



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE
CARBONO AZUL ENTRE EL MANGLE ROJO (*Rhizophora
mangle*) Y EL MANGLE NEGRO (*Avicennia germinans*)**

EXAMEN COMPLEXIVO

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR
RENTERIA CEDILLO GISSELLA HAYLIZ

TUTOR
ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

MONOGRAFÍA

**COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE
CARBONO AZUL ENTRE EL MANGLE ROJO (*Rhizophora
mangle*) Y EL MANGLE NEGRO (*Avicennia germinans*)**

TRABAJO NO EXPERIMENTAL

**MONITOREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS
NATURALES**

AUTOR
RENTERIA CEDILLO GISSELLA HAYLIZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ARCOS JÁCOME DIEGO Ing., docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO AZUL ENTRE EL MANGLE ROJO (*Rhizophora mangle*) Y EL MANGLE NEGRO (*Avicennia germinans*), realizado por la estudiante RENTERIA CEDILLO GISSELLA HAYLIZ; con cédula de identidad N° 0706501400 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Diego Arcos Jácome, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

Guayaquil, 20 de octubre del 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
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: "COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO AZUL ENTRE EL MANGLE ROJO (*Rhizophora mangle*) Y EL MANGLE NEGRO (*Avicennia germinans*)", realizado por la estudiante RENTERIA CEDILLO GISSELLA HAYLIZ, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

OCE. ZAMBRANO Z. LEILA
PRESIDENTE

ING. MUÑOZ N. DIEGO
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. MONTENEGRO B. VERÓNICA
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. ARCOS J. DIEGO
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 20 de octubre del 2021

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi madre por brindarme todo su apoyo incondicional, a mi hermano por tenerme fe y a mí por haber logrado llegar hasta aquí contra todo pronóstico.

Agradecimiento

Agradecer a Jehová Dios porque sin él nada fuera posible, agradecer especialmente a mi amiga Michelle Páez por no rendirse conmigo aun cuando yo misma lo hice y también agradecer a todas y cada una de las personas que me ayudaron de alguna u otra forma a llegar a este momento.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo RENTERIA CEDILLO GISSELLA HAYLIZ, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre “COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO AZUL ENTRE EL MANGLE ROJO (*Rhizophora mangle*) Y EL MANGLE NEGRO (*Avicennia germinans*)” 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, 20 de octubre del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Renteria Cedillo Gisella Hayliz', with a large, stylized loop at the end.

RENERIA CEDILLO GISSELLA HAYLIZ

C.I. 0706501400

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	3
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	4
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento	6
Autorización de Autoría Intelectual	7
Índice general	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras.....	14
Resumen	16
Abstract.....	17
1. Introducción.....	18
1.1 Importancia o caracterización del tema	18
1.2 Actualidad del tema	19
1.3 Novedad científica del tema	20
1.4 Justificación de la investigación	21
1.5 Objetivo general	21
1.6 Objetivos específicos.....	21
2. Metodología	23
2.1 Materiales.....	23
2.1.1 Recursos bibliográficos	23
2.1.2 Materiales y equipos	23
2.1.3 Recursos humanos	23
2.2 Métodos.....	24

2.2.1 Modalidad y tipo de investigación	24
2.2.1.1 <i>Bibliográfica</i>	24
2.2.1.2 <i>Descriptiva</i>	24
2.2.1.3 <i>Explicativa</i>	25
2.2.2 Tipos de métodos	25
2.2.2.1 <i>Método inductivo</i>	25
2.2.2.2 <i>Método deductivo</i>	25
2.2.2.3 <i>Método analítico</i>	25
2.2.2.4 <i>Método sintético</i>	26
2.2.3 Técnicas	26
3. Marco Teórico	27
3.1 Estado del arte	27
3.2 Bases Teóricas	29
3.2.1 Cambio climático	29
3.2.2 Calentamiento global	29
3.2.3 Efecto invernadero	30
3.2.3.1 <i>Gases de efecto invernadero</i>	30
3.2.4 Ecosistema manglar	31
3.2.4.1 <i>Tipos de manglar</i>	31
3.2.4.1.1 Ribereño	31
3.2.4.1.2 Borde	32
3.2.4.1.3 Cuenca	32
3.2.4.1.4 Especiales	32
3.2.4.2 <i>Clima del manglar</i>	32
3.2.4.3 <i>Fauna y flora del manglar</i>	33

3.2.4.4 Importancia del manglar.....	33
3.2.5 <i>Rhizophora mangle</i> L.....	34
3.2.6 <i>Avicennia germinans</i>	35
3.2.7 Carbono y su importancia en el ambiente	37
3.2.7.1 Captura de carbono	37
3.2.7.2 Los colores del carbono.....	38
3.2.7.2.1 Carbono marrón	38
3.2.7.2.2 Carbono negro.....	38
3.2.7.2.3 Carbono verde.....	39
3.2.7.2.4 Carbono azul.....	39
3.3 Marco legal.....	39
3.3.1 Constitución de la República del Ecuador, 2008.....	39
3.3.2 Tratados y convenios internacionales	40
3.3.2.1 Convenio sobre la Diversidad Biológica.....	40
3.3.2.2 Convención Ramsar relativa a los Humedales de Importancia Internacional.....	41
3.3.3 Código Orgánico del Ambiente.....	42
3.3.4 Decreto Ejecutivo emitido para la restauración de áreas de manglar ocupadas ilegalmente.....	43
3.3.5 Acuerdos Ministeriales emitidos en torno a la declaratoria de áreas de manglar como parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.....	43
3.3.6 Resolución Ministerial emitida para establecer el costo total por pérdida de bienes y servicios ambientales y costo de restauración	43
3.4 Análisis.....	44

3.4.1 Técnicas de muestreo y métodos empleados para el cálculo de las características morfométricas aplicables en especies de mangle	44
3.4.1.1 <i>Técnicas de muestreo</i>.....	44
3.4.1.1.1 Transectos	44
3.4.1.1.2 Transectos variables.....	44
3.4.1.1.3 Cuadrantes.....	44
3.4.1.1.4 Punto centro cuadrado	45
3.4.1.1.5 Líneas de intercepción	45
3.4.1.1.6 Puntos de intercepción.....	45
3.4.1.1.7 Muestreos fitosociológicos	46
3.4.1.1.8 Consideraciones únicas para la medición de carbono en manglares	46
3.4.1.2 <i>Métodos para el cálculo de características morfométricas</i>.....	47
3.4.1.2.1 Altura	47
3.4.1.2.2 Área basal	48
3.4.1.2.3 Volumen	48
3.4.1.2.4 Biomasa total aérea	48
3.4.1.2.5 Biomasa total de fuste	49
3.4.1.2.6 Carbono total almacenado	49
3.4.2 Recopilación de información cuantitativa respecto a las características morfométricas del mangle rojo y el mangle negro	50
3.4.2.1 <i>Características del mangle rojo (Rhizophora mangle L.)</i>	50
3.4.2.2 <i>Características del mangle negro (Avicennia germinans)</i>.....	55
3.4.2.3 <i>Comparación de características del mangle rojo y mangle negro</i>	60

3.4.3 Potencial de captura de carbono azul de las especies de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i> L.) y el mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>).....	65
3.4.3.1 Carbono total almacenado del mangle rojo.....	65
3.4.3.2 Carbono total almacenado del mangle negro.....	66
3.4.3.3 Carbono total almacenado promedio	67
3.4.3.4 Comparación del carbono total almacenado por especie	68
4. Conclusiones.....	69
5. Bibliografía.....	70
6. Glosario.....	82
7. Anexos	83

Índice de tablas

Tabla 1. Listado de la información recopilada para la realización de las variables morfológicas.....	88
Tabla 2. Resumen de los datos investigados de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i> L.) para cada variable.....	89
Tabla 3. Resumen de los datos investigados de mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) para cada variable	90

Índice de figuras

Figura 1. Altura del mangle rojo según diversos autores	50
Figura 2. Área basal del mangle rojo según diversos autores.....	51
Figura 3. Volumen del mangle rojo según diversos autores.....	52
Figura 4. Biomasa total aérea del mangle rojo según diversos autores	53
Figura 5. Biomasa total de fuste del mangle rojo según diversos autores	54
Figura 6. Altura del mangle negro según diversos autores	55
Figura 7. Área basal del mangle negro según diversos autores.....	56
Figura 8. Volumen del mangle negro según diversos autores.....	57
Figura 9. Biomasa total aérea del mangle negro según diversos autores	58
Figura 10. Biomasa total de fuste del mangle negro según diversos autores	59
Figura 11. Altura promedio según diversos autores	60
Figura 12. Área basal promedio según diversos autores	61
Figura 13. Volumen promedio según diversos autores	62
Figura 14. Biomasa total aérea promedio según diversos autores.....	63
Figura 15. Biomasa total de fuste promedio según diversos autores	64
Figura 16. Carbono total almacenado del mangle rojo según diversos autores ...	65
Figura 17. Carbono total almacenado del mangle negro según diversos autores	66
Figura 18. Carbono total almacenado promedio según diversos autores	67
Figura 19. Comparación de carbono total almacenado por especie	68
Figura 20. Infografía sobre el carbono azul	83
Figura 21. Almacenamiento de carbono en diferentes bosques.....	83
Figura 22. Principales almacenes y flujos de carbono en un ecosistema de manglar	84
Figura 23. Daños por inundaciones en áreas de manglares	84

Figura 24. Proceso de secuestro del carbono	85
Figura 25. Infografía de la captura y almacenamiento de dióxido de carbono CO ₂	85
Figura 26. Retención de carbono en manglares vs bosques terrestres	86
Figura 27. Componentes en el almacén y captura de CO ₂ en el manglar y esquemmatización de los flujos de carbono en un manglar conservado y degradado	86
Figura 28. Esquema de fases de crecimiento en una restauración de manglar ...	87
Figura 29. Las cuatro especies principales de manglar en el país	87

Resumen

A lo largo de los años se ha hablado sobre la problemática del cambio climático a nivel mundial para tomar medidas que lleven a su disminución; sin embargo, poco o nada se ha hecho para mitigar los desastres ambientales causados. Los manglares, a pesar de tener un porcentaje ínfimo a comparación de los bosques terrestres, son importantes pulmones del planeta y proveen de muchos servicios ambientales necesarios para la vida. Los bosques de manglar son los más competentes al momento de mantener los niveles de CO₂ bajo tierra, pero las amenazas que sufren los están desapareciendo. Este trabajo monográfico está enfocado en la problemática de reducción de manglares y su potencial como capturador de carbono azul para mitigar los gases de efecto invernadero. La técnica utilizada fue la investigación bibliográfica, la cual permitió recopilar, analizar y seleccionar los datos necesarios para llevar a cabo la comparación. En base a la investigación realizada se determinó que el muestreo por transecto es el más utilizado comúnmente y que el mangle negro tiene más capacidad de capturar carbono azul que el mangle rojo, los resultados obtenidos fueron de 93,82 ton/ha para *Avicennia germinans* y 25,66 ton/ha para *Rhizophora mangle*.

Palabras clave: almacenamiento, carbono, captura, manglares, reducción.

Abstract

Throughout the years, there has been talking about the problem of climate change at a global level in order to take measures to reduce it; however, little or nothing has been done to mitigate the environmental disasters caused. Mangroves, despite of having a tiny percentage compared to terrestrial forests, are important lungs of the planet and provide many environmental services that are necessary for life. Mangrove forests are the most proficient at maintaining CO₂ levels underground, but the threats they suffer are causing them to disappear. This monographic research is focused on the problem of mangrove reduction and its potential as a blue carbon captured to mitigate the greenhouse gases. The technique that used was the bibliographic research, which allowed to collect, analyze and select the necessary data to carry out the comparison. Based on the research carried out, it was determined that transect sampling is the most commonly used and that the black mangrove has more capacity to capture blue carbon than the red mangrove. The results obtained were 93.82 ton/ha for *Avicennia germinans* and 25.66 ton/ha for *Rhizophora mangle*.

Key words: storage, carbon, captured, mangroves, reduction.

1. Introducción

1.1 Importancia o caracterización del tema

Según Manglares de América (2019), los principales problemas que afectan los manglares en el país, y por ello se encuentran en peligro de extinción, son la expansión de piscinas camaroneras, la tala ilegal, el desarrollo de zonas urbanas, la contaminación ambiental y el derrame de hidrocarburos.

A pesar de las denuncias presentadas cuando hay afectación, causa mucha preocupación sobre que la cartera de Estado, no esté respondiendo a tiempo. La falta de personal para tratar las sanciones administrativas de forma directa es otro de los problemas (Ramos, 2020).

Los mangles ocupan 15.2% millones de hectáreas en 123 países, cubriendo el área de transición entre el continente y el mar (zona intermareal). Y aunque, con sus casi 60 especies, representan menos del 1% de los bosques tropicales del mundo (menos del 0.4% de todos los bosques), son importantes pulmones del planeta (Banco Mundial, 2019).

Ecuador posee 161.835 hectáreas de manglar, el 71% del manglar nacional se ubica en Guayas. Sin embargo, cerca del 27% de la extensión original del país se perdió. La deforestación fue mayor entre 1987 y 1995, con pérdidas de entre 1500 y 1800 hectáreas por año (Paucar, 2015).

La contaminación es un ítem importante para definir la calidad de los manglares, los cuales soportan el tráfico diario de los barcos en el Golfo de Guayaquil, donde se encuentran asentadas poblaciones ancestrales (Quevedo, 2015).

La Fundación Omacha (2021), menciona que los manglares son sumideros de gases de efecto invernadero (GEI), debido a la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂). Particularmente, los mangles en las zonas ecuatoriales

son los más eficientes en esta tarea. Esto debido a la baja salinidad del suelo, las abundantes lluvias y la ausencia de ciclones (Paucar, 2015). La captura de carbono juega un papel importante para abordar el cambio climático; sin embargo, para algunos el tema aún es motivo de indiferencia (Giovanini, 2021).

En su proceso de fotosíntesis, los manglares absorben el CO₂ de la atmósfera, parte de este gas lo transforman en oxígeno (O₂) y lo liberan a la atmósfera. Otra parte viaja por la planta y se almacena en el tronco, hojas, ramas y en las raíces fangosas del suelo o sedimento en donde crecen los manglares, y otro porcentaje se libera en el agua donde será transformado en O₂ por los pastos marinos y otras plantas acuáticas marinas. Este proceso de captura y almacenamiento de CO₂, y liberación de O₂, hacen parte de los servicios ambientales fundamentales para la vida que prestan los manglares (Fundación Omacha, 2021).

En la actualidad, resulta difícil conocer con exactitud cuánto Carbono Azul contienen estos ecosistemas, debido a la poca disponibilidad de datos históricos y a la fragmentación y falta de integración de los mismos (Factor CO₂, 2016).

1.2 Actualidad del tema

Desde 2008 hasta la fecha, 3.000 ha de manglar fueron reforestadas en 10 años. El mayor número está en el Golfo de Guayaquil, en la zona de la Isla Puná, en Jambelí, Balao y Naranjal (Murillo, 2018).

Como aporte a esta problemática, en Tailandia y Fiyi, voluntarios de ProjectsAbroad (2019), participan en labores de reforestación de manglares ayudando a cuidar y cultivar plántulas en viveros, plantándolos en áreas específicas y, algunas veces, trasplantándolos a áreas donde pueden extender mejor sus raíces cuando son lo suficientemente grandes. En Fiyi, 6 hectáreas de manglares se han plantado desde que el proyecto comenzó en 2014, hasta el año 2018

plantaron más de 37.600 manglares en Tailandia, y ese mismo año se le reconoció la neutralidad de carbono al Uprising Beach Resort (2018).

En el mes de mayo del año en curso se presentó el “Primer Manual para Diseñar e Implementar Proyectos de Carbono Azul en Europa y el Mediterráneo”, basado en una serie de metodologías y enfoques existentes desarrollados por la International Blue Carbon Initiative y los trabajos desarrollados por el proyecto LIFE Blue Natura (Life Blue Natura, 2021).

El manual presenta todos los pasos metodológicos necesarios, desde el diseño de un proyecto de carbono azul en el terreno hasta la presentación de informes siguiendo diferentes estándares para obtener compensaciones de créditos de carbono. Además, incluye una selección de las mejores opciones de restauración para la mitigación, la optimización del esfuerzo en la obtención de datos de campo y la formulación de estimaciones sólidas dentro de los límites de los proyectos de carbono azul (Life Blue Natura, 2021).

1.3 Novedad científica del tema

Los manglares son árboles únicos, con un pie en la tierra y otro en el mar, sobreviven en condiciones de salinidad y anoxia que para otras especies serían imposibles. Mantenerlos en buen estado es fundamental porque ofrecen servicios ambientales que benefician a la sociedad y al planeta (Román-Cuesta, 2020). Sólo bajo tierra, los mangles pueden concentrar entre 83% y 99% de CO₂. El resto se almacena en su biomasa (Paucar, 2015).

Los manglares son tan eficientes que, a pesar de representar el 0.7% de la superficie de bosques tropicales del mundo, son capaces de absorber hasta 10 veces más GEI que otros ecosistemas y captan carbono con una tasa anual de dos a cuatro veces superior a otros bosques maduros (Factor CO₂, 2016).

1.4 Justificación de la investigación

Entre los valiosos bienes y servicios ambientales que prestan, los manglares purifican y mejoran la calidad del agua, son fuente de alimento, ayudan a evitar inundaciones, regulan la erosión y, aunque son de vital importancia, enfrentan diversas amenazas: tala indiscriminada, obras de infraestructura vial mal planeadas, ampliación de la frontera urbana o contaminación (Fundación Omacha, 2021).

La falta de información justifica la necesidad de esta investigación, debido a que no se conoce suficiente sobre el potencial de estas especies como capturadores de carbono y su dinámica, lo cual tiene aplicación en la mitigación del cambio climático.

A pesar de que se han realizado algunos estudios sobre manglares en el país, no se han ejecutado estudios suficientes sobre las especies de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y de mangle negro (*Avicennia germinans*).

El propósito de este trabajo de investigación es comparar el potencial de captura de carbono azul del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y el mangle negro (*Avicennia germinans*), que actúan como sumideros de carbono para contrarrestar el calentamiento global.

1.5 Objetivo general

Comparar el potencial de captura de carbono azul entre el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y el mangle negro (*Avicennia germinans*) aplicando técnicas cuantitativas de comparación de datos y criterios estadísticos para determinar su capacidad como estrategia de mitigación de impactos ambientales en la lucha contra el cambio climático.

1.6 Objetivos específicos

- Detallar las técnicas de muestreo y métodos empleados para el cálculo de las características morfométricas aplicables en especies de mangle.

- Recopilar información cuantitativa respecto a las características morfométricas del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y el mangle negro (*Avicennia germinans*).
- Determinar la diferencia del potencial de captura de carbono azul de las especies de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y el mangle negro (*Avicennia germinans*).

2. Metodología

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos bibliográficos

Este trabajo monográfico se realizó con los siguientes recursos bibliográficos:

- Libros electrónicos y revistas digitales
- Artículos científicos y de periódico
- Páginas web de instituciones públicas y privadas
- Tesis, informes técnicos e investigaciones
- Bibliotecas virtuales y buscador de internet
- Leyes, convenios, decretos, etc.

2.1.2 Materiales y equipos

A continuación, se detallan los materiales utilizados en el trabajo monográfico:

- Laptop Toshiba Satellite
- Mouse inalámbrico
- Dispositivo móvil
- Bloc de apuntes
- Artículos de oficina
- Hojas de papel A4
- Unidad Flash Driver

2.1.3 Recursos humanos

El personal involucrado en el desarrollo de este trabajo monográfico lo conforman las siguientes personas:

- La autora: Gissella Renteria, como expositora
- El docente tutor, Ing. Diego Arcos, encargado de realizar las debidas sugerencias y siendo guía en el lapso de la elaboración del trabajo

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad y tipo de investigación

2.2.1.1 Bibliográfica

La presente investigación es de tipo bibliográfica, debido a la recopilación de información que se realizó procedente de fuentes documentales como artículos científicos, libros y estudios relacionados con el tema en cuestión, lo cual servirá para determinar qué especie tiene mayor potencial de captación.

La investigación bibliográfica o documental consiste en la revisión de material bibliográfico existente con respecto al tema a estudiar. Se trata de uno de los principales para cualquier investigación e incluye la selección de fuentes de información. Se le considera un paso esencial para obtener bases necesarias para el desarrollo de cualquier estudio (Matos, 2020).

2.2.1.2 Descriptiva

El nivel de conocimiento del presente trabajo es descriptivo, esto se justifica en que se utilizó análisis descriptivo para detallar la información obtenida, datos y características, y así llevar a cabo la comparación entre el potencial de captura de carbono azul almacenado por las especies de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y mangle negro (*Avicennia germinans*).

