* no debe ser subestimado, ya que su presencia contribuye al mosaico de especies que caracteriza a los manglares y asegura la funcionalidad integral del ecosistema.

Este estudio subraya la importancia de adoptar enfoques de conservación integrales que consideren no solo a las especies con mayor capacidad de captura, como *A. germinans* y *R. mangle*, sino también a especies complementarias como *C. erectus*. La diversidad de especies aumenta la resiliencia del ecosistema frente a amenazas como la urbanización, la contaminación y el cambio climático. Además, los hallazgos de esta investigación ofrecen una base sólida para formular políticas públicas y estrategias de manejo sostenible en la Isla Santay y otros ecosistemas costeros similares. Estas acciones son fundamentales para maximizar los beneficios ecosistémicos de los manglares, desde la captura de carbono hasta la protección de la biodiversidad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que las zonas con mayor presencia de *Avicennia germinans* se encuentran predominantemente en áreas con altos niveles de salinidad y sedimentación, debido a su cercanía con las orillas del estero mientras que *Conocarpus erectus* predomina en suelos con mejor oxigenación y menor saturación hídrica al estar más alejado del área costera. El estudio de campo en la Isla Santay permitió identificar y delimitar las zonas con mayor presencia de las especies de manglar seleccionadas para la investigación, gracias al apoyo del guardaparque y al uso de un manual de identificación. Se evidencia que el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) presenta mayor abundancia en un tramo del sendero hacia la Ecoaldea, mientras que el mangle negro (*Avicennia germinans*) domina la cobertura vegetal de la isla, con concentraciones significativas en tres zonas específicas: una próxima al sendero principal, otra alrededor de las cabañas cercanas al muelle, y una tercera en el bosque denso cercano a la cocodrilera. Estas diferencias reflejan las adaptaciones específicas de cada especie a las condiciones ambientales de la Isla Santay.

Respecto a la captura de carbono, las ecuaciones alométricas determinan que *A. germinans* almacena un promedio de 12 909.6 kilogramos de carbono por media hectárea, mientras que *C. erectus* acumula 365.76 kilogramos de carbono en media hectárea. Esto confirma que *A. germinans* tiene una mayor captación de carbono que el mangle *C. erectus* y una captación menor al 10% del carbono en comparación con el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), lo que llevó al rechazo de la hipótesis planteada. Esta ventaja está relacionada con su mayor biomasa aérea y densidad de madera, así como con su sistema radicular, que favorece la acumulación de carbono en el suelo.

Al comparar la capacidad de absorción de carbono con otros estudios realizados en manglares ecuatorianos, *Rhizophora mangle* se posiciona en el rango superior, con promedios de captura de carbono por hectárea significativamente mayores en comparación con otras especies. Aunque *Avicennia germinans* es el segundo manglar más predominante, no supera los valores registrados por *Rhizophora mangle*. Por su parte, *Conocarpus erectus* muestra una capacidad de captación considerablemente menor de tan solo 365.76 kilogramos de carbono por

cada 0,5h en comparación con las dos especies mencionadas. Sin embargo, su contribución sigue siendo relevante, ya que incluso una captación moderada de carbono aporta al equilibrio ecosistémico. Estos resultados destacan la importancia de conservar todas las especies estudiadas como componentes esenciales para mantener la resiliencia y funcionalidad de los manglares en la Isla Santay frente al cambio climático.

6.2 Recomendaciones

Optimizar la identificación de zonas con mayor presencia de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, se recomienda realizar monitoreos anuales utilizando drones y sistemas de información geográfica (SIG). Estas herramientas permitirán mapear con mayor precisión la distribución espacial de ambas especies, registrando datos como densidad, altura y diámetro de los árboles. Además, se sugiere complementar esta información con análisis de calidad del suelo y salinidad, lo que facilitará la toma de decisiones para conservar y restaurar las áreas más vulnerables.

Ampliar el muestreo en transectos adicionales dentro de la Isla Santay, abarcando áreas no exploradas previamente. La implementación de tecnologías avanzadas, como el escaneo LiDAR, mejorará la precisión en la estimación de biomasa y carbono almacenado. Asimismo, es recomendable estandarizar las metodologías de medición con base en las ecuaciones alométricas más recientes y adaptadas a las condiciones locales, asegurando así la comparabilidad de los datos a nivel nacional e internacional.

Finalmente, para fortalecer la comparación de las capacidades de captura de carbono con otras especies de manglar, se sugiere realizar estudios integrales que incluyan mediciones de carbono en suelo, hojarasca y necromasa. También sería útil analizar la interacción entre *A. germinans*, *C. erectus* y otras especies presentes en el ecosistema, considerando factores como calidad del agua y disponibilidad de nutrientes. Estos estudios permitirán desarrollar estrategias de manejo y conservación más efectivas, promoviendo la sostenibilidad del ecosistema de manglar en la Isla Santay.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. O., Jaramillo, J. E., y Abril, B. H. (2016). Estimación de emisiones de GEI (CO₂ y CH₄) generadas durante el transporte de gas natural en Colombia, aplicando metodología IPCC. *Dialnet*, 11(2), 43-51.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4811195.pdf>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, [EPA]. (30 de Mayo de 2024). *Emisiones de dióxido de carbono*. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Aldana, G. P. (2017). *Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación* (Primera edición ed.). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2017.-Cambio-Clim%C3%A1tico-Selecci%C3%B3n-clasificaci%C3%B3n-y-dise%C3%B1o-de-medidas-de-adaptaci%C3%B3n.-IMTA.pdf>
- Andrade, Y. J. (2022). *Determinación de la captura de carbono del mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) mediante ecuaciones alométricas en la isla santay. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador].*
- Avalos, J. E. (2010). *Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México*.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v36n2/v36n2a4.pdf>
- Aviña, H. R. (2023). *Estimación del almacenamiento de carbono azul en humedales de Baja California Sur a partir de datos in situ e imágenes aéreas. [Tesis doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste]*. La Paz. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3174>
- Bárcena, A., Smaniego, J., Peres, W., y Alatorre, J. E. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latinael Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/68d30fbe-9c44-4848-867f-59bbdec62992/content>
- Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra.

- Revista digital Universitaria*, 8(10), 1-12.
https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf
- Carbajal, A., Rodríguez, R., Ávila, C. L., Rodríguez, H. A., y Hernández, C. H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta universitaria*, 27(5), 55- 61. <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v27n5/2007-9621-au-27-05-55.pdf>
- Castro, A. G. (2023). *Análisis del Potencial de captura de carbono por la especie Rhizophora mangle en el Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Trabajo de titulación, Guayaquil.
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CASTRO%20ALVARADO%20JENNIFER%20GABRIELA.pdf>
- Chivelet, M. J. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. (A. E. Tierra, Ed.) *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(1), 33-46.
<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/638fb437-0a3d-4dca-af35-d0daee3a9621/content>
- CONABIO. (30 de Junio de 2021). *Biodiversidad mexicana*. Manglares:
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>
- Cruz, Z. M. (2023). *Secuestro de carbono de los manglares de la comuna Valdivia y la comuna Olón para su valoración bioeconómica*. [Tesis de grado; Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Facultad de Ciencia del Mar, La Libertad.
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9633/1/UPSE-TBI-2023-0006.pdf>
- Escobar, R. M. (2020). *Determinación de la existencia de carbono azul en el bosque de manglar en playa dorada y barra salada; Sonsonate, El Salvador, de Julio a Diciembre de 2019*. [Tesis de grado; Universidad de El Salvador]. Santa Ana, El Salvador.
<https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/0cafd025-af99-4d89-9416-a56cb93bee2b/content>
- Fourqurean, J., Johnson, B., Bone, K. J., Kennedy, H., Lovelock, C., Megonigal, P. J., . . . Somard, M. (2019). *Carbón Azul. Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos*. The Blue Carbon initiative.
<https://static1.squarespace.com/static/5c7463aaa9ab95163e8c3c2e/t/5cc2c>