La investigación descriptiva se refiere a la investigación que se encarga de describir la población, situación o fenómeno alrededor del cual se centra su estudio. Procura brindar información acerca del qué, cómo, cuándo y dónde, relativo al problema de investigación, sin darle prioridad a responder al “por qué” ocurre dicho problema. Esta forma de investigar “describe”, no explica (Mejia, 2019).

2.2.1.3 Explicativa

Una vez conseguidos los datos necesarios para llevar a cabo la comparación del potencial de carbono azul almacenado, se procedió a explicarlos de tal forma en que la información sea comprendida de la mejor manera.

La investigación explicativa es un tipo de investigación cuya finalidad es hallar las razones o motivos por los cuales ocurren los hechos del fenómeno estudiado, observando las causas y los efectos que existen, e identificando las circunstancias. Con esta investigación se intenta clarificar cómo es exactamente el problema del que se quiere obtener información (Mejía, 2018).

2.2.2 Tipos de métodos

2.2.2.1 Método inductivo

El modelo inductivo es un método basado en el razonamiento, el cual “permite pasar de hechos particulares a los principios generales”. Fundamentalmente consiste en estudiar u observar hechos o experiencias particulares con el fin de llegar a conclusiones que puedan inducir, o permitir derivar de ellos los fundamentos de una teoría (Castellanos, 2017).

2.2.2.2 Método deductivo

Se basa en el razonamiento, al igual que el inductivo. La deducción intrínseca del ser humano permite pasar de principios generales a hechos particulares. Lo anterior se traduce esencialmente en el análisis de los principios generales de un tema específico: una vez comprobado y verificado que determinado principio es válido, se procede a aplicarlo a contextos particulares (Castellanos, 2017).

2.2.2.3 Método analítico

Es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la

naturaleza y los efectos. Este método permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías (Ruíz, 2006).

2.2.2.4 Método sintético

Es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis; se trata de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras, debemos decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de los que ya conocemos en todas sus partes y particularidades (Ruíz, 2006).

2.2.3 Técnicas

La principal técnica utilizada en este trabajo monográfico fue la investigación bibliográfica, la cual permitió la recopilación, análisis y selección de información, clara y precisa del objeto de estudio, fundamentando la comparación entre el potencial de captura de carbono azul del mangle rojo y el mangle negro.

Dentro del objetivo uno se detallaron los métodos y técnicas que se emplean en el cálculo de características poblacionales y morfométricas aplicables en especies de mangle. Además, se describen los métodos de muestreo utilizados con mayor frecuencia para obtener datos de estas especies.

En el segundo y tercer objetivo se realizó una recopilación de información cuantitativa respecto a las características mencionadas, las fuentes fueron artículos científicos y proyectos de tesis de grado. Se analizó y comparó la información mediante la síntesis de información en Excel, elaborando tablas y gráficos.

Los datos recopilados para la investigación fueron tomados de diferentes países pertenecientes a América del Norte y Sur, en la Tabla 1 ubicada en anexos se muestra un resumen específico sobre los autores, año, lugar y especie estudiada.

3. Marco Teórico

3.1 Estado del arte

Los estudios e investigaciones que se mencionan a continuación presentan temáticas relacionadas al potencial de captura de carbono del ecosistema manglar.

Moreno et al. (2010), evaluaron el potencial de captura de carbono en el suelo del ecosistema de manglar en dos sitios ubicados a las orillas de la Laguna de Términos, México; el trabajo de campo fue realizado en Estero-Pargo y Bahamitas. Se realizaron seis muestreos considerando dos profundidades del suelo (30 y 60 cm) y tres períodos climáticos (estación de “Nortes”, estación seca y estación lluviosa). La influencia estacional sobre almacenamiento de carbono fue evidente; sin embargo, la influencia de mareas también fue significativa, con el almacenaje de carbono más alto durante las estaciones de Nortes y secas (de 10.63 a 37.64 Kg C m⁻² para Estero-Pargo, y de 12.8 a 39.9 Kg C m⁻² para Bahamitas).

En la investigación de Moreno et al. (2010) el almacenaje de carbono fue más alto en suelos inundados con vegetación dominante de mangle rojo en comparación con aquellas parcelas de muestreo inundadas sólo ocasionalmente, donde la vegetación dominante es de mangle botoncillo. Los autores concluyen que los suelos arenosos y neutros con asociaciones de mangle rojo tienen un buen potencial de captura de carbono.

Santiago (2018), efectuó un estudio donde determinó la estructura y las reservas de carbono en la biomasa arbórea y en el suelo del bosque de manglar de Tumilco, México; haciendo uso de la metodología de Kauffman. Midió la altura y el diámetro a la altura del pecho de cada árbol mayor a 2.5 cm (sólo para *R. mangle* 15 cm arriba de la última raíz adventicia) colectó 2 muestras de suelo por transecto a 30 cm de profundidad. Determinó taxonómicamente las especies de *R. mangle*, *A.*

germinans y *L. racemosa*. Los resultados indicaron que 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 4.516 Ton C/ha; mientras que el carbono almacenado en el suelo del manglar de Tumilco fue de 147.41 Ton C/ha.

Montero et al. (2016), realizaron una cuantificación de la biomasa y la captura de carbono de cuatro especies de mangle (*Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*) en un remanente de mangle de la localidad El Bosque, México. La metodología se desarrolló en un área de muestreo de 0.25 ha. La biomasa total de la vegetación se determinó mediante ecuaciones alométricas basadas en la relación entre la biomasa del árbol, y parámetros como el diámetro a la altura del pecho, la densidad de la madera según la especie y la altura del árbol. El remanente reportó un total de dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* L. y *Avicennia germinans*) y 156 individuos. Análisis estadísticos indicaron que existieron diferencias significativas del contenido de carbono entre las dos especies, con valores de 88% y 12% para *Rhizophora mangle* L. y *Avicennia germinans*, respectivamente.

Bruno (2019), realizó una investigación en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, con el objetivo de recolectar información sobre la cantidad de CO₂ que almacena la especie *Rhizophora mangle* L. empleando ecuaciones alométricas para su estimación. Los resultados mostraron que la especie captura 446.94 Ton/ha de CO₂ en un área de 1571 m², lo que equivale a una biomasa total de 909.52 Ton/ha.

De Segovia (2019), realizó una estimación del almacenamiento de carbono de los árboles de mangle del noroeste de la Isla Mondragón, Golfo de Guayaquil.

Estableció dos transectos y dos parcelas donde se tomaron datos y posterior se emplearon en ecuaciones alométricas previamente establecidas. Se determinó que la zona corresponde a un bosque de manglar de tipo ribereño, bastante desarrollado estructuralmente y dominada por *Rhizophora mangle* L. (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 mangle* L. fue la especie que presentó mayores cantidades de carbono almacenado, tanto por su dominancia como por su morfología.

Todos estos estudios demuestran la importancia de la conservación del ecosistema manglar, así como la capacidad de los manglares como almacenamiento de carbono para combatir el cambio climático.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Cambio climático

Es la variación global del clima y las temperaturas de la tierra en diversas escalas de tiempo, afecta principalmente a los ecosistemas y origina cambios que directa o indirectamente son producidos por la actividad humana (ONG Manos Unidas, 2020).

Es un problema global que alcanza una perspectiva ambiental, política, económica y social debido a las consecuencias inmediatas, como repercusiones nocivas para el ambiente y los sistemas productivos (Greenpeace, 2017).

3.2.2 Calentamiento global

Se define como el aumento, en el tiempo, de la temperatura media de la tierra, que se refleja en los océanos y la atmósfera, principalmente causado por la emisión de gases de efecto invernadero expedidos por la actividad humana (RSS, 2018).

El calentamiento global ha existido desde siempre; sin embargo, debido a las actividades y emisiones masivas del hombre este fenómeno se ha incrementado, especialmente la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo, tales como la deforestación, así como varias otras fuentes secundarias (RSS, 2018).

3.2.3 Efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno en el cual la radiación de calor de la superficie del planeta es absorbida por los gases de la atmósfera, y es emitida de nuevo en todas direcciones (Coppini, 2019).

En primer lugar, la luz solar brilla en la superficie terrestre, donde es absorbida y, a continuación, vuelve a la atmósfera en forma de calor. Allí, los gases de efecto invernadero (GEI) retienen parte de este calor; el resto se escapa al espacio. Cuantos más gases de invernadero, más calor es retenido (RNG, 2010).

Debido a este funcionamiento de permitir el paso de la luz y mantener el calor, como las paredes de un invernadero, es que cobra ese nombre. El efecto invernadero es lo que hace posible la vida en la tierra (Coppini, 2019).

3.2.3.1 Gases de efecto invernadero

Los GEI o gases de invernadero, son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes (Ideam, 2017).

Los niveles de estos gases han aumentado y descendido durante la historia siendo los más eficientes en absorber el calor. Sin embargo, un incremento de éstos resulta perjudicial para el planeta y para toda la vida en él (Coppini, 2019).

Los principales GEI son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). Además, existen una serie de

gases creados íntegramente por el ser humano como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los clorofluorocarbono (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (Nasa, 2020).

3.2.4 Ecosistema manglar

El manglar es un tipo de bioma con una formación vegetal leñosa, densa, arbórea o arbustiva de 1 a 30 metros de altura, compuesta de una o varias especies de mangle y con poca presencia de especies herbáceas y enredaderas. Son también bosques pantanosos que se desarrollan en el punto donde converge una vertiente de río con un brazo de mar (Conabio, 2020).

Los manglares son ecosistemas de pantano, dominados por árboles leñosos que se ubican en litorales tropicales de suelo plano y fangoso, y aguas tranquilas (estuarios, bahías, ensenadas, lagunas costeras, etc.) (Incoder, 2014).

Su nombre deriva de los árboles que le dan forma, los mangles, el vocablo mangle proviene de la voz caribe o arahuaca, e incluso el guaraní, y significa “árbol retorcido”. Es la especie arbórea que más predomina en los manglares. Sus raíces, enredadas y laberínticas, sirven como criaderos para una multitud de especies de peces. Crecen en agua salada con sus peculiares raíces extendiéndose por encima y por debajo en suelos espesos y fangosos (Ovacen, 2019).

3.2.4.1 Tipos de manglar

Según Incoder (2014) los manglares pueden clasificarse en cuatro tipos según las características que presenten y su ubicación dentro de la zona donde se desarrollan:

3.2.4.1.1 Ribereño

Crecen en las orillas de los ríos y en las zonas donde hay influencia de las mareas y el agua salada o salobre. El sustrato allí es relativamente inestable ya

que el suelo está constantemente en contacto con el agua del río y de mar; sin embargo, reciben gran cantidad de nutrientes arrastrados por los ríos, lo que les permite un enorme desarrollo que forma bosques densos (Incoder, 2014).

3.2.4.1.2 Borde

Crece en las orillas de las costas que están protegidas, en bahías o lagunas arrecifales o rodeando islas, y soportan el continuo golpe de las olas al frente, y más hacia adentro están los sectores más altos y protegidos con menor influencia mareal (Incoder, 2014).

3.2.4.1.3 Cuenca

Crece detrás de los ribereños y de los de borde. Se ubican donde hay suelos estables, la renovación del agua es lenta, hay poco oxígeno y alta salinidad. Excepto en la época de máxima inundación, estos bosques no exportan gran cantidad de materia orgánica, sino que más bien reciclan los nutrientes en el mismo lugar (Incoder, 2014).

3.2.4.1.4 Especiales

Son bosques de manglar de poco desarrollo y más bien pequeños debido a que crecen en condiciones de alta salinidad, baja disponibilidad de nutrientes y temperaturas extremas (Incoder, 2014).

3.2.4.2 Clima del manglar

Los manglares son especies que se encuentran principalmente en zonas tropicales y en menor medida en zonas templadas sin inviernos excesivamente fríos. La lluvia influye en la cantidad de sedimento que llega al manglar, y condiciones de mayor precipitación ayuda a reducir posibles condiciones de hipersalinidad. Adicionalmente, el impacto de los vientos y tormentas puede ser significativo, particularmente en áreas costeras más expuestas, causando daños

estructurales en el dosel arbóreo. Esto pese a que los manglares son claves precisamente para moderar las turbulencias atmosféricas como las tormentas y marejadas (Pérez, Navarro y Saborio, 2018).

3.2.4.3 Fauna y flora del manglar

El encuentro entre agua dulce y salada favorece la proliferación de una fauna acuática muy particular como los cangrejos rojos y azules. En los manglares ecuatorianos habitan 52 especies de aves, 15 especies de reptiles, 19 especies de mamíferos, aproximadamente 100 especies de peces, 20 de crustáceos y 70 de moluscos (IPIAP, 2020).

Dentro de la flora de los manglares, se han registrado aproximadamente 179 especies de plantas. Existen alrededor de 70 especies de árboles de mangle en el mundo. En el Ecuador las especies de mangle principales son: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle jelí (*Conocarpus erectus*) (IPIAP, 2020).

Sus frutos, los llamados propágulos, tienen forma de lanza, pueden caer al sustrato y enterrarse en él o flotar durante largos períodos, hasta encontrar un terreno donde desarrollarse (Incoder, 2014).

3.2.4.4 Importancia del manglar

El ecosistema manglar reduce el impacto de las mareas depositando barro y formando pantanos donde se fijan varios organismos. Sirve como estabilizador de la línea costera, ayudando en el control de la erosión y también constituye una barrera natural de amortiguamiento que protege a las costas de marejadas y vientos huracanados a manera de cortina rompevientos (Minambiente, 2014).

Sirven para limpiar las aguas que fluyen de los ríos antes de llegar a otros sistemas marinos o ecosistemas bioluminiscentes. Cuando sus hojas y sus raíces

se descomponen, las bacterias y los hongos las convierten en sustancias inorgánicas o nutrientes vitales que sostienen la cadena alimenticia. Las raíces del mangle rojo forman un complejo ecosistema donde se reproducen y se refugian muchas especies de peces y de invertebrados (EcoExploratorio, 2015).

Aunque los manglares son complementarios a otras estrategias de reducción de riesgo costero como sistemas de alerta temprana, planificación para que las viviendas no se ubiquen en zonas de alto riesgo, entre otras medidas; y aunque su capacidad de protección también esté limitada por factores como la velocidad de los vientos o la altura del tsunami, estos ecosistemas resultan clave a la hora de definir estrategias para defender las costas, cuidar a las personas que las habitan y construir mayor resiliencia ante los desastres (National Geographic, 2019).

3.2.5 *Rhizophora mangle* L.

Llamado también “mangle rojo”, se encuentra al frente del bosque de mangle, bordeando la orilla de la playa en los islotes y en las entradas de los estuarios. Se reconoce fácilmente por sus raíces colgantes que penetran el suelo y aumentan su superficie de anclaje, algunas de las cuales bajan desde las ramas, en las que largas plántulas cuelgan de los árboles (EcoExploratorio, 2015).

Se encuentran en contacto directo con el agua salada y en sustratos más inestables, por lo que son más resistentes. La semilla de este mangle posee una característica peculiar y es que su semilla germina y se desarrolla en el mismo árbol. Esta semilla luego de germinar se le conoce como plántula (EcoExploratorio, 2015).

Los árboles pueden llegar a medir 45 m de altura en las desembocaduras de los ríos, tienen una corteza de color gris claro con manchas oscuras. Su madera no tiene anillos de crecimiento y es de color rojizo (Incoder, 2014). La taxonomía de esta especie es la siguiente:

- **Dominio:** Eukaryota
- **Reino:** Plantae
- **Filo:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida (= Dicotyledoneae)
- **Orden:** Rhizophorales
- **Familia:** Rhizophoraceae
- **Género:** *Rhizophora* L.
- **Especie:** *Rhizophora mangle* L. (Estación Científica Charles Darwin, 2019)

Flor(es). – Inflorescencias simples, con 2 o 3 flores, pedúnculos de 3 a 5 cm, flores actinomorfas; corola de 1.8 cm de diámetro; cáliz de 1.54 cm de diámetro; sépalos 4, persistentes, amarillos, coriáceos, gruesos, de 4.1 mm de ancho; pétalos 4 no persistentes, blancos o amarillentos en la base y moreno rojizos arriba, de 2.6 mm de ancho.

Fruto(s). – Baya de color pardo, coriácea, dura, piriforme, farinosa, de 2 a 3 cm de largo por 1.5 cm de ancho en la base, cáliz persistente. Se desarrolla una semilla, rara vez dos, por fruto.

Semilla(s). – Una sola semilla germina en el interior del fruto (viviparidad). Los propágulos son frecuentemente curvos, de color verde a pardo en la parte inferior y presentan numerosas lenticelas. Miden de 22 a 40 cm de largo por 1 a 2 cm de diámetro en su parte más ancha y pesan aproximadamente 50 g (Linnaei, 1753).

3.2.6 *Avicennia germinans*

También llamado “mangle negro”, es un árbol de los manglares de las costas americanas que tolera un gran espectro de salinidad del suelo. En la América tropical, se le usa como una fuente de combustible, recurso agroforestal, material

de construcción y postes de bajo costo. La especie se considera como una estabilizadora de los suelos (Jiménez y Lugo, 2000).

Crecen en una gran variedad de climas y en zonas de vida tropical y subtropical seca, húmeda y muy húmeda, con un amplio espectro de precipitación. Se le considera como la especie de mangle más tolerante a las bajas temperaturas y es dominante en los sitios con climas áridos, en donde la salinidad del suelo excede las 40 partes por mil (Jiménez y Lugo, 2000).

En promedio, los árboles miden hasta 40 m de altura con un tallo que presenta un diámetro de 20 a 60 cm. Las raíces son superficiales, las flores se organizan en inflorescencias axilares, mientras tanto, los frutos son planos, verde oscuro y con un pericarpio aterciopelado (Blanco, 2019). La taxonomía de esta especie es la siguiente:

- **Dominio:** Eukaryota
- **Reino:** Plantae
- **Filo:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida (= Dicotyledoneae)
- **Orden:** Scrophulariales
- **Familia:** Acanthaceae
- **Género:** *Avicennia*
- **Especie:** *Avicennia germinans* (Estación Científica Charles Darwin, 2021)

Flores y fruto. – Las flores se encuentran en inflorescencias axilares y terminales, con 1 a 15 pares de flores por espiga. Son pequeñas (de 1 a 2 cm de ancho), sésiles y con brácteas imbricadas. La corola tiene cuatro lóbulos. Los pétalos son amarillos o de color arena a blanco, por lo general con un color amarillento en la entrada del tubo de la corola. La fragante flor, que es polinizada

por los insectos, tiene un ovario de dos células; cada lóculo contiene dos loculitas. La florescencia es esporádica a través del año, aunque se pueden observar máximos bien marcados. La madurez sexual se alcanza cuando las plantas tienen de 2 a 3 m de altura (Jiménez y Lugo, 2000).

La especie se considera como vivípara porque la germinación ocurre cuando el embrión se encuentra todavía encerrado dentro del fruto. Una plántula distintiva se desarrolla antes de la caída del fruto del árbol progenitor. La expansión de los cotiledones y el desarrollo de hojas plumulares es evidente (Jiménez y Lugo, 2000).

Tres de los cuatro óvulos son abortados, produciendo un fruto con una sola semilla. El fruto es oblongo o elíptico, con un peso aproximado de 1.1 g y una longitud promedio de 1.8 cm. Se han reportado árboles produciendo más de 300 frutos por año (Jiménez y Lugo, 2000).

3.2.7 Carbono y su importancia en el ambiente

Todo organismo vivo sobre la faz de la Tierra está hecho a base de carbono. En el ambiente puede formar sales inorgánicas como carbonatos, gases y compuestos volátiles, y combustibles como el petróleo o el metano. También puede agruparse solo entre átomos de carbono, dando origen al diamante o el grafito. Por todo esto, el carbono es parte fundamental para la existencia de la vida y los elementos inorgánicos que hay en la Tierra (Ceaza, 2019).

3.2.7.1 Captura de carbono

La importancia de capturar carbono, particularmente el CO₂, es poder incorporar el carbono inorgánico (CO₂) y transformarlo en una forma orgánica, que pueda ser utilizado por los seres vivos. El Reino Plantae se encarga de esta tarea, asimilando el CO₂ en forma de carbohidratos (sacarosa, fructosa, almidón, etc.) (Ceaza, 2019).

La excesiva liberación de carbono (CO_2 , metano, y compuestos volátiles) por sobre su captura, hace que se acumule en la atmósfera y en el océano. En el caso del océano, provoca desbalances en el pH que tiene efectos significativos sobre el desarrollo de organismos que forman parte de la base alimenticia de muchos de los organismos marinos (Ceaza, 2019).

3.2.7.2 Los colores del carbono

Según Factor CO_2 (2016), el carbono puede clasificarse en cuatro tipologías, las cuales se identifican con cuatro “colores”.

3.2.7.2.1 Carbono marrón

Lo constituyen las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), de fuentes como la combustión residencial de madera y los incendios forestales (Factor CO_2 , 2016).

El “carbón marrón” (BrC), es una partícula orgánica muy pequeña producida por la quema de biomasa forestal en la cuenca amazónica, contribuye a disminuir la producción de ozono y agrava el calentamiento global. También absorbe la luz solar en longitudes de ondas cortas (Scientific Reports, 2016).

3.2.7.2.2 Carbono negro

Lo constituyen partículas, como el polvo atmosférico, y es el resultado de la combustión incompleta de combustibles fósiles como diésel, biocombustibles y biomasa, y es lo que da el color negro al hollín. Se adhiere, principalmente, en las zonas bajas e intermedias de los glaciares (Gallardo, 2019).

Calienta al planeta mediante la absorción de radiación solar, deteriora la calidad del aire y se le ha asociado con efectos negativos graves sobre la salud humana, daños a diversos ecosistemas y a la infraestructura urbana (Semarnat, 2017).

3.2.7.2.3 *Carbono verde*

No se encuentra libre en la atmósfera como los anteriores, sino almacenado en la biomasa de plantas y suelos de los sistemas gestionados de las tierras forestales, los pastizales y cultivos; o en ecosistemas naturales como selvas tropicales, bosques y praderas. Estas hábitats actúan como “sumideros naturales de carbono” ya que, gracias a la actividad fotosintética de los organismos vegetales, el carbono atmosférico es capturado, utilizado y almacenado (Factor CO₂, 2016).

3.2.7.2.4 *Carbono azul*

Esta tipología de carbono se incorpora a los océanos en la mezcla de éstos con la atmósfera. Se acumula en manglares, marismas y pastos marinos, en el suelo, la biomasa aérea viva (hojas, ramas, tallos), la biomasa subterránea viva (raíces) y la biomasa muerta (detritos y madera muerta) (The Blue Carbon Initiative, 2014).

Aunque la biomasa de los organismos responsables de la formación del carbono azul es muy inferior a la de los organismos responsables del carbono verde, se estima que aquellos absorben anualmente la misma cantidad de carbono que los organismos fotosintéticos terrestres, por lo que representan sumideros de carbono extremadamente eficientes y eficaces (Life Blue Natura, 2017).

3.3 Marco legal

3.3.1 Constitución de la República del Ecuador, 2008

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, Sumak Kawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p. 13).

Art. 73. – El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional (p. 31).

Art. 313 (Tercer inciso). – Se consideran sectores estratégicos los recursos naturales no renovables, la biodiversidad y el patrimonio genético (p. 94).

Art. 400. – El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional.

Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país (p. 115).

Art. 404. – El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otros, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural 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 y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley (p. 116).

Art. 405. – El 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 extranjeras no podrán adquirir a ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley (p. 116).

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 pantanos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros (p. 116).

3.3.2 Tratados y convenios internacionales

3.3.2.1 Convenio sobre la Diversidad Biológica

Este convenio cubre la diversidad biológica a todos los niveles: ecosistemas, especies y recursos genéticos. También cubre la biotecnología, entre otras cosas. De hecho, cubre todos los posibles dominios que están directa o

indirectamente relacionados con la diversidad biológica y sus papel en el desarrollo, desde la ciencia, la política y la educación, a la agricultura, los negocios, la cultura y mucho más.

Art. 6. – Medidas generales a los efectos de la conservación y la utilización sostenible

Cada Parte Contratante, con arreglo a sus condiciones y capacidades particulares:

- a) Elaborará estrategias, planes o programas para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica o adaptará para ese fin las estrategias, planes o programas existentes, que habrán de reflejar, entre otras cosas, las medidas establecidas en el presente Convenio que sean pertinentes para la Parte Contratante interesada; y,
- b) Integrará, en la medidas de lo posible y según procesa, la conservación y la utilización, sostenible de la diversidad biológica en los planes, programas y políticas sectoriales o intersectoriales (p. 5).

Art. 12. – Investigación y capacitación

Las Partes Contratantes, teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo:

- a) Establecerán y mantendrán programas de educación y capacitación científica y técnica en medidas de identificación, conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica y sus componentes y prestarán apoyo para tal fin centrado en las necesidades específicas de los países en desarrollo;
- b) Promoverán y fomentarán la investigación que contribuya a la conservación y a la utilización sostenible de la diversidad biológica, particularmente en los países en desarrollo, entre otras cosas de conformidad con las decisiones adoptadas por la Conferencia de las Partes a raíz de las recomendaciones del órgano subsidiario de asesoramiento científico, técnico y tecnológico; y,
- c) De conformidad con las disposiciones de algunos artículos, promoverán la utilización de los adelantos científicos en materia de investigaciones sobre diversidad biológica para la elaboración de métodos de conservación y utilización sostenible de los recursos biológicos, y cooperarán en esa esfera (p. 7).

3.3.2.2 Convención Ramsar relativa a los Humedales de Importancia

Internacional

Se elaboró como medio de llamar la atención internacional sobre el ritmo con que los hábitats de humedales estaban desapareciendo, en parte debido a la falta de comprensión de sus importantes funciones, valores, bienes y servicios. Los gobiernos que se adhieren a la Convención están expresando su disposición a comprometerse a invertir el curso de esta historia de pérdida y degradación de humedales.

Este acuerdo internacional es el único de los modernos convenios en materia de medio ambiente que se centra en un ecosistema específico, los humedales, y aunque en origen su principal objetivo estaba orientado a la conservación y uso racional con relación a las aves acuáticas, actualmente busca el reconocimiento de la importancia de estos ecosistemas como fundamentales en la conservación global y el uso sostenible de la biodiversidad, con importantes funciones (regulación de la fase continental del ciclo hidrológico, recarga de acuíferos, estabilización del clima local), valores (recursos biológicos, pesquerías, suministro de agua) y atributos (refugio de diversidad biológica, patrimonio cultural, usos tradicionales).

La inclusión de sitios en la Lista de Ramsar les da el prestigio que trae consigo el reconocimiento internacional y conlleva el deber de los gobiernos de tomar medidas para garantizar el mantenimiento de sus características ecológicas.

3.3.3 Código Orgánico del Ambiente

El Código Orgánico del Ambiente (COA) (Registro Oficial N.º 983 del 12 de abril de 2017), define en su glosario de terminologías como ecosistemas frágiles a las «zonas con características o recursos singulares muy susceptibles a cualquier intervención de carácter antrópico, que producen en el mismo una alteración en su estructura y composición», reiterando lo especificado por la Constitución respecto a que los manglares son ecosistemas frágiles, lo que les otorga una gran relevancia a nivel de la biodiversidad del Ecuador.

En este contexto, el COA establece los siguientes artículos vinculados a la gestión de la conservación de la biodiversidad del Ecuador:

Art. 29. – La biodiversidad es un recurso estratégico del Estado, que deberá incluirse en la planificación territorial nacional y de los gobiernos autónomos descentralizados como un elemento esencial para garantizar un desarrollo equitativo, solidario y con responsabilidad intergeneracional en los territorios (p. 20).

Art. 31. – La conservación de la biodiversidad se realizará in situ o ex situ, en función de sus características ecológicas, niveles de endemismo, categoría de especies amenazadas de extinción, para salvaguardar el patrimonio biológico de la erosión genética, conforme a la política formulada por la Autoridad Ambiental Nacional (p. 21).

Art. 34. – La Autoridad Ambiental Nacional será la responsable de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, para lo cual podrá establecer obligaciones y condiciones en los planes de manejo (p. 21).

Art. 99. – Será de interés público la conservación, protección y restauración de los páramos moretales y ecosistema de manglar. Se prohíbe su afectación, tala y cambio de uso de suelo, de conformidad con la ley (p. 35).

Las comunas, comunidades, pueblos, nacionalidad y colectivos participarán en el cuidado de estos ecosistemas y comunicarán a la autoridad competente cualquier violación o destrucción de los mismos (p. 36).

Art. 103. – El ecosistema manglar es un bien del Estado, el mismo que está fuera del comercio, no es susceptible de posesión o cualquier otro medio de apropiación, y sobre él no puede adquirirse el dominio ni ningún otro derecho real por prescripción; y solamente podrá ser aprovechado sosteniblemente mediante concesión otorgada o renovada por el Ministerio rector de ámbito pesquero.

Las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades ancestrales podrán solicitar se les conceda la custodia y uso sostenible del manglar para su subsistencia, aprovechamiento y comercialización exclusiva de peces, moluscos y crustáceos, entre otras especies, que se desarrollen en este hábitat. Se propiciará y priorizará la organización de asociaciones de la economía popular y solidaria. Las actividades de uso, y demás consideraciones técnicas relativas al área, estarán definidas por la Autoridad Ambiental Nacional (p. 36).

3.3.4 Decreto Ejecutivo emitido para la restauración de áreas de manglar ocupadas ilegalmente

El Decreto Ejecutivo N.º 1391 del 15 de octubre de 2008, para la restauración de áreas de manglar ocupadas ilegalmente por la actividad camaronera, ha permitido recuperar 3078,18 ha de manglar a través de reforestaciones efectuadas que han sido recibidas oficialmente por la Subsecretaría de Gestión Marina y Costera (SGMC) (p. 34).

3.3.5 Acuerdos Ministeriales emitidos en torno a la declaratoria de áreas de manglar como parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas

El ecosistema de manglar constituye un bien de uso público y gran parte de él se encuentra dentro de las Áreas Marino Costeras Protegidas (AMCP), del subsistema estatal del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), declaradas como tal bajo Acuerdos Ministeriales. Estas forman parte de la Red de AMCP del Ecuador creada mediante Acuerdo Ministerial N.º 30 del 17 de mayo del 2017 (p. 34).

3.3.6 Resolución Ministerial emitida para establecer el costo total por pérdida de bienes y servicios ambientales y costo de restauración

La Resolución Ministerial N.º 053 del 28 de enero de 2011 establece, en su artículo 1, como costo total por pérdida de bienes y servicios ambientales y costo de restauración por tala, aprovechamiento, alteración, transformación o destrucción de bosques de manglar, la cantidad de USD 89273,01 por ha (p. 36).

3.4 Análisis

3.4.1 Técnicas de muestreo y métodos empleados para el cálculo de las características morfométricas aplicables en especies de mangle

3.4.1.1 Técnicas de muestreo

3.4.1.1.1 Transectos

El método de los transectos es ampliamente utilizado por la rapidez con que se mide y por la mayor heterogeneidad con que se muestrea la vegetación. Un transecto es un rectángulo situado en un lugar para medir ciertos parámetros de un determinado tipo de vegetación. El tamaño de estos puede ser variable y depende del grupo de plantas a medirse. En los transectos, generalmente se miden parámetros como altura de la planta, abundancia, DAP (diámetro a la altura del pecho) y frecuencia (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.2 Transectos variables

Este método es una variante de los transectos y fue propuesto para realizar evaluaciones rápidas de la vegetación. Tiene como base muestrear un número estándar de individuos en vez de una superficie estándar y no requiere tomar medidas precisas de los datos. Con este método, se pueden muestrear todas las plantas o clases de plantas, separadas por formas de vida (árboles, arbustos, bejucos, hierbas, epífitas), familias (como palmeras), o individuos de una sola especie (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.3 Cuadrantes

El método de los cuadrantes es una de las formas más comunes de muestreo de vegetación. Los cuadrantes hacen muestreos más homogéneos y tienen menos impacto de borde en comparación a los transectos. Por su facilidad de determinar la cobertura de especies, hoy en día, pueden ser utilizados para muestrear

cualquier clase de plantas. El tamaño del cuadrante está inversamente relacionado con la facilidad y velocidad de muestreo, también, depende de la forma de vida y densidad de los individuos (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.4 Punto centro cuadrado

El punto-centro-cuadrado es uno de los métodos usados, principalmente, para el muestreo de árboles. Las ventajas de este método son la rapidez de muestreo, el poco equipo y mano de obra que requiere y, además, la flexibilidad de medición, puesto que no es necesario acondicionar el tamaño de la unidad muestral a las condiciones particulares de la vegetación. Este método está basado en la medida de cuatro puntos a partir de un centro, específicamente, consiste en ubicar puntos a través de una línea (senda, línea imaginaria) (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.5 Líneas de intercepción

La línea de intercepción se basa en el principio de la reducción de un transecto a una línea. Se aplica para estudiar la vegetación densa y para caracterizar la vegetación graminoide. Este método produce datos para cálculos de cobertura y frecuencia de especies; es rápido, objetivo y relativamente preciso. En las líneas de muestreo, se procede a contar todas las intercepciones o proyecciones de las plantas (ramas, tallos, hojas, flores) sobre la línea y se registra la información de acuerdo a una planilla (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.6 Puntos de intercepción

El punto de intercepción es un método utilizado para determinar la estructura y composición de una formación vegetal y está basado en la posibilidad de registrar las plantas presentes o ausentes sobre un punto del suelo. En muchos casos sólo se utiliza para documentar la estructura de la vegetación, determinando la cobertura de cada una de las formas de vida en los diferentes estratos (clases de altura).

Generalmente, los puntos se establecen cada uno o dos metros, dependiendo de la intensidad de muestreo (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.7 Muestreos fitosociológicos

Este tipo de muestreo sirve, especialmente, para estimar la dominancia de especies por medio de la cobertura. La ventaja de este método es la rapidez con que se puede caracterizar y clasificar la vegetación. Su desventaja es la subjetividad con que se obtiene la información, además de que se debe conocer toda la flora existente en las zonas de muestreo, ya que el área de muestreo está relacionada con el área mínima (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.1.8 Consideraciones únicas para la medición de carbono en manglares

Los manglares tienen varias propiedades únicas que hay que considerar al diseñar un estudio para la determinación de su estructura y reservas de carbono. Por lo general, los manglares tienen alta densidad de árboles con abundantes raíces aéreas o neumatóforos. Además, los manglares suelen estar divididos por canales de agua inundados durante las mareas que son difíciles de cruzar, especialmente durante la marea alta. Estos y otros peligros limitan la movilidad dentro del bosque y disminuyen la seguridad de los participantes en los muestreos de campo (Kauffman et al., 2012).

Los manglares están sujetos a ciclos de marea y la mayoría sólo pueden ser muestreados durante la marea baja. Por esta razón, el tiempo para muestrear el suelo de los manglares puede estar limitado por la inundación de la marea. Esta limitación es más importante en zonas con amplitud alta de marea que en zonas donde el rango de marea es muy bajo. Algunos manglares solo pueden muestrearse cuando la marea es muy baja en períodos cortos de tiempo (3-4 horas).

Es por esto que se requieren métodos eficientes para trabajar en el campo que consideren las variaciones de la marea (Kauffman et al., 2012).

Puede utilizarse la “Regla de los doceavos” para determinar el tiempo disponible para muestrear. El nivel del agua de un ciclo de marea cambia predeciblemente de una forma no lineal (Kauffman et al., 2012):

- Durante la primera hora después de la marea alta, la marea baja 1/12 de su altura total
- Durante la segunda hora, baja 2/12 más
- Durante la tercera hora, baja 3/12 más
- Durante la cuarta hora, baja 3/12 más
- Durante la quinta hora, baja 2/12 más
- Durante la sexta hora, baja 1/12 más
- Este patrón se repite de forma similar durante la creciente de la marea.

3.4.1.2 Métodos para el cálculo de características morfométricas

3.4.1.2.1 Altura

La altura es uno de los principales parámetros que se miden en una vegetación o una especie. Las fórmulas para medir la altura (h) de árboles con distancias conocidas son las siguientes (Mostacedo y Fredericksen, 2000):

$$h = 15m * \text{Tan}\alpha + P \quad h = 20m * \text{Tan}\alpha + P$$

Donde:

h = Altura total

$\text{Tan}\alpha$ = tangente de un ángulo

P = Altura de la persona que realiza la medición

3.4.1.2.2 Área basal

Este parámetro (AB) se mide obteniendo el diámetro o el perímetro a la altura del pecho (DAP a una altura de 1.3) de los árboles. La fórmula que se utilizará será:

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

Donde:

AB = Área Basal (m^2)

π = 3.1416

DAP = Diámetro a la altura del pecho

Para facilitar el cálculo del área basal, utilizando el diámetro, ésta es equivalente a $0.7854 * D^2$ (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

3.4.1.2.3 Volumen

Para obtener el volumen se aplica la siguiente fórmula (Brown, 1997):

$$V = AB * f * h$$

Donde:

V = Volumen del árbol (m^3)

AB = Área Basal (m^2)

f = Factor de forma (0.5)

h = Altura total (m)

3.4.1.2.4 Biomasa total aérea

La biomasa total aérea se obtiene multiplicando la biomasa total de fuste por el factor de expansión de biomasa usando la siguiente fórmula (Quiceno et al., 2016):

$$Bt = Btf * Feb$$

Donde:

Btf = Biomasa total de fuste

Feb = Factor de expansión de biomasa

3.4.1.2.5 *Biomasa total de fuste*

La biomasa total de fuste va desde la superficie del suelo donde empieza el tronco o fuste hasta la primera ramificación del árbol donde comienza la copa. La suma de la biomasa del tronco, ramas, hojas y biomasa aérea dará como resultado el total de la biomasa del fuste. La fórmula es la siguiente (De la Peña et al., 2010):

$$B_{tf} = BT + BR + BH + BA$$

Donde:

B_{tf} = Biomasa total de fuste (ton/ha)

BT = Biomasa tronco

BR = Biomasa ramas

BA = Biomasa aérea

3.4.1.2.6 *Carbono total almacenado*

Aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal corresponde al contenido de carbono por hectárea, por lo cual se estima el carbono total almacenado multiplicando la biomasa total en ton/ha por la fracción de carbono en biomasa que es 0,5. La fórmula que se utiliza es la siguiente (Quiceno et al., 2016):

$$CT = Bt * Fc (0.5)$$

Donde:

CT = Carbono Total Almacenado (ton/ha)

Bt = Biomasa total (ton/ha)

Fc = Fracción de carbono en biomasa (0.5)

3.4.2 Recopilación de información cuantitativa respecto a las características morfométricas del mangle rojo y el mangle negro

Los datos recopilados para el estudio de cada variable por cada especie se presentan en la Tabla 2 y la Tabla 3, ubicadas en anexos. Dentro del apartado de cada variable se muestra un gráfico que sintetiza los datos obtenidos durante la investigación.

3.4.2.1 Características del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.)

Altura

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 2 ubicada en anexos. En la Figura 1 se muestran los resultados de la investigación referentes a la altura del mangle rojo según diversos autores:

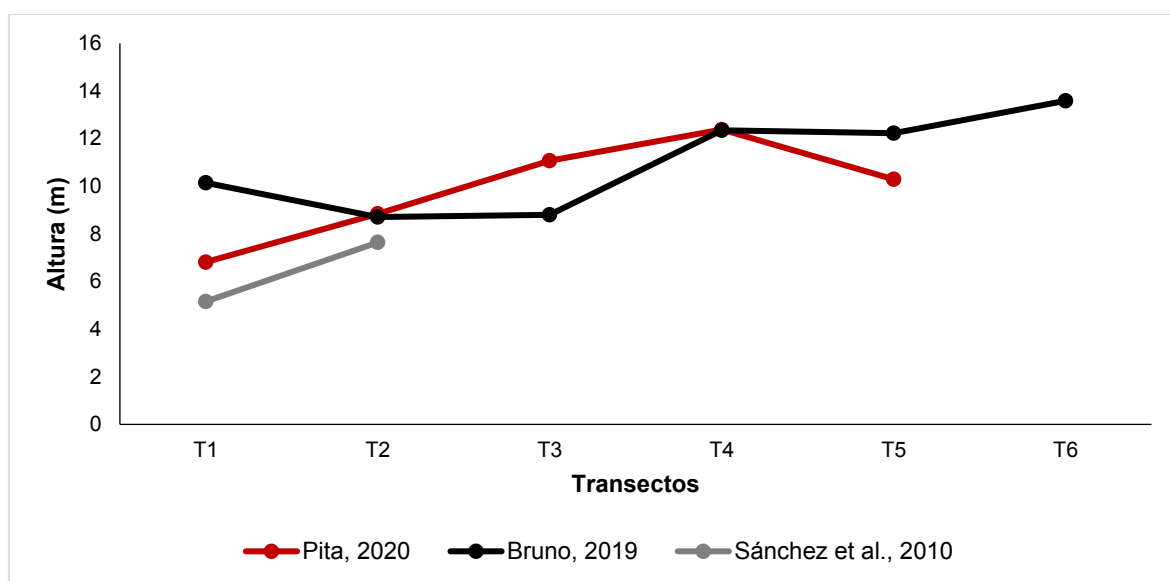


Figura 1. Altura del mangle rojo según diversos autores
Renteria, 2021

Pita (2020), realizó un estudio en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, encontrando que la altura máxima fue de 12,38 m en el transecto 4 y la altura mínima fue de 6,82 en el transecto 1.

Bruno (2019), realizó un estudio en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, encontrando que la altura máxima fue de 13,59 m en el transecto 6 y la altura mínima fue de 8,71 m en el transecto 2.