70a4192024d631a03c1/1556268833541/Spanish_CarbonoAzul_LR_19032
5.pdf

- González, M. K., y Andrade, J. L. (2024). El mangle negro, el árbol más salado. (R. d. Duno, P. P. Rivera, y I. L. Can, Edits.) *Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.*, 16, 68-71.
https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2024/2024-04-11-KGonzalez-El-mangle-negro.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, [IPCC]. (2007). Cambio Climático 2007: Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. (M. Parry, O. Canziani, Palutikof, P. v. Linden, y C. Hanson, Edits.) *Cambridge University Press*. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/spms2.html
- Guerrero, G. A. (29 de Agosto de 2019). *iNaturalistEc*. Mangle Botoncillo (Conocarpus erectus): <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/62850-Conocarpus-erectus>
- Ibañez, G. I., y Urango, V. M. (2019). *Reserva de carbono azul en plántulas de mangle en la bahía de cispata. [Tesis de grado, Universidad de Córdoba]*. Colombia.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/017ded4c-5ff9-426b-a02a-c39a993eedaf/content>
- INEC. (2023). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Censo Ecuador: <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- INECC-PNUD. (2017). *Estudio para la identificación, caracterización y evaluación del balance entre las emisiones de GEIs y las zonas de captura y almacenamiento de carbono en zonas de ecosistemas costero/marinos del Pacífico, Golfo de México y la Península de Yucatán*. México: Programa Mexicano del Carbono.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/444387/CGACC_2017_Balance_entre_las_emisiones_de_GEIs_y_las_zona_de_captura_y_almacenamiento_de_carbono_en_zonas_de_ecosistemas_costero-marinos_del_Pacifico_Golfo_de_Mexico_y_Yucatan.pdf
- Kauffman, J., Doanto, D., y Adame, M. F. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. *Center for International Forestry Research (CIFOR)*(117), 1-48.

- https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/WPapers/WP117Kauffman.pdf
- Matus, P. J. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial I Fascículo 2. Medidas de tendencia central*. Estadística Descriptiva e inferencial I. https://www.academia.edu/36288389/ESTADÍSTICA_DESCRIPTIVA_E_INFERENCIAL_I_FASCÍCULO_2._MEDIDAS_DE_TENDENCIA_CENTRAL
- Ministerio del ambiente, [MINAM]. (2015). *Inventario y Evaluación de los bosques de las cuencas de los ríos Itaya, Nanay y Tahuayo - Lotero* (Primera ed.). (V. y. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Ed.) Lima, Perú. <https://doi.org/https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/113?show=full>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, [MAATE]. (2015). *Proyecto de recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaquil: Estero Salado e Isla Santay*. Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/ESTERO-SALADO.pdf>
- Molina, S. L. (2018). *Potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México*. [Tesis maestra, Universidad Veracruzana]. <https://www.uv.mx/pozarica/mmemc/files/2020/02/LuisAlbertoSantiagoMolina.pdf>
- Morales, C. J. (2021). *Determinación de secuestro de carbono por Terminalia catappa L. (especie exótica) mediante la aplicación de ecuaciones alométrica en la Isla Santay*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Guayaquil. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORALES%20CONSUEGRA%20JANDRY%20MARTIN.pdf>
- Naciones Unidas. (22 de Septiembre de 2019). *Noticias ONU*. Esto es lo que dicen los científicos: el cambio climático llega antes y más fuerte de lo previsto: <https://news.un.org/es/story/2019/09/1462482>
- Núñez, R. F., Ugas, P. M., Quiroz, D., Vásquez, B., y Darianis, B. (2019). Flujo de CO₂ en suelos dominados por manglares *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. *Revista Geográfica Venezolana*, 60(2), 284-299. <https://www.redalyc.org/journal/3477/347766130003/html/>

- Núñez, R. F., y Ugas, P. M. (2018). Caracterización fisionómica del manglar de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* emplazado en la Laguna de Unare, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 24(55), 193- 208.
<https://www.redalyc.org/journal/721/72156172015/72156172015.pdf>
- Ochoa, S. C., y Molina, A. M. (2018). Estadística. Tipos de variables. Escalas de medida. *Fundamentos de Medicina Basada en la Evidencia*, 14(2).
<https://evidenciasenpediatria.es/articulo/7307/estadistica-tipos-de-variables-escalas-de-medida>
- Ordóñez, O. G., y Bayona, M. R. (2019). Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Universidad Nacional*, 11(2), 134-154.
<https://doi.org/10.15359/revmar.11-2.8>
- Organización Meteorológica Mundial. (22 de Octubre de 2021). *El alza en los niveles de esos gases pone en peligro la consecución de los objetivos del Acuerdo de París para limitar la subida de las temperaturas*.
<https://wmo.int/es/media/un-ano-mas-las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-volvieron-batir-todos-los-records>
- Paz, K. (2007). *Media Aritmética Simple*. <http://editorialkamar.com/et/archivo11.pdf>
- Peñaranda, P. M. (2017). *Evaluación del almacenamiento de carbono como servicio ecosistémico en bosques de manglares de la costa pacífica Colombiana. [Tesis doctoral, Universidad del Valle]*. Doctorado en ciencias del Mar.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/eb41d49f-287f-4a72-8089-2c18dc09c678>
- Pernía, B., Mero, M., y Xavier, C. (2019). Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador. *Mangles de Ecuador*, 374-419.
https://www.researchgate.net/publication/337424161_IMPACTOS_DE_LA_CONTAMINACION_SOBRE_LOS_MANGLARES_DE_ECUADOR
- Pita, V. R. (2022). *Captura de carbono del Mangle Rojo (Rhizophora mangle) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]*.
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PITA%20VILLAMAR%20ROBERTO%20FLAVIO.pdf>

- Ramírez, M. E. (2020). *Determinación de la existencia de carbono azul en el bosque de manglar en playa dorada y barra salada, Sonsonate, El Salvador, de julio a diciembre de 2019.*[Tesis de grado, Universidad de El Salvador].
<https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/0cafd025-af99-4d89-9416-a56cb93bee2b/content>
- Reyes, C. M., y Tovilla, H. C. (2021). Madera y Bosques. *Restauración de áreas alteradas de manglar con Rhizophora mangle en la Costa de Chiapas*, 8(1), 103-114. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61709806.pdf>
- Rodríguez, J. (22 de Agosto de 2023). *Estadística Descriptiva*.
<https://isdfundacion.org/2023/08/22/estadistica-descriptiva-definicion-conceptos-y-ejemplos/>
- Rodríguez, M. Y., Orta, P. S., González, M. M., Rodríguez, L. O., y Falcón, O. E. (2021). Estado actual de *Conocarpus erectus* L., en el sector costero Cacongo, provincia de Cabinda, Angola. *Revista CFORES*, 9(1), 87-102.
<http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v9n1/2310-3469-cfp-9-01-87.pdf>
- Seoane, T., Sánchez, M., Lurueña, S., y Moreno, A. (2007). Estadística: Estadística Descriptiva y Estadística Inferencial. *SEMERGEN - Medicina de Familia*, 33(9), 466-471.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S113835930773945X>
- Tovilla, H. C., y Espino, G. d. (1999). Ecología, Producción y Aprovechamiento del Mangle *Conocarpus erectus* L., en Barra de Tecoanapa Guerrero, México. *Biotrópica*, 31(1), 121-134. <https://www.jstor.org/stable/2663966>
- Ugas, P. M., Núñez, R., Calderón, C. R., y Rivas, M. F. (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 América Central*, 1(66), 371-398.
<https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.13>
- Useros, F. J. (2013). El Cambio Climático: Sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*, 50, 71-98.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4817473.pdf>

- Vera, M. V. (2019). *Cuantificación de Carbono Azul dentro de los Manglares del Golfo de Guayaquil*. [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Ecuador.
<https://repositorio.ug.edu.ec/items/8fd05240-84e1-4879-9506-6348a56c2465>
- Villareal, H., Cordoba, M., Cordoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., . . .
Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Yáñez, A. A., Twilley, R. R., y Lara, D. A. (2016). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*, 4(2), 3-19.
<https://doi.org/10.21829/myb.1998.421356>
- Zambrano, M. M., Caguana, B. J., y Chan, P. T. (2019). La isla Santay, como atracción turística en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1), 303-313.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n1/2218-3620-rus-11-01-303.pdf>

8. ANEXOS

Anexo N° 1.

Mapa de ubicación del Área Nacional De Recreación Isla Santay.



Elaborado por: La Autora, 2024

Anexo N° 2.

Visita al lugar de estudio para la identificación de las especies *A. germinans* y *C. erectus*.



Elaborado por: La Autora, 2024

Anexo N° 3.