Sánchez et al. (2010), realizaron un estudio en Isla Margarita-Venezuela, encontrando que la altura máxima fue de 7,64 m en el transecto 2 y la altura mínima fue de 5,16 m en el transecto 1.

Área basal

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 2 ubicada en anexos. En la Figura 2 se muestran los resultados de la investigación referentes al área basal del mangle rojo según diversos autores:

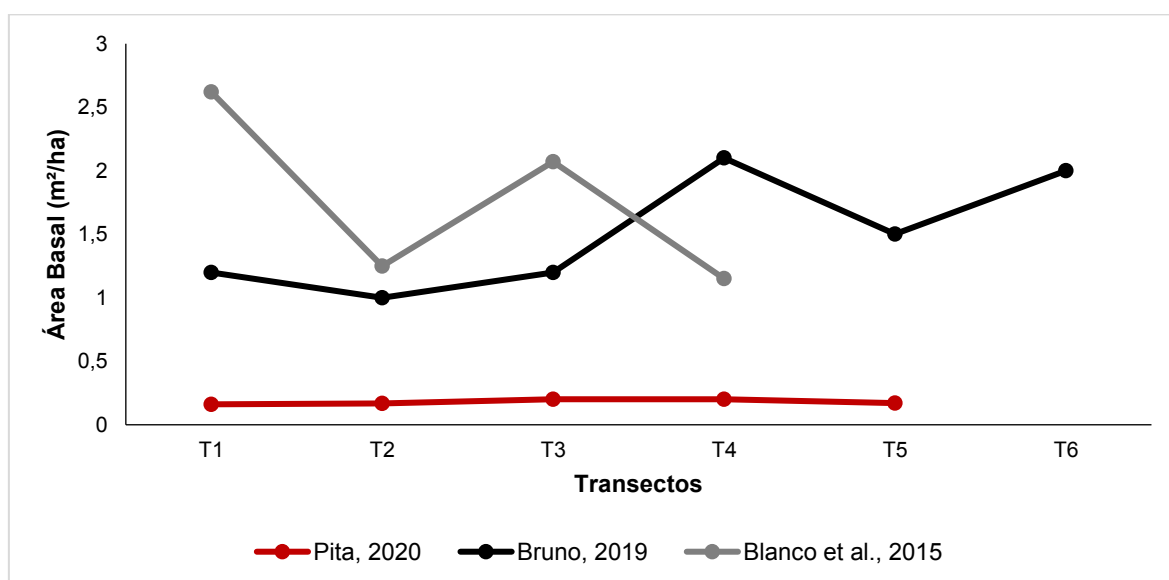


Figura 2. Área basal del mangle rojo según diversos autores
Rentería, 2021

Pita (2020), realizó un estudio en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, encontrando que el área basal máxima fue de 0,02 m²/ha en los transectos 3 y 4; y el área basal mínima fue de 0,016 m²/ha en el transecto 1.

Bruno (2019), realizó un estudio en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, encontrando que el área basal máxima fue de 0,21 m²/ha en el transecto 4 y el área basal mínima fue de 0,1 m²/ha en el transecto 2.

Blanco et al. (2015), realizaron un estudio en Urabá-Colombia, encontrando que el área basal máxima fue de 26,2 m²/ha en el transecto 1 y el área basal mínima fue de 11,5 m²/ha en el transecto 4.

Volumen

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 2 ubicada en anexos. En la Figura 3 se muestran los resultados de la investigación referentes al volumen del mangle rojo según diversos autores:

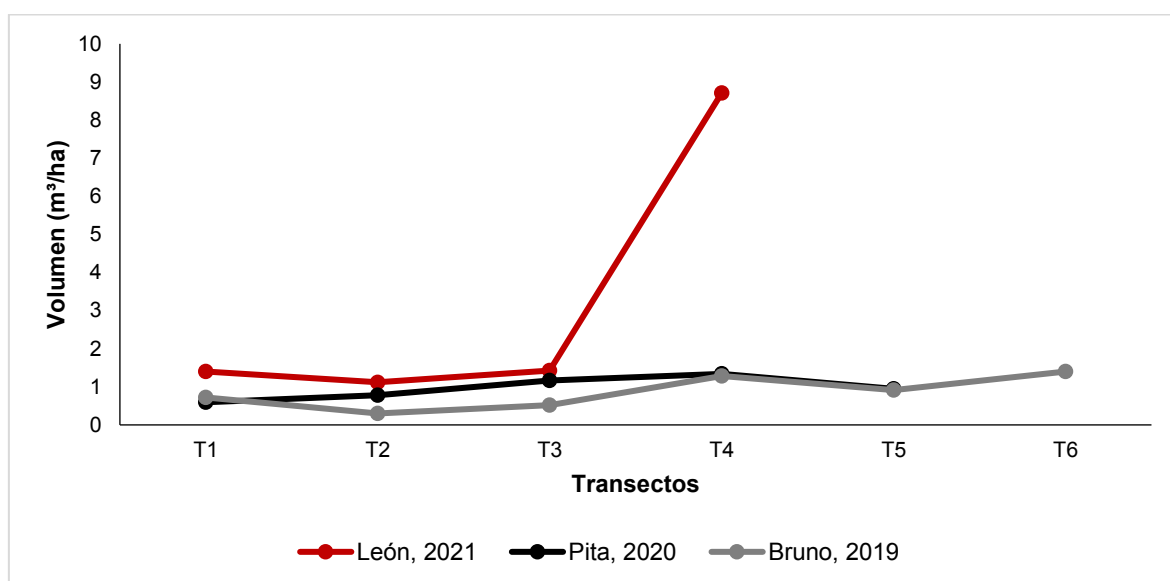


Figura 3. Volumen del mangle rojo según diversos autores
Renteria, 2021

León (2021), realizó un estudio en Puerto El Morro, encontrando que el volumen máximo fue de 8,71 m³/ha en el transecto 4 y el volumen mínimo fue de 1,12 m³/ha en el transecto 2.

Pita (2020), realizó un estudio en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, encontrando que el volumen máximo fue de 0,13 m³/ha en el transecto 4 y el volumen mínimo fue de 0,05 m³/ha en el transecto 1.

Bruno (2019), realizó un estudio en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, encontrando que el volumen máximo fue de 1,4 m³/ha en el transecto 6 y el volumen mínimo fue de 0,3 m³/ha en el transecto 2.

Biomasa total aérea

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 2 ubicada en anexos. En la Figura 4 se muestran los resultados de la investigación referentes a la biomasa total aérea del mangle rojo según diversos autores:

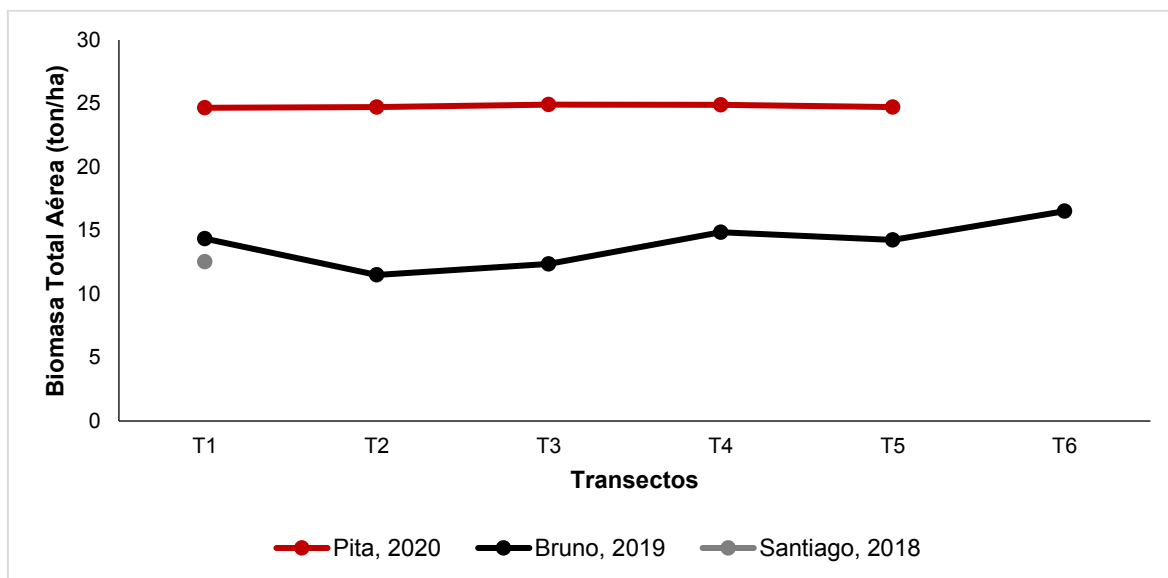


Figura 4. Biomasa total aérea del mangle rojo según diversos autores Rentería, 2021

Pita (2020), realizó un estudio en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, encontrando que la biomasa total aérea máxima fue de 24,91 ton/ha en el transecto 3 y la biomasa total aérea mínima fue de 24,66 ton/ha en el transecto 1.

Bruno (2019), realizó un estudio en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, encontrando que la biomasa total aérea máxima fue de 16,52 ton/ha en el transecto 6 y la biomasa total aérea mínima fue de 11,5 ton/ha en el transecto 2.

Santiago (2018), realizó un estudio en Tuxpan-México, encontrando que la biomasa total aérea máxima fue de 32,43 ton/ha y la biomasa total aérea mínima fue de 1,65 ton/ha, ambas en el transecto 1.

Biomasa total de fuste

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 2 ubicada en anexos. En la Figura 5 se muestran los resultados de la investigación referentes a la biomasa total de fuste del mangle rojo según diversos autores:

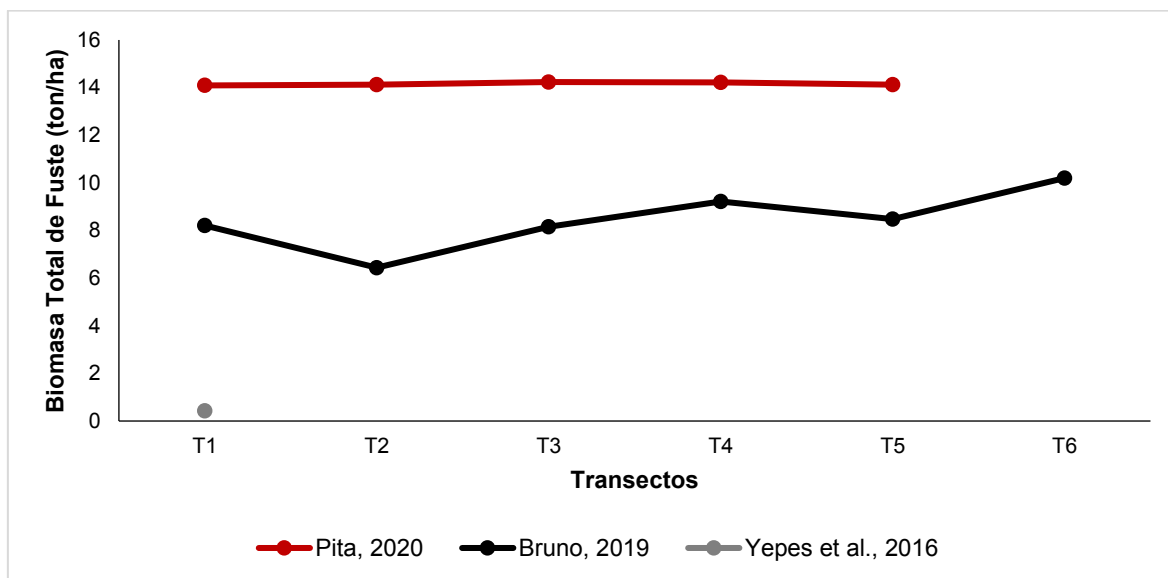


Figura 5. Biomasa total de fuste del mangle rojo según diversos autores Rentería, 2021

Pita (2020), realizó un estudio en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, encontrando que la biomasa total de fuste máxima fue de 14,23 ton/ha en el transecto 3 y la biomasa total de fuste mínima fue de 14,09 ton/ha en el transecto 1.

Bruno (2019), realizó un estudio en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, encontrando que la biomasa total de fuste máxima fue de 10,2 ton/ha en el transecto 6 y la biomasa total aérea mínima fue de 6,44 ton/ha en el transecto 2.

Yepes et al. (2016), realizaron un estudio en el Caribe Colombiano, encontrando que la biomasa total de fuste máxima fue de 0,54 ton/ha y la biomasa total aérea mínima fue de 0,29 ton/ha, ambas en el transecto 1.

3.4.2.2 Características del mangle negro (*Avicennia germinans*)

Altura

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 3 ubicada en anexos. En la Figura 6 se muestran los resultados de la investigación referentes a la altura del mangle negro según diversos autores:

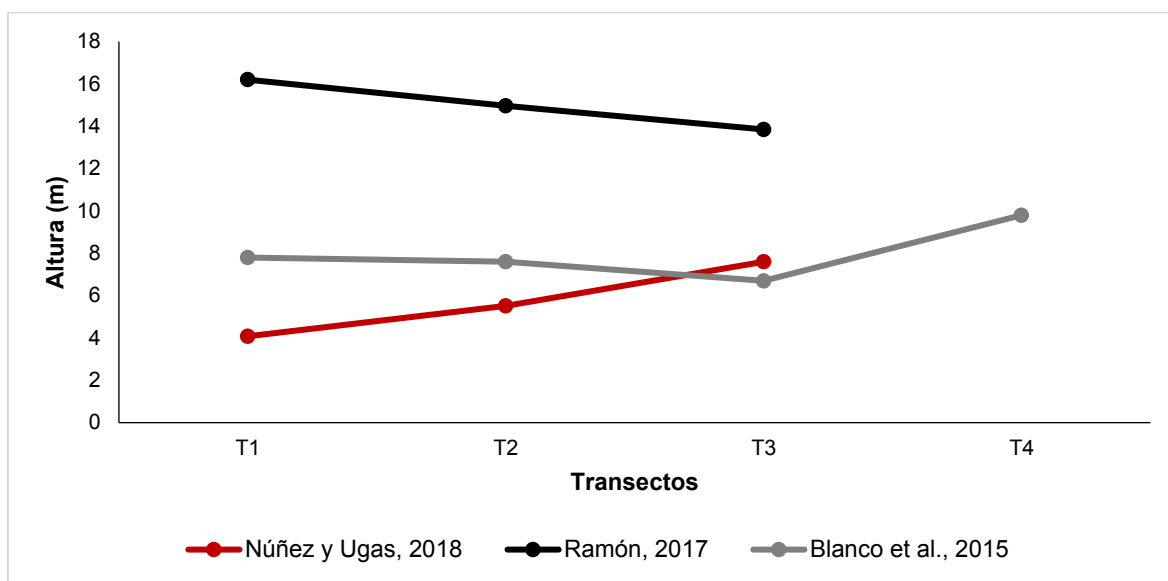


Figura 6. Altura del mangle negro según diversos autores
Rentería, 2021

Núñez y Ugas (2018), realizaron un estudio en Laguna de Unare-Venezuela, encontrando que la altura máxima fue de 7,6 m en el transecto 3 y la altura mínima fue de 4,08 m en el transecto 1.

Ramón (2017), realizó un estudio en Manglares El Salado, encontrando que la altura máxima fue de 16,2 m en el transecto 1 y la altura mínima fue de 13,85 m en el transecto 3.

Blanco et al. (2015), realizaron un estudio en Urabá-Colombia, encontrando que la altura máxima fue de 9,8 m en el transecto 4 y la altura mínima fue de 6,7 m en el transecto 3.

Área basal

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 3 ubicada en anexos. En la Figura 7 se muestran los resultados de la investigación referentes al área basal del mangle negro según diversos autores:

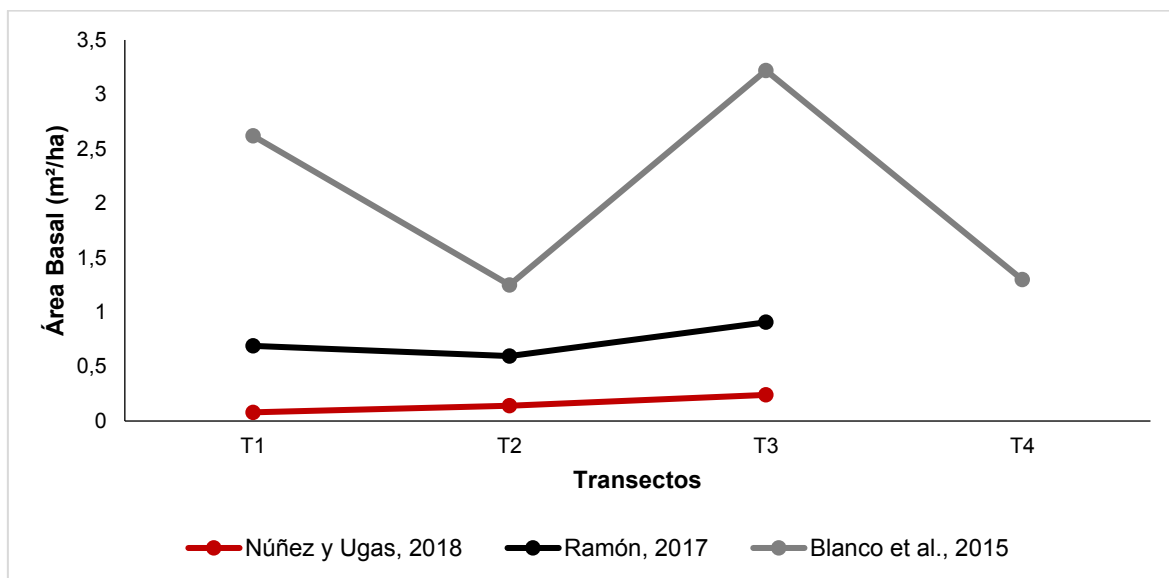


Figura 7. Área basal del mangle negro según diversos autores
Rentería, 2021

Núñez y Ugas (2018), realizaron un estudio en Laguna de Unare-Venezuela, encontrando que el área basal máxima fue de 0,024 m²/ha en el transecto 3 y el área basal mínima fue de 0,008 m²/ha en el transecto 1.

Ramón (2017), realizó un estudio en Manglares El Salado, encontrando que el área basal máxima fue de 0,90 m²/ha en el transecto 3 y el área basal mínima fue de 0,60 m²/ha en el transecto 2.

Blanco et al. (2015), realizaron un estudio en Urabá-Colombia, encontrando que el área basal máxima fue de 32,2 m²/ha en el transecto 3 y el área basal mínima fue de 12,5 m²/ha en el transecto 2.

Volumen

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 3 ubicada en anexos. En la Figura 8 se muestran los resultados de la investigación referentes al volumen del mangle negro según diversos autores:

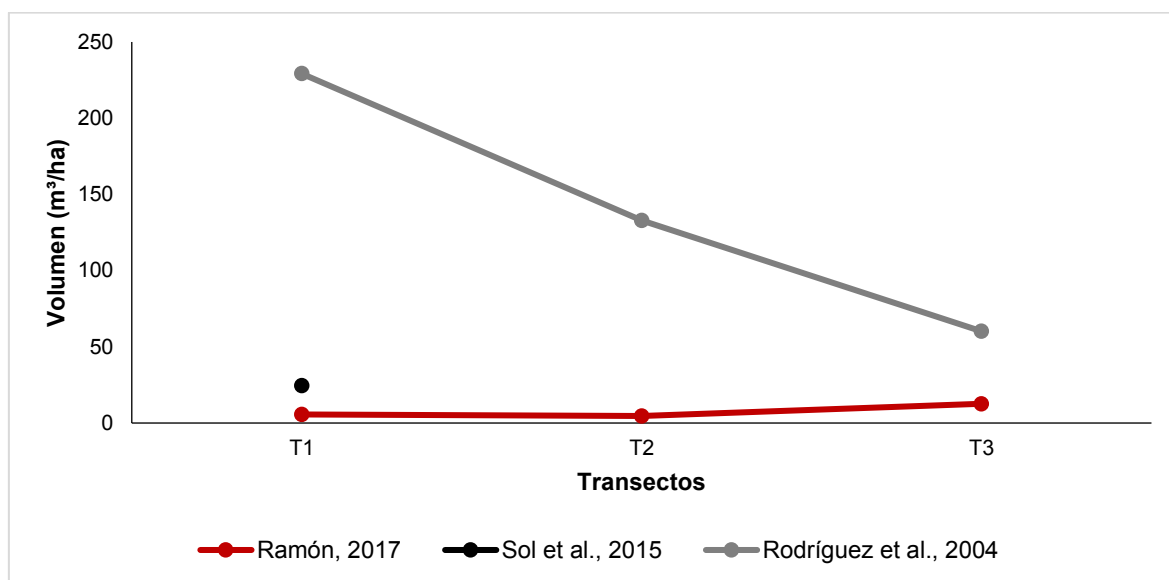


Figura 8. Volumen del mangle negro según diversos autores
Rentería, 2021

Ramón (2017), realizó un estudio en Manglares El Salado, encontrando que el volumen máximo fue de 12,64 m³/ha en el transecto 3 y el volumen mínimo fue de 4,63 m³/ha en el transecto 2.

Sol et al. (2015), realizaron un estudio en Cárdenas-Tabasco, encontrando que el volumen máximo fue de 61,0 m³/ha y el volumen mínimo fue de 9,1 m³/ha, ambas en el transecto 1.

Rodríguez et al. (2004), realizaron un estudio en Bahía de Chengue-Colombia, encontrando que el volumen máximo fue de 229,2 m³/ha en el transecto 1 y el volumen mínimo fue de 60,2 m³/ha en el transecto 3.

Biomasa total aérea

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 3 ubicada en anexos. En la Figura 9 se muestran los resultados de la investigación referentes a la biomasa total aérea del mangle negro según diversos autores:

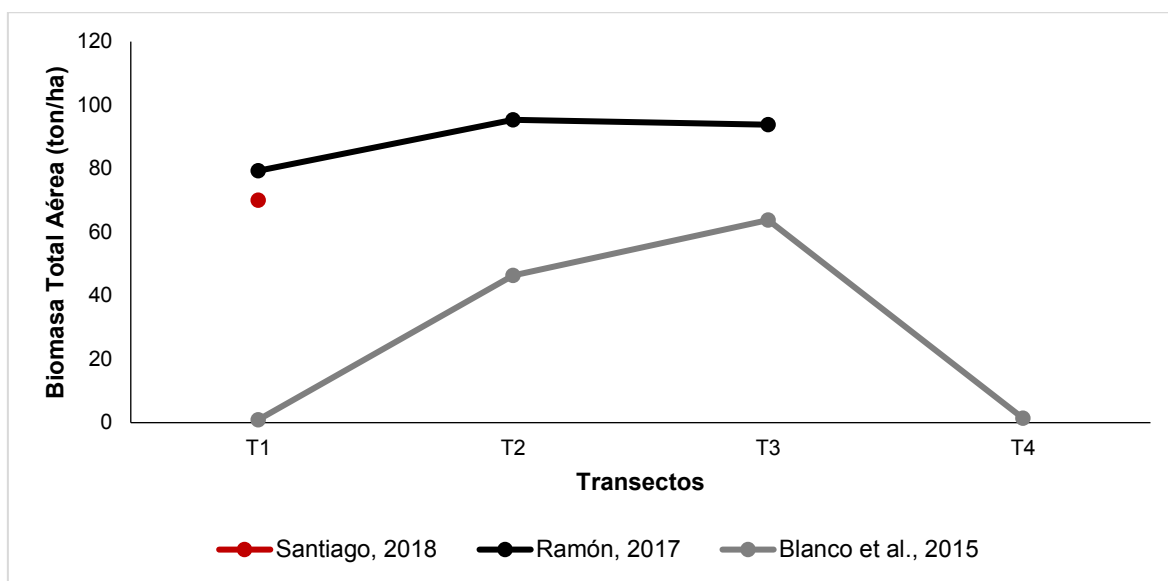


Figura 9. Biomasa total aérea del mangle negro según diversos autores
Rentería, 2021

Santiago (2018), realizó un estudio en Tuxpan-México, encontrando que la biomasa total aérea máxima fue de 165,06 ton/ha y la biomasa total aérea mínima fue de 11,89 ton/ha, ambas en el transecto 1.

Ramón (2017), realizó un estudio en Manglares El Salado, encontrando que la biomasa total aérea máxima fue de 95,37 ton/ha en el transecto 2 y la biomasa total aérea mínima fue de 79,32 ton/ha en el transecto 1.

Blanco et al. (2015), realizaron un estudio en Urabá-Colombia, encontrando que la biomasa total aérea máxima fue de 63,8 ton/ha en el transecto 3 y la biomasa total aérea mínima fue de 0,9 ton/ha en el transecto 1.

Biomasa total de fuste

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 3 ubicada en anexos. En la Figura 10 se muestran los resultados de la investigación referentes a la biomasa total de fuste del mangle negro según diversos autores:

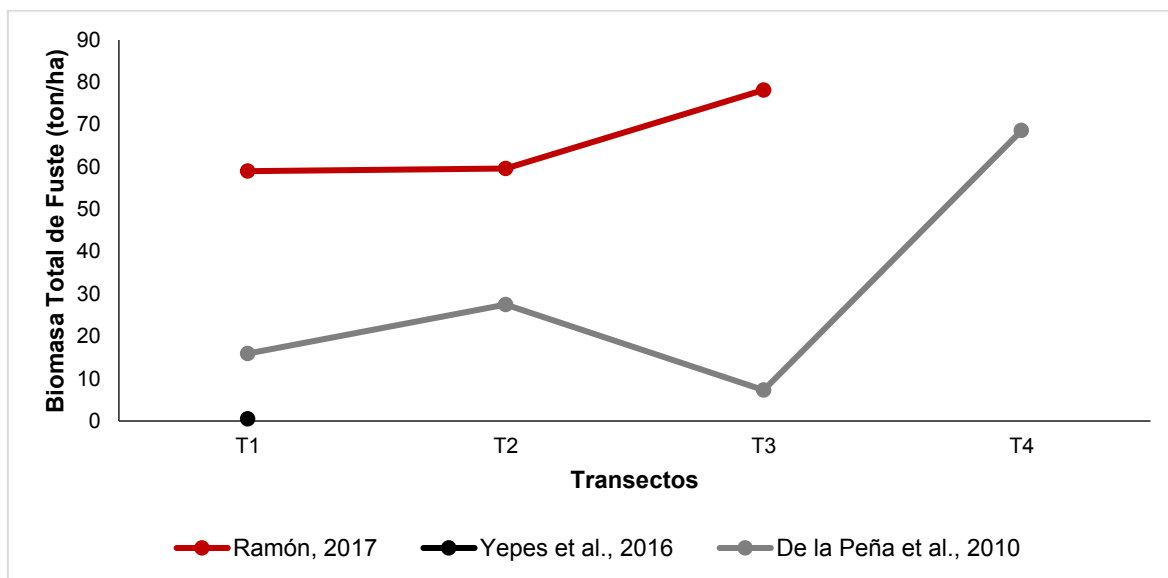


Figura 10. Biomasa total de fuste del mangle negro seg3n diversos autores Renteria, 2021

Ram3n (2017), realiz3 un estudio en Manglares El Salado, encontrando que la biomasa total de fuste m3xima fue de 78,19 ton/ha en el transecto 3 y la biomasa total a3rea m3nima fue de 59,01 ton/ha en el transecto 1.

De la Pe3a et al. (2010), realizaron un estudio en Santa Marta-Colombia, encontrando que la biomasa total de fuste m3xima fue de 68,6 ton/ha en el transecto 4 y la biomasa total a3rea m3nima fue de 7,3 ton/ha en el transecto 3.

Yepes et al. (2016), realizaron un estudio en el Caribe Colombiano, encontrando que la biomasa total de fuste m3xima fue de 0,83 ton/ha y la biomasa total a3rea m3nima fue de 0,05 ton/ha, ambas en el transecto 1.

3.4.2.3 Comparación de características del mangle rojo y mangle negro

Altura promedio

Para analizar la variable correspondiente, se promediaron los valores de la investigación referentes a la altura del mangle rojo y el mangle negro según diversos autores:

En la Figura 11, se presentan los resultados máximos y mínimos de altura promedio por cada especie de mangle.

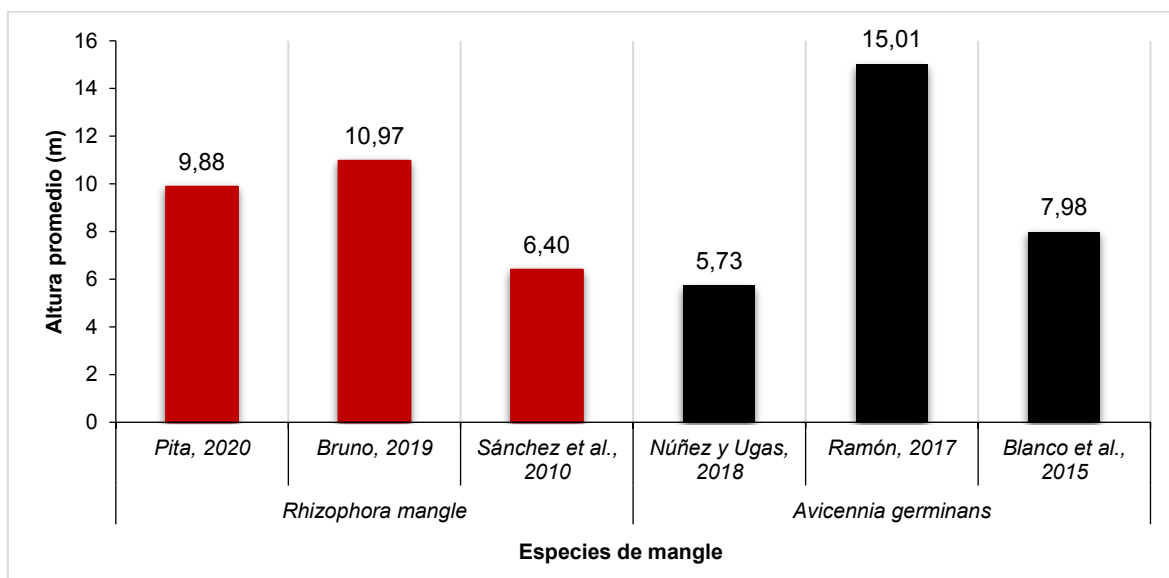


Figura 11. Altura promedio según diversos autores
Renteria, 2021

La altura máxima promedio del mangle rojo la obtuvo Bruno (2019) con 10,97 m y la altura mínima promedio fue de 6,40 m en el estudio de Sánchez et al. (2010). Mientras que, en el mangle negro, la altura máxima promedio obtenida por Ramón (2017) fue de 15,01 m y la altura mínima promedio la tuvo Núñez y Ugas (2018) con 5,73 m.

Área basal promedio

Para analizar la variable correspondiente, se promediaron los valores de la investigación referentes al área basal del mangle rojo y el mangle negro según

diversos autores. En la Figura 12 se presentan los resultados máximos y mínimos de área basal promedio por cada especie de mangle.

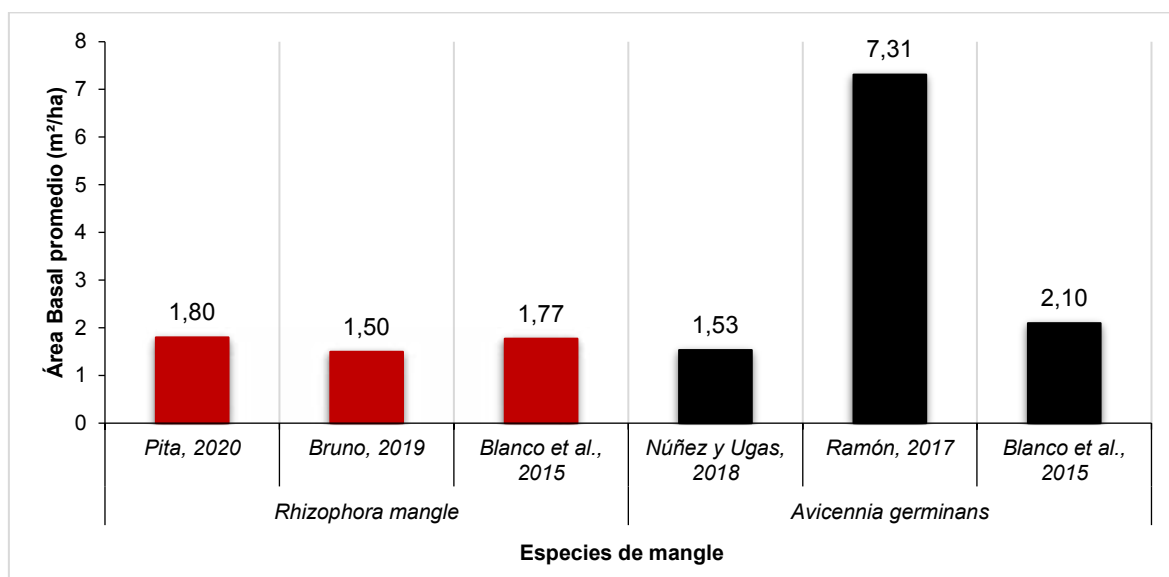


Figura 12. Área basal promedio según diversos autores
Renteria, 2021

El área basal máxima promedio del mangle rojo la obtuvo Pita (2020) con 1,80 m²/ha y el área basal mínima promedio fue de 1,50 m²/ha en el estudio de Bruno (2019). Mientras que, en el mangle negro, el área basal máxima promedio obtenida por Ramón (2017) muestra una relativa diferencia con relación a la obtenida en el mangle rojo, esta fue de 7,31 m²/ha y el área basal mínima promedio la tuvo Núñez y Ugas (2018) con 1,53 m²/ha.

Volumen promedio

Para analizar la variable correspondiente, se promediaron los valores de la investigación referentes al volumen del mangle rojo y el mangle negro según diversos autores. En la Figura 13 se presentan los resultados máximos y mínimos de volumen promedio por cada especie de mangle.

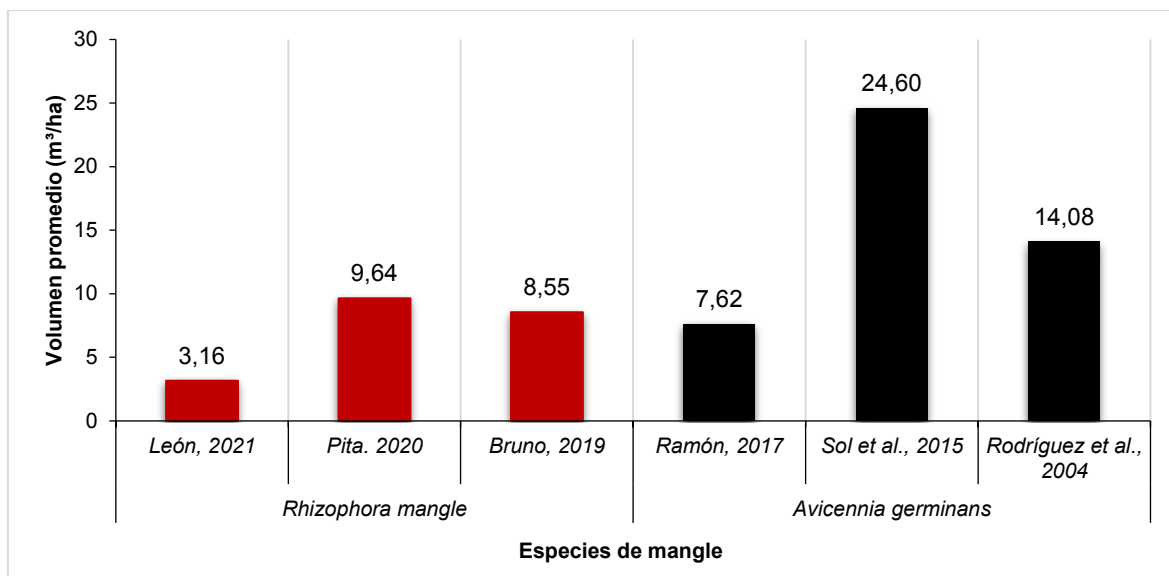


Figura 13. Volumen promedio según diversos autores
Rentería, 2021

El volumen máximo promedio del mangle rojo lo obtuvo Pita (2020) con 9,64 m³/ha y el volumen mínimo promedio fue de 3,16 m³/ha en el estudio de León (2021). Mientras que, en el mangle negro, el volumen máximo promedio obtenido por Sol et al. (2015) muestra una diferencia significativa con relación al obtenido en el mangle rojo, esta fue de 24,60 m³/ha y el volumen mínimo promedio la tuvo Ramón (2017) con 7,62 m³/ha.

Biomasa total aérea promedio

Para analizar la variable correspondiente, se promediaron los valores de la investigación referentes a la biomasa total aérea del mangle rojo y el mangle negro según diversos autores. En la Figura 14 se presentan los resultados máximos y mínimos de biomasa total aérea promedio por cada especie de mangle.

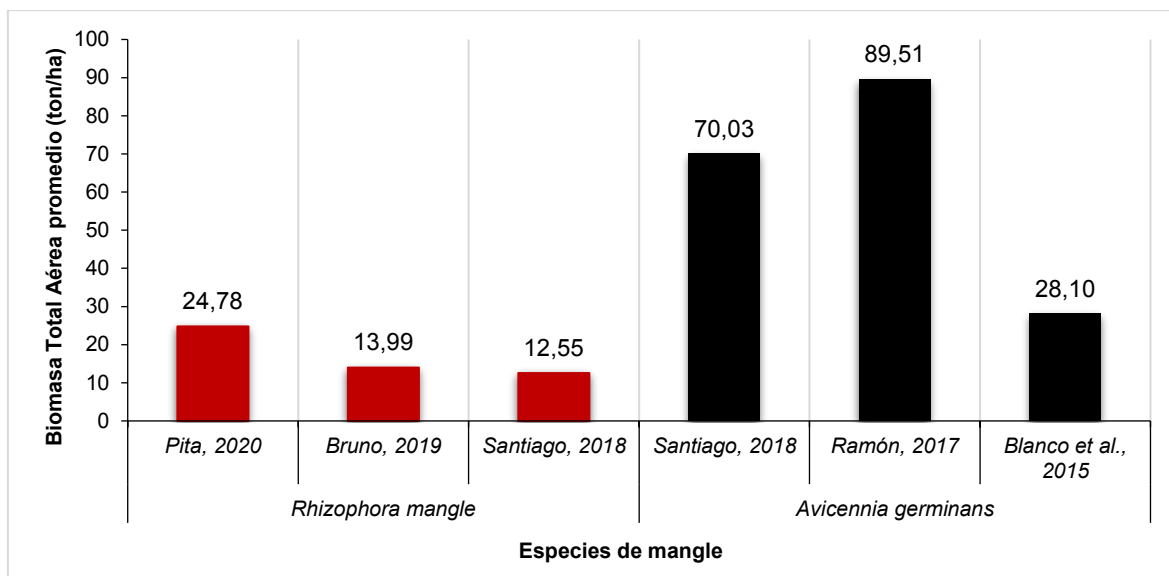


Figura 14. Biomasa total aérea promedio según diversos autores Rentería, 2021

La biomasa total aérea máxima promedio del mangle rojo la obtuvo Pita (2020) con 24,78 ton/ha y la biomasa total aérea mínima promedio fue de 12,55 ton/ha en el estudio de Santiago (2018). Mientras que, en el mangle negro, la biomasa total aérea máxima promedio obtenida por Ramón (2017) muestra una gran diferencia con relación a la obtenida en el mangle rojo, esta fue de 89,51 ton/ha y la biomasa total aérea mínima promedio la tuvo Blanco et al. (2015) con 28,10 ton/ha.

Biomasa total de fuste promedio

Para analizar la variable correspondiente, se promediaron los valores de la investigación referentes a la biomasa total del fuste del mangle rojo y el mangle negro según diversos autores. En la Figura 15 se presentan los resultados máximos y mínimos de biomasa total de fuste promedio por cada especie de mangle.

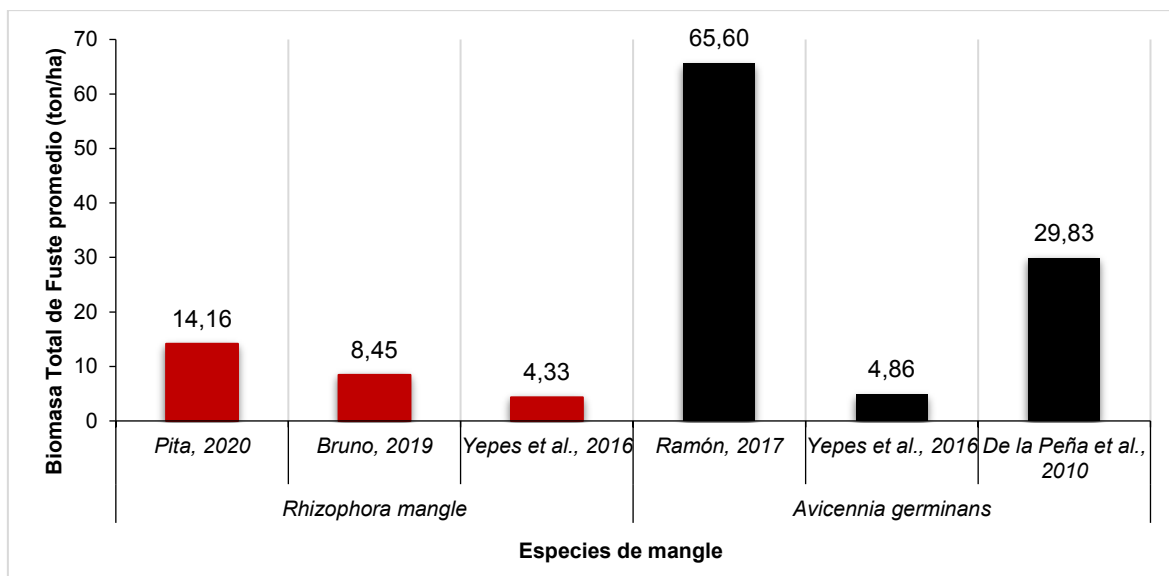


Figura 15. Biomasa total de fuste promedio según diversos autores
Rentería, 2021

La biomasa total de fuste máxima promedio del mangle rojo la obtuvo Pita (2020) con 14,16 ton/ha y la biomasa total de fuste mínima promedio fue de 4,33 ton/ha en el estudio de Yepes et al. (2016). Mientras que, en el mangle negro, la biomasa total de fuste máxima promedio obtenida por Ramón (2017) muestra una gran diferencia con relación a la obtenida en el mangle rojo, esta fue de 65,60 ton/ha y la biomasa total de fuste mínima promedio la tuvo Yepes et al. (2016) con 4,86 ton/ha.