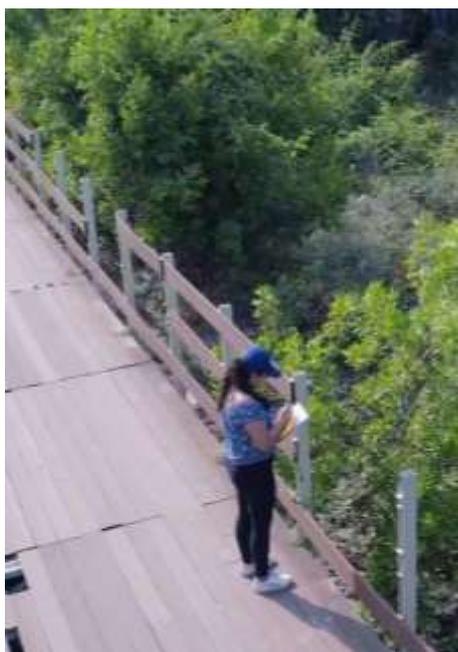
Mediciones a la altura del pecho para el cálculo de estimación de carbono.



Elaborado por: La Autora, 2024

Anexo N° 4.

Tomas aéreas para la identificación de especies de manglares.



Elaborado por: La Autora, 2024

Anexo N° 5.

Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el estudio del presente proyecto. (Página #1)

	MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA
	AUTORIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY E ISLA GALLO.

AUTORIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY E ISLA GALLO.

Nro.-MAATE-DAPOFC-ANRIS-2024-003

1. ANTECEDENTES

Según lo estipulado en el Código Orgánico del Ambiente, publicado registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril del 2017, en su Libro segundo; del "Patrimonio natural" Título I; "De la conservación de la biodiversidad" Artículo 30, literal 8; "*(...) Los objetivos del Estado relativos a la biodiversidad son: promover la investigación científica, el desarrollo y transferencia de tecnologías, la educación e innovación, el intercambio de información y el fortalecimiento de las capacidades relacionadas con la biodiversidad y sus productos, para impulsar la generación del bioconocimiento (...)*".

Además de lo descrito en el Capítulo VIII "Otros instrumentos de gestión y control"; en su Artículo 133.- "*(...) Investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal. La Autoridad Ambiental Nacional, la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, la Autoridad Única del Agua y la Autoridad Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y Saberes Ancestrales identificarán y propondrán iniciativas para la investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal en base a sus competencias. (...)*".

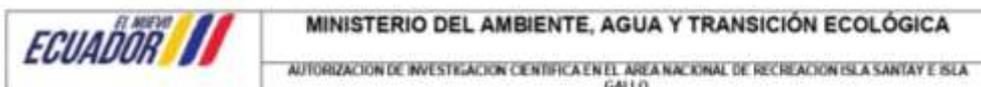
Por lo expuesto, mediante lo establecido en el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, del 12 de junio de 2019, en su Capítulo IX; Investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico, en su artículo 367. "*(...) Investigaciones en áreas de competencia de la Autoridad Ambiental Nacional.- Toda investigación o estudio que implique colección de especímenes o elementos de la flora y la fauna silvestres, obtención de datos e información de campo dentro del Patrimonio Forestal Nacional, Sistema Nacional de Áreas Protegidas o Áreas de Conservación, y las que se ejecuten utilizando recursos biológicos, requerirán autorización administrativa de la autoridad competente, conforme lo establecido en el Código Orgánico de la Economía Social, Conocimientos, Creatividad e Innovación y en el Código Orgánico del Ambiente.(...)*".

Además de acuerdo a lo estipulado en del Plan de Manejo del área protegida del año 2011, en donde se establece como objetivo básico de manejo; "*(...) Fomentar la educación, comunicación e interpretación ambiental, la investigación científica y la integración del hombre en el uso de bienes y servicios de sistemas naturales. (...)*".

Mediante Oficio s/n de fecha 13 de marzo de 2024, el Ing. César Morán Castro, PhD. en calidad de Decano Subrogante de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Agraria del Ecuador, solicita al Blgo. José Andrés Morán Cedeño en calidad de Administrador de Áreas Protegidas y Vida Silvestre del Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo como representante del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica en el área protegida, "*(...) se autorice el permiso de ingreso a la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental*

Anexo N° 6.

Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el estudio del presente proyecto. (Página #2)



*Srta. Thaily Dayana Sandoval Ronquillo para realizar la medición de captura de carbono en el mangle *Conocarpus erectus* mediante ecuaciones alométricas en el Área Nacional de Recreación Isla Santay... la finalidad principal del levantamiento de esta información es desarrollar el proyecto de titulación de estudios de pregrado titulado "Estimación de carbono captado por el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay" (...)"*

2. AUTORIZACION

Por lo antes expuesto y una vez analizada la información solicitada; previa autorización; se establece lo siguiente:

Entregar la presente autorización de investigación científica en el Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo a la **Srta. Thaily Dayana Sandoval Ronquillo**, con cedula de identidad No. 0750566606, perteneciente a la Universidad Agraria del Ecuador, para la realización del proyecto de investigación "**ESTIMACIÓN DE CARBONO CAPTADO POR EL MANGLE BOTONCILLO (CONOCARPUS ERECTUS) EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY**" dentro del Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo.

3. DURACIÓN DEL PROYECTO

La presente autorización tiene vigencia de un año a partir de la emisión de la presente autorización de investigación, pudiéndose solicitar prórroga y/o renovación de la misma mediante una nueva solicitud, previo cumplimiento de las obligaciones contraídas por el solicitante e investigadores.

4. COMPONENTES AUTORIZADOS DENTRO DE LA INVESTIGACIÓN

Estimar la concentración de carbono captado por el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) mediante ecuaciones alométricas en el Área Nacional de Recreación isla Santay para la comparación con otras especies de manglar.

Aplicar la metodología descrita el apartado 3.2.4.2 del presente anteproyecto de investigación, entregado previamente con la solicitud de autorización.

5. RESPONSABILIDADES QUE DEBEN CUMPLIR TODOS LOS INVESTIGADORES

1. Entregar al Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo, dos copias de los resultados finales de la Investigación en Castellano, impreso y digital en formato PDF.
2. Cualquier cambio o modificación en función del tiempo, área o método deberá ser comunicado anticipadamente a la presente autoridad ambiental.
3. Todo uso indebido de esta autorización, así como el incumplimiento de aspectos legales, administrativos o técnicos establecidos en la misma serán sancionados de acuerdo con el Código Orgánico Ambiental (COA), y al Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria y el Código Orgánico Integral Penal (COIP).

Anexo N° 7.**Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el estudio del presente proyecto. (Página #3)**

4. Se podrá solicitar prórroga quince días antes de la fecha de vencimiento que indica este documento en el cual deberá justificarse la razón de la prórroga.
5. El registro de la localización exacta de los especímenes observados, así como el escaneado de material fotográfico que considere el investigador, podrá ser utilizados para difusión. (se mantendrá los derechos de autor).
6. El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica podrá utilizar la información generada con fines, técnicos, científicos y educativos, no con fines lucrativos.
7. El investigador identificado será responsable de cumplir con las exigencias descritas en el actual permiso de investigación para lo cual, y de acuerdo a lo detallado el proyecto de investigación durará desde el 6 de febrero de 2024 hasta el 6 de febrero de 2025, tiempo en que los resultados deberán ser entregados.
8. Esta autorización no habilita la colección, movilización, ni exportación de muestras de flora o fauna, microorganismos, hongos, o material genético.
9. Se prohíbe el ingreso a las Áreas Naturales del Estado portando armas, explosivos, tóxicos, contaminantes, especies vegetales, material vegetativo, especies animales y en general todo aquello que atente a la integridad del área.



Blgo. José Andrés Morán Cedeño
Administrador de Áreas Protegidas y Vida Silvestre.
Área Nacional de Recreación Isla Santay.
Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
CI: 0914233325.
Teléfono: 0979256638.
Correos:
jose.moran@ambiente.gob.ec
isla.santay@ambiente.gob.ec

Anexo N° 8.

Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el uso del dron. (Página #1)

Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

**MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA
DIRECCIÓN NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS Y OTRAS FORMAS DE
CONSERVACIÓN**

**ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY E ISLA GALLO.
INFORME TÉCNICO Nro. MAAE-003.**

1. Datos informativos

Asunto	Permiso de filmación con Drone dentro del Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo.
Fecha de solicitud	23 de julio de 2024.
Fecha de autorización	30 de julio de 2024.
Unidad responsable	Dirección de Areas Protegidas y Otras Formas de Conservación.
Técnico responsable	Blgo. Andrés Moran Cedeño.
Provincia	Guayas.
Cantón	Durán.
Parroquia	Eloy Alfaro
Sector	Isla Santay

2. Antecedentes

El Estado ecuatoriano a través del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, custodia y preserva 20 millones de hectáreas de territorio declaradas como áreas protegidas, actualmente existen 73 áreas protegidas desplegadas en todo el territorio nacional.

Si bien el objetivo principal de las áreas protegidas es la conservación de su biodiversidad, es innegable que concentran atractivos naturales, culturales y paisajísticos que representan parte esencial de la oferta turística del país, lo cual permite la demanda actual de la sociedad en relación al ocio, disfrute, recreación dentro de las áreas protegidas; ya que estos espacios permiten el desarrollo de actividades de aventura, deportivas, investigativas, lucrativas entre otras, con fines culturales, recreativos, educativos y turísticos.

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, tiene en el marco de sus competencias el regular las actividades audiovisuales en las áreas naturales protegidas, en concordancia a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 172 de Filmaciones en el PANE. Adicional a ello el Estatuto de Estructura Orgánica del MAATE, a través del Acuerdo Ministerial NO. MAAE-2023-080 de fecha 20 de agosto del 2023, establece las atribuciones de las unidades que conforman el MAATE, en el 1.2.2.2.1 Gestión de Áreas Protegidas y Otras Formas de Conservación entre las Atribuciones y Responsabilidades literal s) Emitir la autorización de producciones audiovisuales de carácter comercial, informativo, educativo, documental, televisivo, ocupación de infraestructura de telecomunicaciones, hidrocarburífera, oleoductos, poliductos y eléctrico en áreas protegidas del subsistema estatal;

Con lo antes mencionado en referencia al correo emitido, la Administración del Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo, autorizó la realización de toma de mediciones de los mangles con Drone para calcular su potencial de captación de carbono del proyecto de titulación de la Universidad Agraria del Ecuador, para la realización de fotos y videos dentro del Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo.

Dirección: Av. Francisco de Bofillano y Justina Cornejo
Código postal: 080508 / Guayaquil - Ecuador
Teléfono: +593 4 2088523 - 2000587
www.ambiente.gub.ec



Elaborado por: La Autora, 2024

Anexo N° 9.

Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el uso del dron. (Página #2)



REPÚBLICA
DEL ECUADOR

Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

En atención al correo de fecha 23 de julio de 2024 de remitente la estudiante Thaily Dayana Sandoval Ronquillo estudiante de Ingeniería Ambiental; a través del cual solicita a esta cartera de estado, se autorice el permiso para el uso de material fotográfico obtenido en el Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo, en el sector de Isla Santay, cantón Durán de la provincia de Guayas, para la realización de toma de fotografías y videos del proyecto de ESTIMACIÓN DE CARBONO CAPTADO POR EL MANGLE BOTONCILLO (CONOCARPUS RECTUS) EN EL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN ISLA SANTAY.

3. Objetivo General

Emitir en base a la documentación presentada por el proponente, el informe técnico de análisis de viabilidad del proyecto toma de fotografías y videos con Drone para el proyecto de tesis "Estimulación de Carbono captado en el Mangle Botoncillo" dentro del Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo.

4. Análisis de filmación por el proponente: Thaily Dayana Sandoval Ronquillo estudiante de Ingeniería Ambiental

Por parte de Thaily Dayana Sandoval Ronquillo estudiante de Ingeniería Ambiental, se ha recibido los siguientes documentos:

- Solicitud dirigida al jefe de Área o Dirección de Áreas Protegidas del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- BRIEF con los siguientes contenidos: Objetivo del proyecto, público al que va dirigido, breve descripción de la empresa, plazo para la ejecución de la producción, ejemplos de otras producciones.
- Hoja de vida del responsable de los productos fotográficos.
- Certificado de operador de RPA's con el aval de la Dirección de Aviación Civil (DGDAC) del estudiante Enrique Serrano Burbano.

Una vez que se ha revisado la descripción del proyecto, el mismo tendrá como objetivo solicitar su apoyo en la consecuencia de los permisos de autorización para la toma de material dron en el Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo.