3.4.3 Potencial de captura de carbono azul de las especies de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y el mangle negro (*Avicennia germinans*)

3.4.3.1 Carbono total almacenado del mangle rojo

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 2 ubicada en anexos. En la Figura 16 se muestran los resultados de la investigación referentes al carbono total almacenado del mangle rojo según diversos autores:

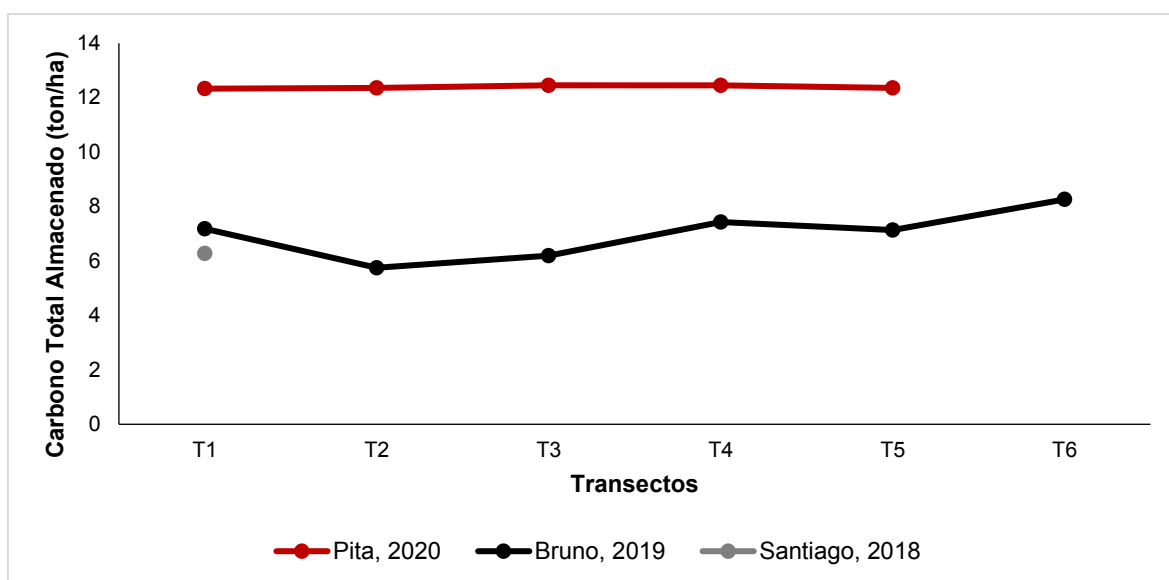


Figura 16. Carbono total almacenado del mangle rojo según diversos autores Rentería, 2021

Pita (2020), realizó un estudio en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, encontrando que el carbono total almacenado máximo fue de 12,45 ton/ha en el transecto 3 y el carbono total almacenado mínimo fue de 12,33 ton/ha en el transecto 1.

Bruno (2019), realizó un estudio en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, encontrando que el carbono total almacenado máximo fue de 8,26 ton/ha en el transecto 6 y el carbono total almacenado mínimo fue de 5,75 ton/ha en el transecto 2.

Santiago (2018), realizó un estudio en Tuxpan-México, encontrando que el carbono total almacenado máximo fue de 16,22 ton/ha y el carbono total almacenado mínimo fue de 0,83 ton/ha, ambos en el transecto 1.

3.4.3.2 Carbono total almacenado del mangle negro

Los datos recopilados para el estudio de esta variable se presentan en la Tabla 3 ubicada en anexos. En la Figura 17 se muestran los resultados de la investigación referentes al carbono total almacenado del mangle negro según diversos autores:

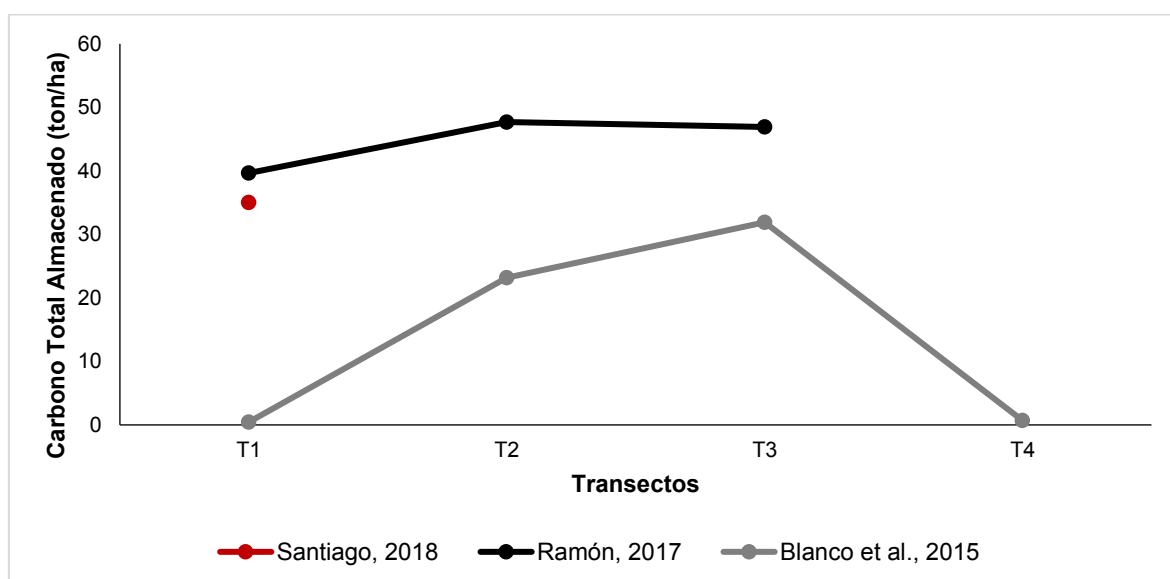


Figura 17. Carbono total almacenado del mangle negro según diversos autores Renteria, 2021

Santiago (2018), realizó un estudio en Tuxpan-México, encontrando que el carbono total almacenado máximo fue de 82,53 ton/ha y el carbono total almacenado mínimo fue de 5,95 ton/ha, ambos en el transecto 1.

Ramón (2017), realizó un estudio en Manglares El Salado, encontrando que el carbono total almacenado máximo fue de 47,69 ton/ha en el transecto 2 y el carbono total almacenado mínimo fue de 39,66 ton/ha en el transecto 1.

Blanco et al. (2015), realizaron un estudio en Urabá-Colombia, encontrando que el carbono total almacenado máximo fue de 31,9 ton/ha en el transecto 3 y el carbono total almacenado mínimo fue de 0,45 ton/ha en el transecto 1.

3.4.3.3 Carbono total almacenado promedio

Para analizar la variable correspondiente, se promediaron los valores de la investigación referentes al carbono total almacenado del mangle rojo y el mangle negro según diversos autores. En la Figura 18 se presentan los resultados máximos y mínimos de carbono total almacenado promedio por cada especie de mangle.

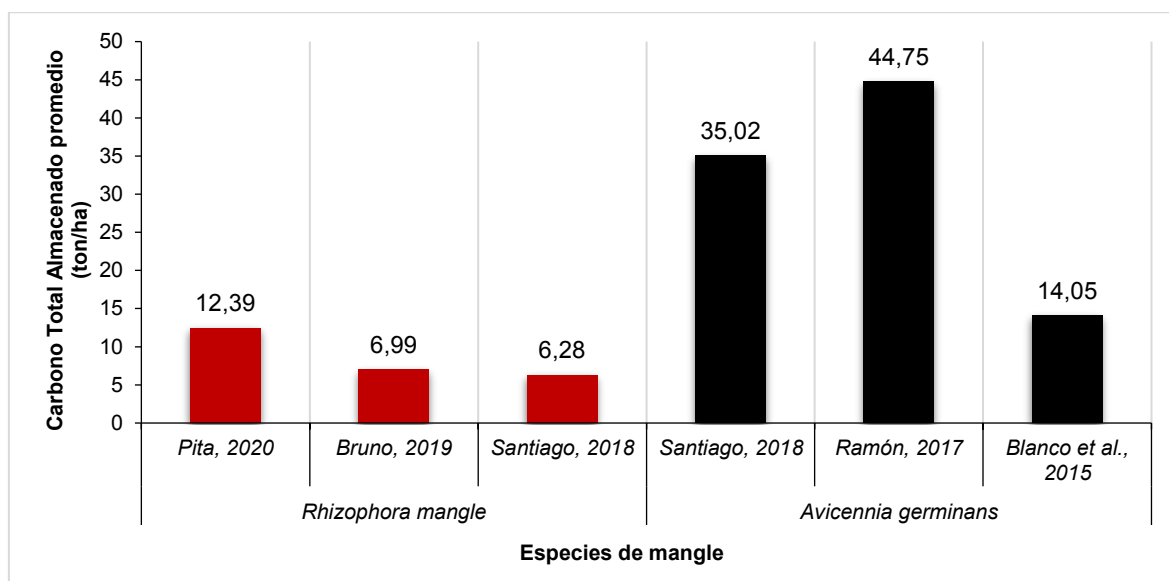


Figura 18. Carbono total almacenado promedio según diversos autores Renteria, 2021

El carbono total almacenado máximo promedio del mangle rojo lo obtuvo Pita (2020) con 12,39 ton/ha y el carbono total almacenado mínimo promedio fue de 6,28 ton/ha en el estudio de Santiago (2018). Mientras que, en el mangle negro, el carbono total almacenado máximo promedio obtenido por Ramón (2017) muestra una diferencia significativa con relación al obtenido en el mangle rojo, este fue de 44,75 ton/ha y el carbono total almacenado mínimo promedio lo tuvo Blanco *et al.* (2015) con 14,05 ton/ha.

3.4.3.4 Comparación del carbono total almacenado por especie

En la Figura 19 se presenta la comparación de los valores promediados por autor de carbono total almacenado en cada especie de mangle.

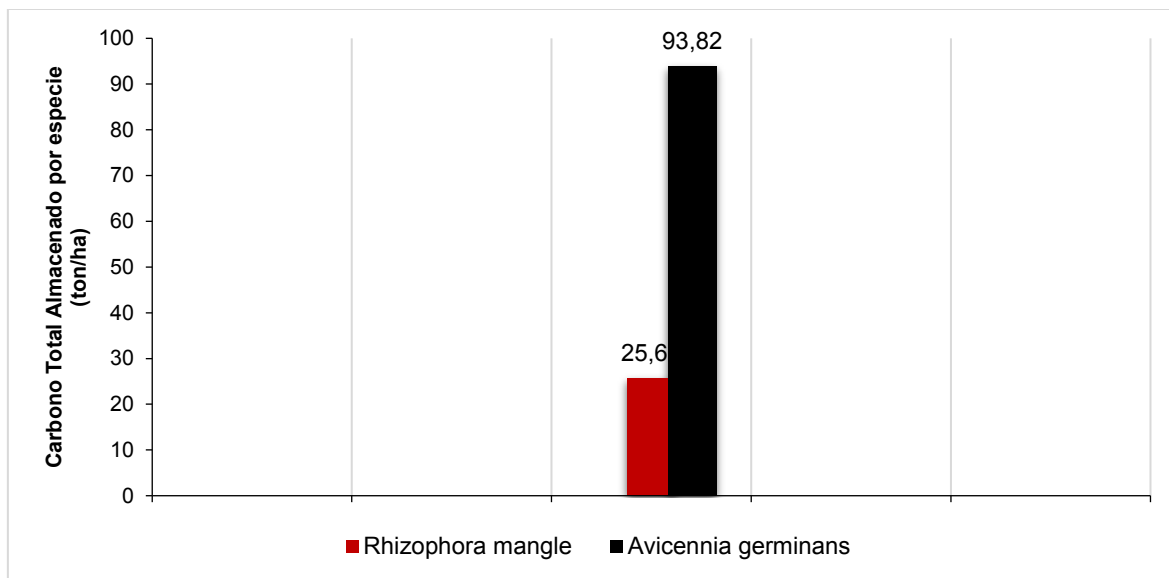


Figura 19. Comparación de carbono total almacenado por especie Renteria, 2021

El valor máximo de 93,82 ton/ha corresponde al mangle negro (*Avicennia germinans*) y el valor mínimo de 25,66 ton/ha corresponde al mangle rojo (*Rhizophora mangle*).

4. Conclusiones

En la actualidad, la preocupación por mitigar el cambio climático es cada vez mayor y esto ha despertado el interés por desarrollar nuevas alternativas de reducción de emisiones de dióxido de carbono.

Existen varias técnicas de muestreo y métodos que son utilizados en las mediciones y cálculos de datos en las zonas de manglar, el muestreo por transecto es el más utilizado comúnmente.

La información recopilada sobre las características morfométricas arrojó que los valores promedios de las variables del mangle rojo no varían mucho entre sí, mientras que en el mangle negro se aprecia una mayor diferencia entre sí.

En base a lo investigado, se realizó una comparación del carbono total almacenado por ambas especies, la cual determinó que el mangle negro (con 93,82 ton/ha) tuvo el mayor potencial de captura de carbono azul que el mangle rojo.

5. Bibliografía

- Banco Mundial. (2019). Cinco razones para cuidar los manglares. Washington D.C., Estados Unidos. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/01/17/cinco-razones-para-cuidar-los-manglares>
- Beck, M. (2020). *Proteger los manglares puede ahorrarnos millones de dólares al año en inundaciones*. Obtenido de The Conversation: <https://theconversation.com/proteger-los-manglares-puede-ahorrarnos-millones-de-dolares-al-ano-en-inundaciones-133559>
- Blanco, J., Ortiz, L., & Urrego, L. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Actualidades Biológicas*, 37(103), 131-141.
doi:10.17533/udea.acbi.v37n103a02
- Blanco, L. (2019). *Mangle negro: carecterísticas, taxonomía, hábitat y usos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/mangle-negro/>
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. Urbana, Illinois, United States: University of Illinois.
- Bruno, K. (2019). *Evaluación del Potencial de Captura de Carbono por la especie (Rhizophora mangle) mediante Ecuaciones Alométricas en el Refugio de Vida Silvestre Manglares del Estuario Río Esmeraldas*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.
- Castellanos, J. (2017). El uso de métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos de Contabilidad*, 18(46), 10-11. doi:10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi

- Cisneros, D., Herrera, J., Teutli, C., Ramírez, S., Moreno, A., Mendoza, J., & Paz, F. (2021). *Manual para la Medición, Monitoreo y Reporte del Carbono y Gases de Efecto Invernadero en Manglares en Restauración*. (S. W. Program, Ed.) Mérida, México: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Manglares*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana:
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2014). Cálculo de las reservas de carbono en los ecosistemas de marismas y manglares de Pantanos de Centla, México. En B. Kauffman, H. Hernández, C. Heider, & W. Contreras (Edits.), *Five coastal blue carbon research projects* (pág. 15). México.
- Conacyt. (2018). *La importancia de los manglares*. Obtenido de iAgua:
<https://www.iagua.es/noticias/conacyt/importancia-manglares>
- Coppini, M. (2019). *Calentamiento global, cambio climático y efecto invernadero*. Obtenido de Geoinnova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/calentamiento-global-cambio-climatico-efecto-invernadero/>
- De la Peña, A., Rojas, C., & De la Peña, M. (2010). Valoración económica del manglar por el almacenamiento de carbono, Ciénaga Grande de Santa Marta. *Clío América*, 4(7), 133-150. doi:10.21676/23897848.400
- De Segovia, M. (2019). *Cuantificación de Carbono Azul en la Zona de Custodia de Manglares de la Asociación 21 de Mayo en Puerto Roma, Golfo de Guayaquil*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Duke, N., Nagelkerken, I., Agardy, T., Wells, S., & Lavieren, H. (2014). *The Importance of Mangroves to People: A Call to Action*. (J.-W. Bochove, E.

Sullivan, & T. Nakamura, Edits.) Cambridge: United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and Division of Environmental Policy Implementation.

EcoExploratorio. (2015). *Manglares*. Obtenido de Museo de Ciencias de Puerto Rico: <https://ecoexploratorio.org/vida-en-el-mar/ecosistemas-marinos/manglares/>

Envaselía. (2020). *Qué es biodegradable*. Obtenido de Interempresas: <https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/263319-Que-es-biodegradable.html>

Estación Científica Charles Darwin. (2019). *Lista de Especies de Galápagos*. Obtenido de Fundación Charles Darwin: <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist?species=697#taxonomy>

Estación Científica Charles Darwin. (2021). *Lista de Especies de Galápagos*. Obtenido de Fundación Charles Darwin: <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist?species=196>

Ezcurra, P., Ezcurra, E., Garcillán, P., Costa, M., & Aburto, O. (2016). Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(16), 4404-4409. doi:10.1073/pnas.1519774113

Factor CO2. (2016). *Blue Carbon: Propuestas para preservar el carbono azul*. (K. Solaun, I. Larrea, A. Genovés, & J. Muñoz, Edits.) Barcelona, España. Obtenido de https://www.factorco2.com/comun/docs/74-Series%20Factor%20CO2_Blue%20Carbon.pdf

- Fundación Aquae. (2020). *¿Qué es un manglar y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/los-manglares-que-son-tipos-importancia/>
- Fundación Omacha. (2021). *El papel de los manglares en la captura y almacenamiento de dióxido de carbono CO₂*. Obtenido de Omacha: <https://omacha.org/manglares-captura-almacenamiento-dioxido-carbono/>
- Gallardo, L. (2019). *¿Por qué debemos preocuparnos del carbono negro u hollín?* (C. Ibarra, G. Jiménez, L. Cordero, N. Tondreau, M. Ferrer, & J. Barraza, Editores) Obtenido de Center for Climate and Resilience Research: <http://www.cr2.cl/por-que-debemos-preocuparnos-del-carbono-negro-u-hollin/>
- Giovanini, K. (2021). *Por qué es importante la captura de carbono*. Obtenido de ExpokNews: <https://www.expoknews.com/por-que-es-importante-la-captura-de-carbono/>
- Greenpeace. (2017). *Cambio Climático*. Obtenido de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>
- Grupo Visiona. (2016). *¿Qué es la biomasa?* Obtenido de Grupo Visiona BD Energías Renovables: <http://www.grupovisiona.com/es/biomasa>
- Herrera, J., Camacho, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez, J., & Teutli, C. (2016). Dinámica del Carbono (Almacenes y Flujos) en Manglares de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 61-72. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n1/2395-8030-tl-34-01-00061.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (29 de Marzo de 2017). *Cambio Climático*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>

Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca. (2020). *Manglares:*

Donde el océano y el río se dan la mano. Obtenido de Instituto Nacional de Pesca: <https://www.institutopesca.gob.ec/manglares-donde-el-oceano-y-el-rio-se-dan-la-mano/>

Jiménez, J., & Lugo, A. (2000). *Avicennia germinans* (L.) L. En J. K. Francis, & C. Lowe (Ed.), *Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales* (S. Trabanino, Trad., págs. 59-60). New Orleans, Louisiana, Estados Unidos: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Kauffman, J., Donato, D., & Adame, M. (2012). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research.

León, C. (2021). *Feonología del Mangle Rojo (Rhizophora mangle L.) Período Invernal en Puerto El Morro, Guayas-Ecuador*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.

Life Blue Natura. (2017). *El Carbono Azul*. Obtenido de <http://life-bluenatura.eu/es/el-carbono-azul/>

Life Blue Natura. (2021). Obtenido de Primer Manual para Diseñar e Implementar Proyectos de Carbono Azul en Europa y el Mediterráneo: <http://life-bluenatura.eu/es/manual-proyectos-carbonoazul/>

Linnaei, C. (1753). *Species Plantarum* (Vol. I). Holmiae: Impensis Laurentii Salvii.

Lujan, M., & Caruajulca, A. (2021). Acuicultura: definición, historia, importancia y clasificación. *AquaHoy*. Obtenido de Aquahoy: <https://www.aquahoy.com/el-acuicultor/34373-acuicultura-definicion-historia-importancia-clasificacion>

- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México* (Primera ed.). México D.F., México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <http://www.iiies.unam.mx/wp-content/uploads/2016/03/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf>
- Matos, A. (2020). *Investigación Bibliográfica: Definición, Tipos, Técnicas*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/investigacion-bibliografica/>
- Mejía, L., Molina, M., Sanjuan, A., Grijalba, L., & Niño, L. (2014). *Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cartagena de Indias: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural.
- Mejia, T. (2018). *Investigación explicativa: características, técnicas, ejemplos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/investigacion-explicativa/>
- Mejia, T. (2019). *Investigación descriptiva: características, técnicas, ejemplos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Los Manglares de Colombia*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=412:plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-14>
- Mok, J., Krotkov, N., Arola, A., Jethva, H., Li, Z., Dickerson, R., & Ren, X. (2016). Impacts of brown carbon from biomass burning on surface UV and ozone photochemistry in the Amazon Basin. *Scientific Reports*(6), 1-9. doi:10.1038/srep36940
- Montero, N., Contreras, M., Campos, M., & Villa, A. (2016). Captura de carbono en un remanente de mangle de la localidad El Bosque, Centla, Tabasco.

- VII Simposio Internacional del Carbono en México* (pág. 51). Pachuca: Programa Mexicano del Carbono.
- Moreno, G., Cerón, J., Cerón, R., Amador, L., & Endañu, E. (2010). Estimación del Potencial de Captura de Carbono en Suelos de Manglar de Isla del Carmen. *Unacar Tecnociencia*(1), 23-39.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. (D. Nash, Ed.) Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: El País.
- Murillo, S. (2018). 3.000 hectáreas de manglar fueron reforestadas en 10 años. *El Telégrafo*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/manglar-reforestacion-ecuador>
- NASA. (2020). *Las causas del cambio climático*. (H. Shaftel, Editor) Obtenido de Global Climate Change: Vital Signs of the Planet: <https://climate.nasa.gov/causas/>
- National Geographic. (2019). *5 datos que demuestran la importancia de los manglares*. Obtenido de National Geographic en Español: <https://www.ngenespanol.com/naturaleza/5-datos-importancia-manglares/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020). *What is Blue Carbon*. Obtenido de Office for Coastal Management: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/bluecarbon.html>
- Núñez, F., & Ugas, M. (2018). Caracterización fisionómica del manglar de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* emplazado en la Laguna de Unare, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, XXXIV(55), 193-208. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72156172015>

- Oceana. (2020). *Contaminación por Industria Naval*. Obtenido de <https://europe.oceana.org/es/contaminacion-por-la-industria-naval-0>
- ONG Manos Unidas. (2020). *Cambio Climático*. Obtenido de <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/que-es-cambio-climatico>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Comisión Forestal para América Latina y El Caribe. *FRA 2015 y la Situación del Sector Forestal en la Región*, (pág. 17). Lima. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-az863s.pdf>
- Ostria, E. (2019). *Carbono y su importancia en el planeta Tierra*. Obtenido de Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas: <http://www.ceaza.cl/2019/12/06/dr-enrique-ostria-carbono-importancia-planeta-tierra/>
- Ovacen. (2019). *Manglar; Qué es, fauna y tipos de manglares*. Obtenido de Ecosistemas Ovacen: <https://ecosistemas.ovacen.com/bioma/manglar/>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. *Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo* (págs. 82-209). Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>
- Paucar, E. (2015). Los manglares son un pilar en la lucha contra el CO2. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/manglares-co2-cambioclimatico-ecuador-deforestacion.html>
- Pérez, M., Navarro, M., & Saborio, M. (2018). *Los manglares*. Proyecto AVE: Adaptación, Vulnerabilidad & Ecosistemas, Adaptación basada en

Ecosistemas. San José: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Obtenido de

https://solucionesabe.org/pdfs/cuadernillos/toolkit/_TOOLKIT_Manglares_23nov.pdf

Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). Impactos de la Contaminación sobre los Manglares del Ecuador. *Primer Congreso Manglares de América* (págs. 423-466). Samborondón: Universidad Espíritu Santo. Obtenido de <http://www.manglaresdeamerica.com/index.php/ec/article/view/57/108>

Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Roma, Italia: Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

Pineda, J. (2020). *Silvicultura*. Obtenido de Encolombia: <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/silvicultura/>

Pita, R. (2020). *Captura de Carbono del Mangle Rojo (Rhizophora mangle) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.

Quevedo, O. (2015). Afectaciones referenciales del SO₂ en el ecosistema de manglar del Puerto de Guayaquil. *Alternativas*, 16(3), 62-66. doi:10.23878/alternativas.v16i3.90

Quiceno, N., Tangarife, G., & Álvarez, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el Resguardo Indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de

- Barrancominas, Departamento del Guainía (Colombia). *Revista Luna Azul*(43), 171-202. doi:10.17151/luaz.2016.43.9
- Ramón, A. (2017). *Estimación de Contenido de Carbono en el Mangle Negro (Avicennia germinans), de la Reserva de Producción Faunística Manglares El Salado de la Ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Guayas, Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
- Ramos, X. (2020). La pérdida del manglar no se detiene en Ecuador pese a que tiene protección legal. *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/07/26/nota/7920081/manglares-ecuador-tala-sanciones>
- Redacción National Geographic. (2010). *¿Qué es el calentamiento global?* Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>
- Redmanglar Internacional. (2012). *Menos manglares en el perfil costero pone en riesgo a especies*. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/2012/07/22/1/1430/menos-manglares-perfil-costero-pone-riesgo-especies.html>
- Reef Resilience Network. (2020). *Blue Carbon*. Obtenido de The Nature Conservancy: <https://reefresilience.org/es/blue-carbon/blue-carbon-introduction/>
- Responsabilidad Social y Sustentabilidad. (2018). *Calentamiento global: qué es, definición, causas, consecuencias y combate*. Obtenido de <https://www.responsabilidadsocial.net/calentamiento-global-que-es-definicion-causas-consecuencias-y-combate/>

- Rodríguez, A., Nivia, J., & Garzón, J. (2004). Características Estructurales y Funcionales del Manglar *Avicennia germinans* en la Bahía de Chengue (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33, 223-244. doi:10.25268/bimc.invemar.2004.33.0.256
- Román-Cuesta, R. (2020). *El rol de los manglares en la lucha contra el cambio climático en América Latina y el Caribe*. (Centro para la Investigación Forestal Internacional) Obtenido de Los Bosques en las Noticias: <https://forestsnews.cifor.org/66870/el-rol-de-los-manglares-en-la-lucha-contra-el-cambio-climatico-en-america-latina-y-el-caribe?fnl=es>
- Ruíz, R. (2006). El Método Científico y los Métodos Generales. En *Historia y Evolución del Pensamiento Científico* (E. Ruíz, Trad., págs. 128-129). Culiacán, Sinaloa, México.
- Sánchez, L., Paolini, J., & Rodríguez, J. (2010). Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) en Isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(2), 547-564. doi:10.15517/RBT.V58I2.5228
- Santiago, L. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México*. Tuxpan, Veracruz, México: Unidad Veracruzana.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *¿Qué es el carbono negro?* (Gobierno de México) Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-el-carbono-negro-134747>
- Sol, Á., Sánchez, F., Hernández, G., Zamora, L., Sardiñas, O., Rivera, C., & Toruño, P. (2015). Volumen maderable de mangle negro (*Avicennia germinans* L.) impactado por herbivoría de *Anacamptodes* sp en Cárdenas

- Tabasco. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), 115-133. doi:10.5377/ribcc.v1i1.2145
- The Blue Carbon Initiative. (2014). *Carbono Azul: Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos*. (J. Howard, S. Hoyt, K. Isensee, & M. Telszewski, Edits.) Arlington, Virginia, Estados Unidos: Conservación Internacional; UNESCO; UICN.
- The Nature Conservancy. (2019). *Carbono azul*. Obtenido de Reef Resilience Network: <https://reefresilience.org/blue-carbon/blue-carbon-introduction/>
- Uprising Beach Resort. (2018). *Social Responsibility*. Obtenido de <https://uprisingbeachresort.com/social-responsibility/>
- Weaver, J. (2011). Carbon-rich mangroves ripe for conservation. *Nature GeoScience*. doi:10.1038/news.2011.205
- Williams, D. (2019). *Importancia de los manglares*. Obtenido de ProjectsAbroad: <https://www.projects-abroad-la.org/blog/importancia-de-manglares/>
- World Meteorological Organization. (2020). *State of the Global Climate 2020*. Weather - Climate - Water. Ginebra: United Nations. Obtenido de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10444
- Yepes, A., Zapata, M., Bolivar, J., Monsalve, A., Espinosa, S., Sierra, P., & Sierra, A. (2016). Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 913-926. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/449/44945722036.pdf>

6. Glosario

Acuicultura: Cultivo de organismos acuáticos vegetales y animales en ambientes naturales o artificiales, con agua marina, salobre o dulce, con fines de alimentación, conservación, recreación, etc. (Lujan y Caruajulca, 2021).

Biodegradable: Es cuando un material, objeto o producto puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos y condiciones ambientales de distinto tipo (Envaselía, 2020).

Biomasa: Fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (de origen animal y vegetal), silvicultura, acuicultura, pesca e industrias conexas; así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales de origen biológico (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018).

Biomasa natural: Se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana, los recursos generados en las podas naturales son un ejemplo de este tipo de biomasa (Grupo Visiona, 2016).

Biomasa residual húmeda: Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos (purines) (Grupo Visiona, 2016).

Biomasa residual seca: Procede de residuos generados en actividades agrícolas y forestales, también en procesos de la industria agroalimentaria y maderera (Grupo Visiona, 2016).

Resiliencia: Capacidad de un cuerpo de regresar a su estado original después de un evento que lo modifica (Cisneros *et al.*, 2021).

Silvicultura: Se encarga de la gestión, explotación, formación, cuidado y mantenimiento del cultivo de bosques, cerros o montes forestales (Pineda, 2020).

7. Anexos

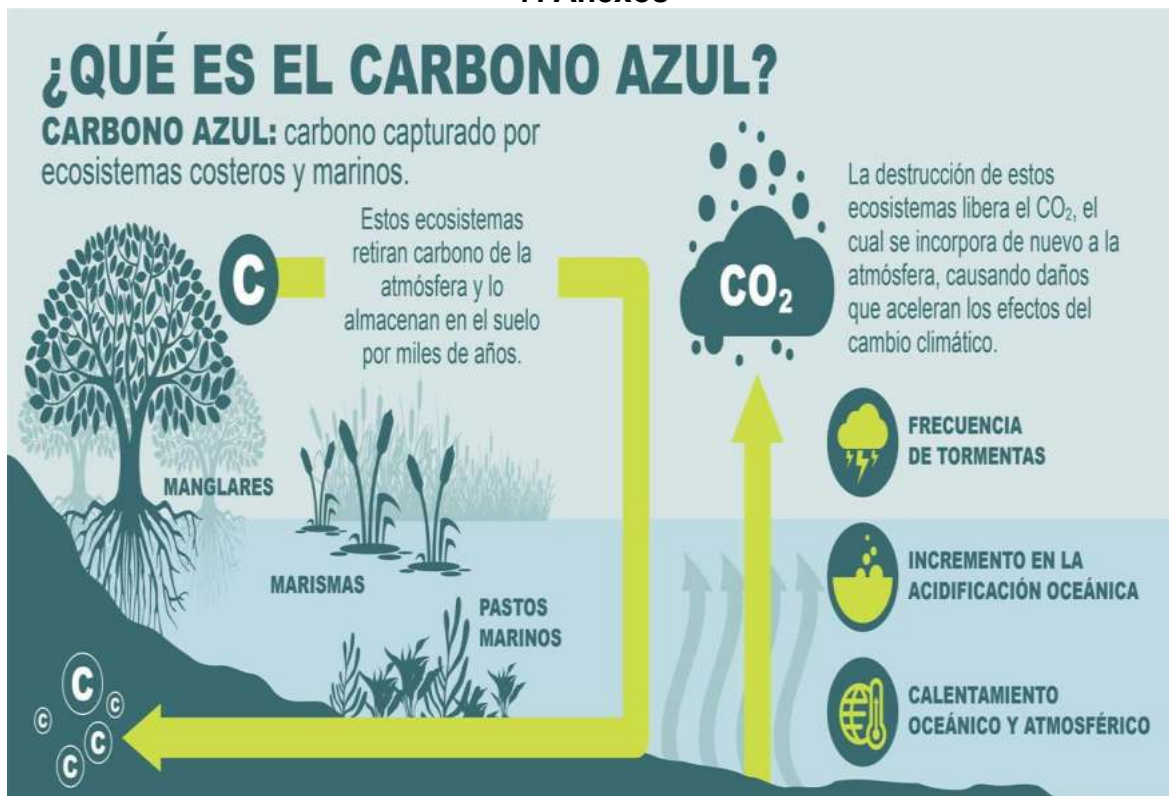


Figura 20. Infografía sobre el carbono azul
Fuente: NOAA, 2020

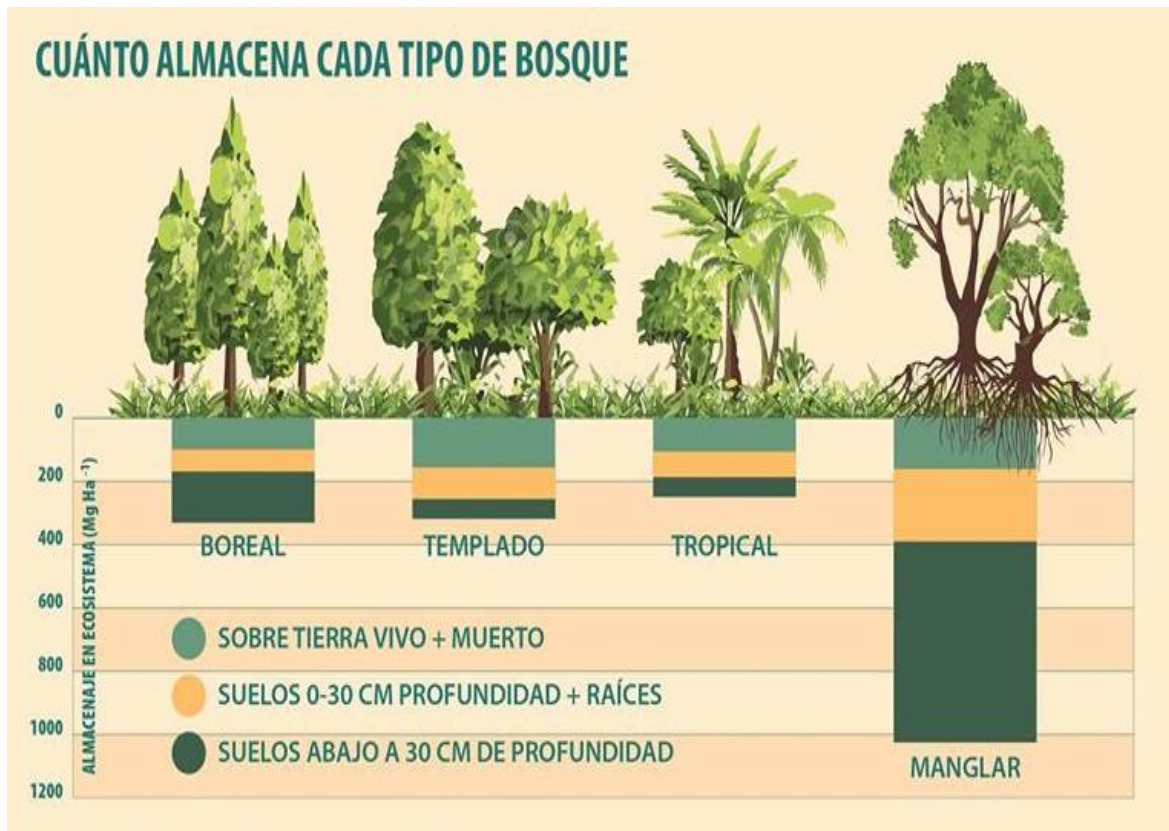


Figura 21. Almacenamiento de carbono en diferentes bosques
Fuente: Ezcurra et al., 2016

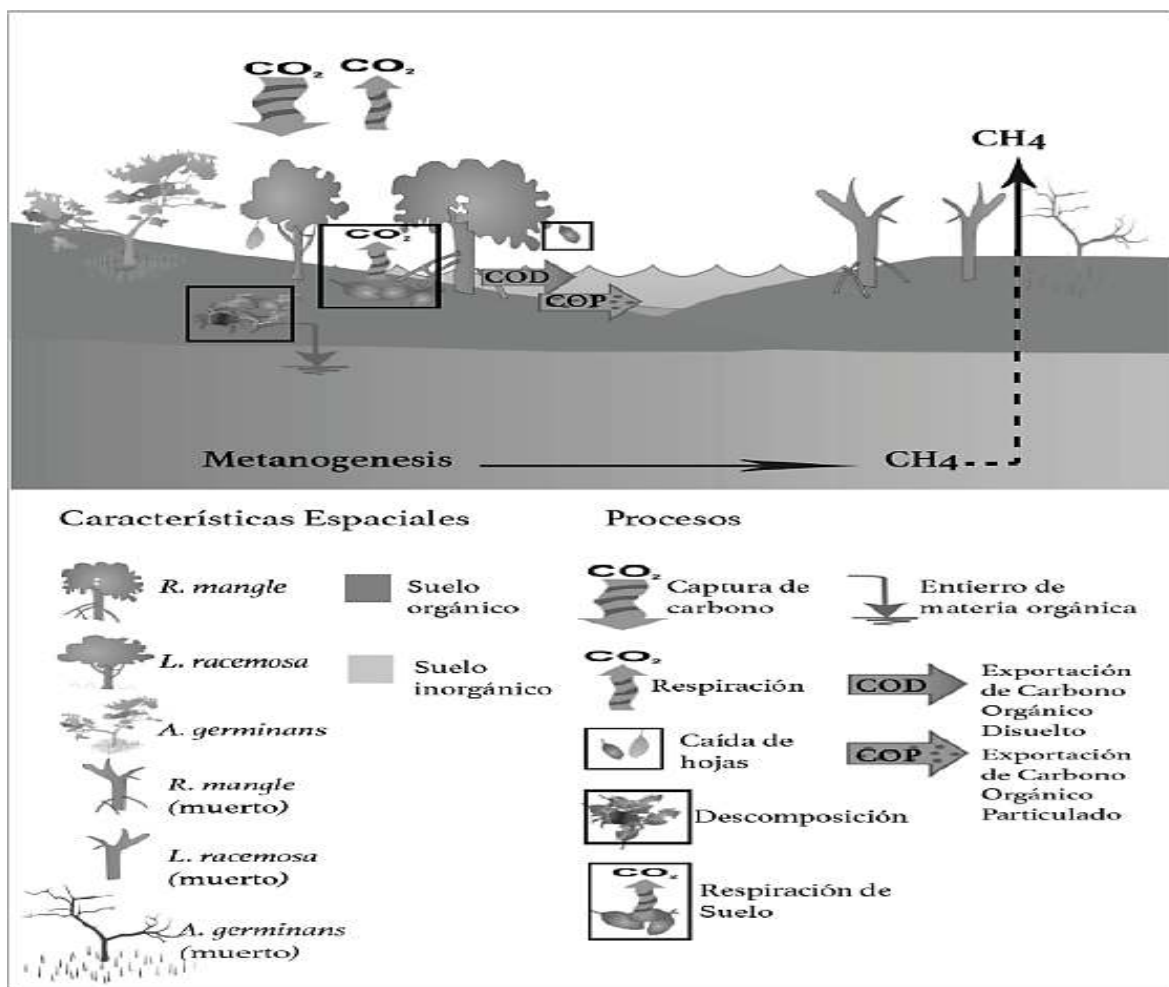


Figura 22. Principales almacenes y flujos de carbono en un ecosistema de manglar
Fuente: Herrera et al., 2016