5. Sinopsis del guion (realizar una descripción breve de la producción a realizar)

La estudiante Thaily Dayana Sandoval Ronquillo, posee a su haber fotografías tomadas en el área protegida, por lo que estas serán editadas y publicadas en el proyecto Estimación de carbono captado por el mangle botoncillo en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, el cual tiene como objetivo medir esta característica con precisión es fundamental para evaluar el potencial de los manglares en la mitigación del cambio climático.

En consecuencia, de lo mencionado, el Área Nacional de Recreación Isla Santay e Isla Gallo emite un PRONUNCIAMIENTO FAVORABLE para la utilización de las fotografías obtenidas en el área protegida, bajo las siguientes condiciones:

1. Registrarse antes de ingresar al área protegida en los puestos de control establecidos (con cédula de identidad o pasaporte).
2. Para el uso y manejo de DRON en el interior de áreas protegidas se debe considerar la Resolución N° 251/2015 correspondiente para la operación de estas naves emitida

Dirección: Av. Francisco de Ibarra y Justino Carrizo
Código postal: 090606 / Guayaquil - Ecuador
Teléfono: +593 4 2080521 - 2080547
www.ambiente.gob.ec



Anexo N° 10.

Autorización otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para el uso del dron. (Página #3)

Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

por la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador

3. Todas las personas que hagan parte de la producción deberán presentar su carné de vacunación con esquema completo y mantener los protocolos de bioseguridad durante su estadía en el área protegida.
4. Coordinar con la administración del área protegida (coordenadas UTM, fechas, entre otros), la ejecución de la actividad previamente aprobada por la Autoridad Ambiental).
5. El personal de las áreas protegidas en el marco de sus competencias, dará seguimiento en lo posible a las actividades de la producción, a fin que se cumpla a cabalidad todos los protocolos de seguridad, normas establecidas y zonificación del AP
6. No alterar las condiciones preestablecidas para la producción audiovisual. Queda prohibido la perturbación, manipulación, captura o caza de animales silvestres dentro del AP y su zona de amortiguamiento, el incumplimiento será caso de sanción de acuerdo a norma ambiental vigente de acuerdo a la legislación ecuatoriana.
7. Respetar las normas establecidas para el área protegida.
8. No arrojar basura y traer de vuelta los desechos de cada visitante que genere durante su estadía en el área protegida.
9. Queda prohibido el porte y/o uso de armas en las cercanías y dentro del área protegida.
10. Queda prohibido el consumo de sustancias sujetas a fiscalización, bebidas alcohólicas y/o tabaco durante la permanencia en las áreas protegidas.
11. Queda prohibido el ingreso de mascotas y/o el ingreso de fauna y flora no nativa.
12. El manejo de las actividades de filmación nocturnas, deberán guardar medidas de seguridad para evitar posibles accidentes.
13. Solo se puede realizar las actividades que están permitidas para cada área protegida, las mismas que deben constar en el permiso de filmación otorgado a la empresa.
14. Cada miembro del equipo de filmación deberá firmar un acta de descargo de responsabilidad previo ingreso al área protegida. (ANEXO 15)
15. Deberá entregarse 3 copias del material audiovisual terminado libre de Copyright, para el uso del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica y/o la Dirección de Áreas Protegidas y Otras Formas de Conservación.
16. Se solicita incluir en los créditos el logo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, así como el logo del AP, a manera de fiel cumplimiento de la normativa emitida por esta cartera de estado.
17. En caso de existir afectaciones a los ecosistemas o especies; los organizadores deberán apoyar las actividades de restauración y conservación del entorno donde se realizará la producción.
18. No se podrá sobre pasar el número de personas autorizadas en la producción, en cada sitio de visita, de acuerdo al cronograma entregado.

Elaborado y Aprobado por:



Blgo. Andrés Moran Cedeño
Administrador

Área Nacional de Recreación Isla Santay
Ministerio del Ambiente, Agua y Transición
Ecológica

Dirección: Av. Francisco de Orellana y Justina Cornejo
Código postal: 080508 / Guayaquil - Ecuador
Teléfono: +593 4 2068521 - 2068587
www.ambiente.gob.ec



Elaborado por: La Autora, 2024