Figura 23. Daños por inundaciones en áreas de manglares
Fuente: Beck, 2020

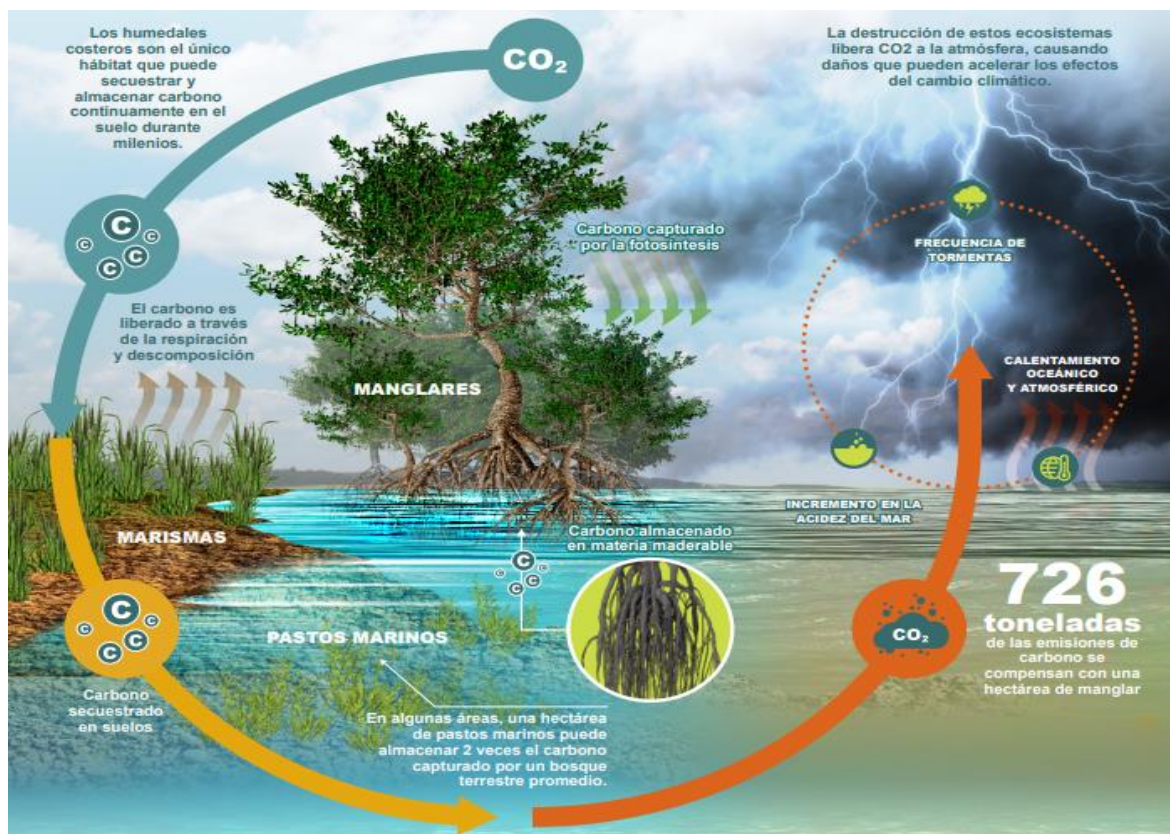


Figura 24. Proceso de secuestro del carbono
Fuente: The Nature Conservancy, 2019

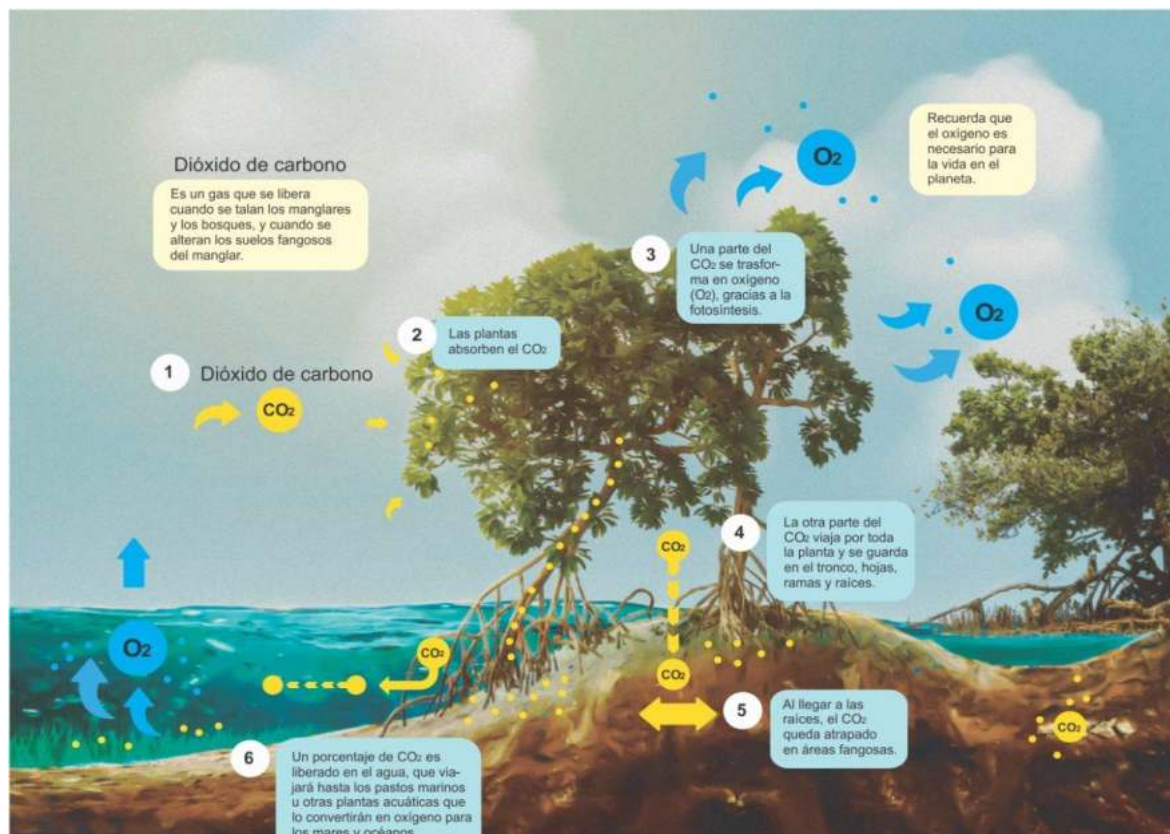


Figura 25. Infografía de la captura y almacenamiento de dióxido de carbono CO₂
Fuente: Fundación Omacha, 2021

MANGROVES VS. TERRESTRIAL FORESTS

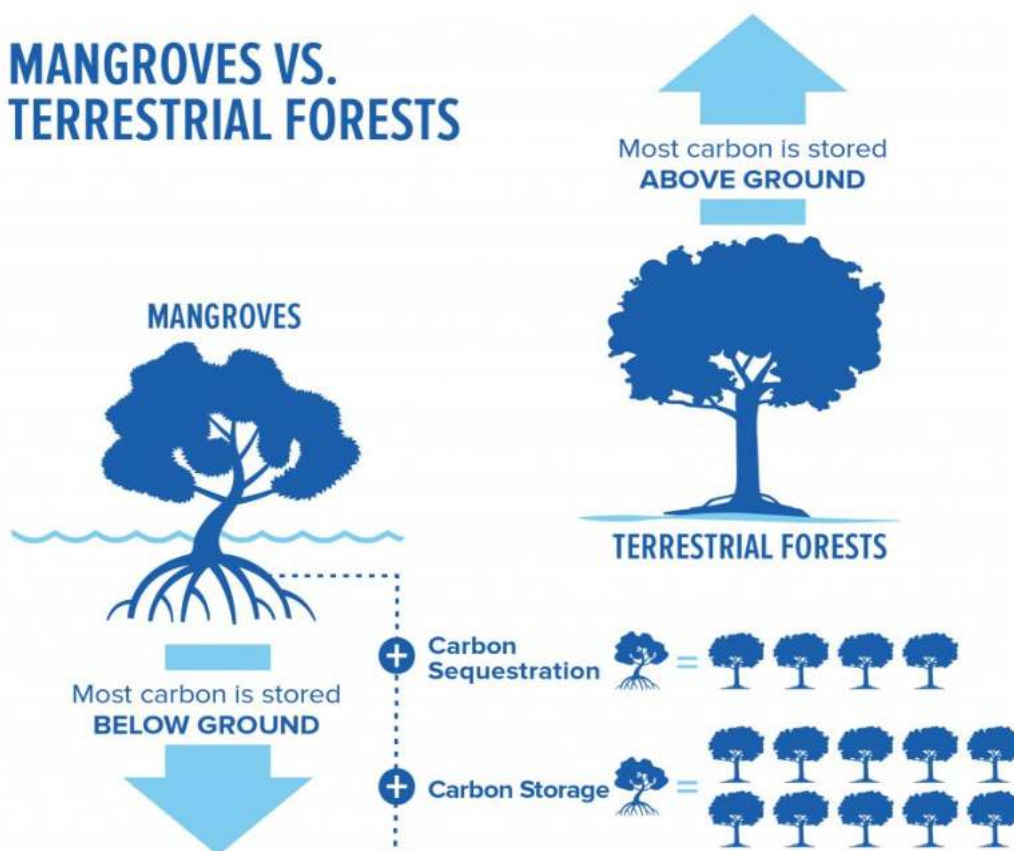


Figura 26. Retención de carbono en manglares vs bosques terrestres
Fuente: Reef Resilience Network, 2020

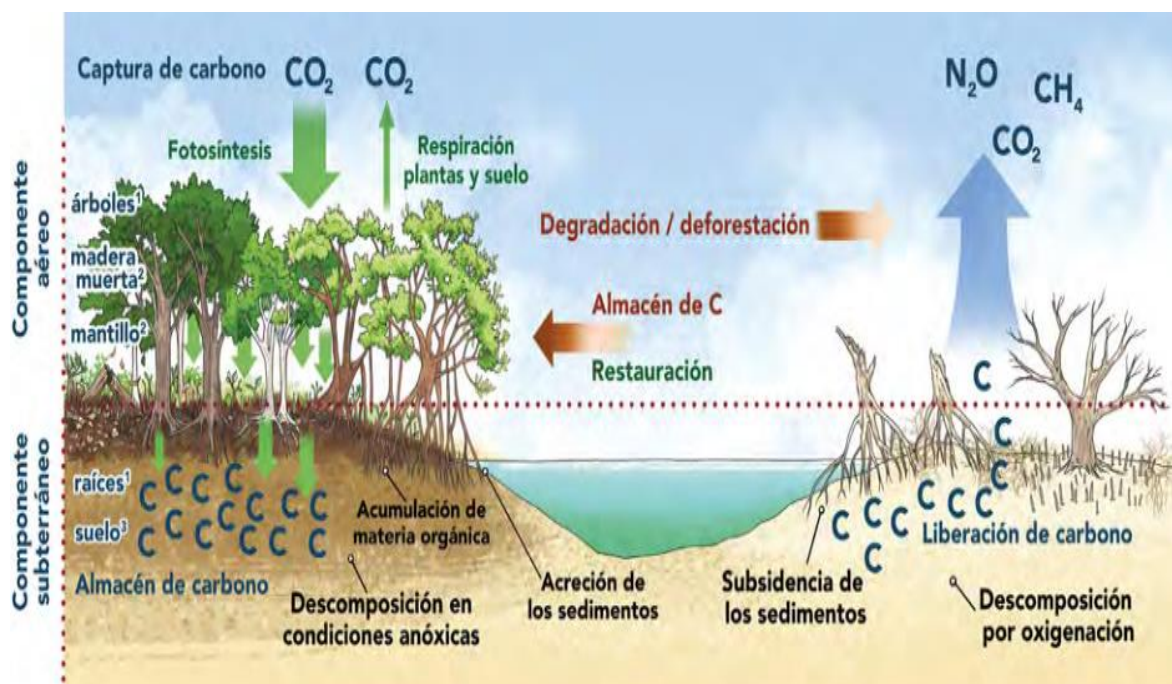


Figura 27. Componentes en el almacén y captura de CO₂ en el manglar y esquematización de los flujos de carbono en un manglar conservado y degradado
Fuente: Cisneros et al., 2021



Figura 28. Esquema de fases de crecimiento en una restauración de manglar
Fuente: Cisneros et al., 2021

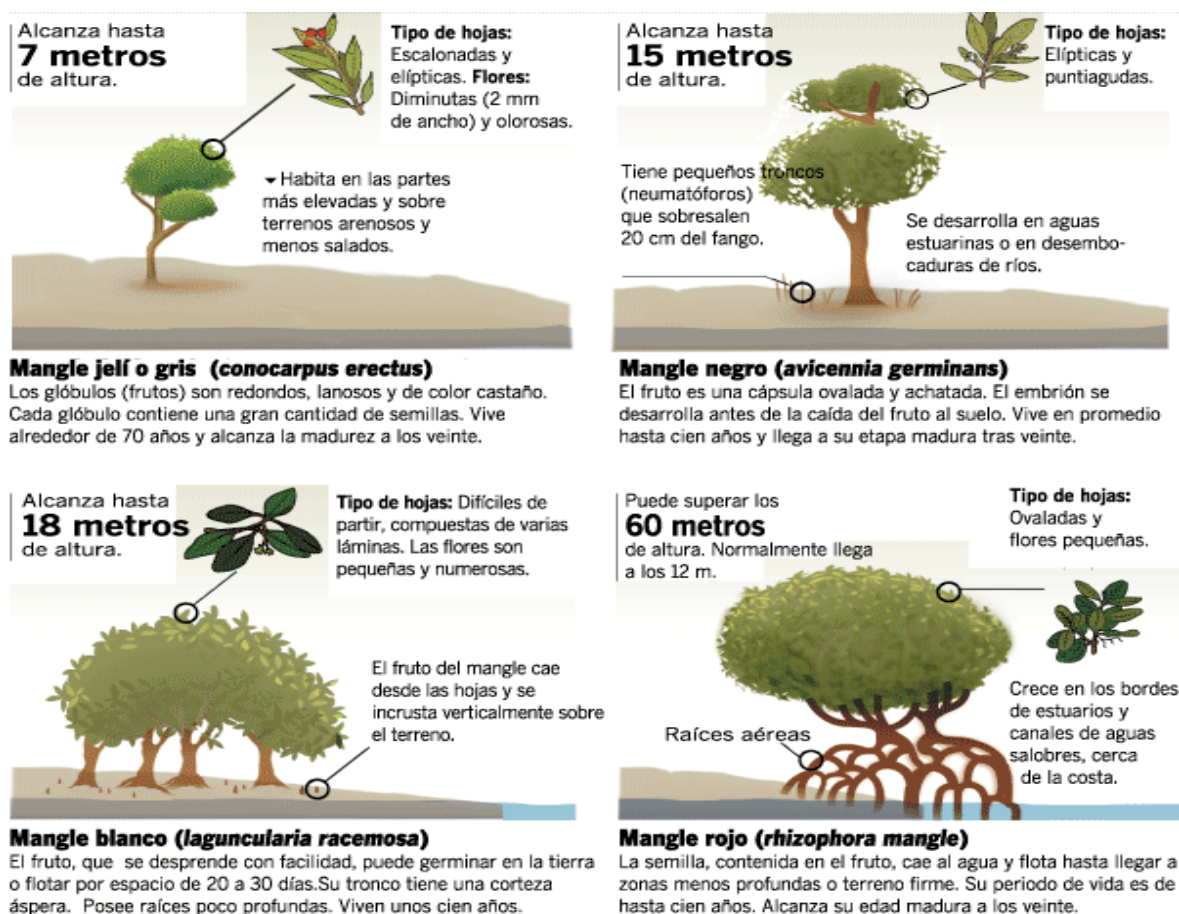


Figura 29. Las cuatro especies principales de manglar en el país
Fuente: Redmanglar Internacional, 2012

Tabla 1. Listado de la información recopilada para la realización de las variables morfométricas

Autor	Año	Tema	Ubicación	Especie	Alt	ÁB	V	BTA	BTF
César León	2021	Fenología del mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i> L.) periodo invernal en Puerto El Morro, Guayas-Ecuador	Ecuador	<i>Rm</i>			X		
Roberto Pita	2020	Captura de carbono del mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) en el Área Nacional de Recreación Isla Santay	Ecuador	<i>Rm</i>	X	X	X	X	X
Kevin Bruno	2019	Evaluación del potencial de captura de carbono por la especie (<i>Rhizophora mangle</i>) mediante ecuaciones alométricas en el Refugio de Vida Silvestre Manglares del Estuario Río Esmeraldas	Ecuador	<i>Rm</i>	X	X	X	X	X
Franklin Núñez y María Ugas	2018	Caracterización fisionómica del manglar de <i>Avicennia germinans</i> y <i>Conocarpus erectus</i> emplazado en la Laguna de Unare, Venezuela	Venezuela	<i>Ag</i>	X				
Luis Santiago	2018	Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México	México	<i>Rm</i> <i>Ag</i>				X	
Aldo Ramón	2017	Estimación de contenido de carbono en el mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>), de la Reserva de Producción Faunística Manglares El Salado de la Ciudad de Guayaquil	Ecuador	<i>Ag</i>	X	X	X	X	X
Adriana Yepes et al.	2016	Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano	Colombia	<i>Rm</i>					X
Juan Blanco et al.	2015	Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano)	Colombia	<i>Rm</i> <i>Ag</i>	X	X		X	
Ángel Sol et al.	2015	Volumen maderable de mangle negro (<i>Avicennia germinans</i> L.) impactado por herbivoría de <i>Anacamptodes</i> sp en Cárdenas Tabasco	México	<i>Ag</i>			X		
Arnold De la Peña et al.	2010	Valoración económica del manglar por el almacenamiento de carbono, Ciénaga Grande de Santa Marta	Colombia	<i>Ag</i>					X
Luz Sánchez et al.	2010	Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de <i>Rhizophora mangle</i> L. (Rhizophoraceae) en Isla de Margarita, Venezuela	Venezuela	<i>Rm</i>	X				
Alberto Rodríguez et al.	2004	Características estructurales y funcionales del manglar de <i>Avicennia germinans</i> en la Bahía de Chengue (Caribe Colombiano)	Colombia	<i>Ag</i>			X		

Rm: *Rhizophora mangle* L.; *Ag*: *Avicennia germinans*; Alt: Altura; ÁB: Área Basal; V: Volumen; BTA: Biomasa Total Aérea; BTF: Biomasa Total de Fuste
 Rentería, 2021

Tabla 2. Resumen de los datos investigados de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) para cada variable

Variable	Autor	Año	Transectos					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
Altura (m)	Pita	2020	6,82	8,84	11,07	12,38	10,29	
	Bruno	2019	10,14	8,71	8,80	12,35	12,22	13,59
	Sánchez et al.	2010	5,16	7,64				
Área Basal (m ² /ha)	Pita	2020	0,16	0,17	0,20	0,20	0,17	
	Bruno	2019	1,20	1,00	1,20	2,10	1,50	2,00
	Blanco et al.	2015	2,62	1,25	2,07	1,15		
Volumen (m ³ /ha)	León	2021	1,40	1,12	1,43	8,71		
	Pita	2020	0,59	0,78	1,16	1,34	0,95	
	Bruno	2019	0,72	0,30	0,52	1,28	0,91	1,40
Biomasa Total Aérea (ton/ha)	Pita	2020	24,66	24,71	24,91	24,89	24,72	
	Bruno	2019	14,37	11,50	12,38	14,87	14,27	16,52
	Santiago	2018	12,55					
Biomasa Total de Fuste (ton/ha)	Pita	2020	14,09	14,12	14,23	14,22	14,13	
	Bruno	2019	8,21	6,44	8,15	9,22	8,48	10,20
	Yepes et al.	2016	0,43					
Carbono Total (ton/ha) Almacenado	Pita	2020	12,33	12,35	12,45	12,45	12,36	
	Bruno	2019	7,19	5,75	6,19	7,44	7,14	8,26
	Santiago	2018	6,28					

Renteria, 2021

Tabla 3. Resumen de los datos investigados de mangle negro (*Avicennia germinans*) para cada variable

Variable	Autor	Año	Transectos			
			T1	T2	T3	T4
Altura (m)	Núñez y Ugas	2018	4,08	5,51	7,6	
	Ramón	2017	16,2	14,97	13,85	
	Blanco et al.	2015	7,8	7,6	6,7	9,8
Área Basal (m ² /ha)	Núñez y Ugas	2018	0,08	0,14	0,24	
	Ramón	2017	0,69	0,60	0,91	
	Blanco et al.	2015	2,62	1,25	3,22	1,30
Volumen (m ³ /ha)	Ramón	2017	5,58	4,63	12,64	5,58
	Sol et al.	2015	24,60			24,60
	Rodríguez et al.	2004	229,20	133,00	60,20	229,20
Biomasa Total Aérea (ton/ha)	Santiago	2018	70,03			
	Ramón	2017	79,32	95,37	93,83	
	Blanco et al.	2015	0,90	46,30	63,80	1,40
Biomasa Total de Fuste (ton/ha)	Ramón	2017	59,01	59,61	78,19	
	Yepes et al.	2016	0,49			
	De la Peña et al.	2010	15,90	27,50	7,30	68,60
Carbono Total (ton/ha) Almacenado	Santiago	2018	35,02			
	Ramón	2017	39,66	47,69	46,91	
	Blanco et al.	2015	0,45	23,15	31,90	0,70

Rentería, 2021