

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias de la Vida

Identificación de metodologías para la estimación de Carbono en áreas
forestadas de manglar

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Bióloga

Presentado por:

Karina Angie Ichazo Ortega

Gabriela Alejandra Sanguña Soliz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a Dios por permitirme cumplir esta meta, a mis padres Luis Sanguña Zambrano y Nancy Soliz Morán por apoyarme en cada decisión, a mi hermano David Sanguña Soliz por animarme en cada momento y a mis amigos por aconsejarme e inspirarme a seguir con mi sueño de ser una profesional.

Gabriela Sanguña Soliz

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios y a mis padres Jorge Ichazo Cevallos y Karina Ortega Herrera por ser el pilar de mi vida, la inspiración y el motor que me impulsa a alcanzar mis metas. También a mis hermanos Daniela y Jorge por ofrecerme su apoyo incondicional en cada paso que doy y, por último, pero no menos importante, a mi tía Glenda Ichazo por los consejos oportunos que me brindó y me permitieron mantenerme enfocada.

Karina Ichazo Ortega

AGRADECIMIENTOS

Le expresamos nuestro más sincero agradecimiento a ESPOL por ser la institución que nos formó académicamente y sentó las bases para que podamos tener un gran desenvolvimiento en el ámbito profesional. También agradecemos profundamente a nuestra tutora Andrea Reyes por guiarnos y siempre estar dispuesta a brindarnos su ayuda.

Karina Ichazo y Gabriela Sanguña

Adicionalmente le agradezco a Jimmy Carvajal por su ayuda y su apoyo en momentos cruciales de mi vida.

Karina Ichazo Ortega

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Karina Angie Ichazo Ortega y Gabriela Alejandra Sanguña Soliz damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Karina Ichazo O.

Karina Ichazo

Gabriela Sanguña

Gabriela Sanguña

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
ANDREA SOFIA REYES
CHEJIN

firmado electrónicamente

M. Sc. Diego Gallardo

PROFESOR DE LA MATERIA

M. Sc. Andrea Reyes

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La capacidad de secuestro y almacenamiento de carbono (C) de los manglares juega un rol esencial en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, las actividades antropogénicas han ocasionado una pérdida considerable de cobertura de manglar lo que ha generado la implementación de estrategias que busquen conservar o restaurar estos ecosistemas. Una de estas iniciativas son los proyectos de forestación y reforestación, zonas en las cuales no se han realizado mediciones de las reservas de carbono. Por esta razón, se busca evaluar distintas metodologías para la estimación del carbono mediante una revisión sistemática de literatura, con el fin de identificar una metodología viable para los manglares de Ecuador. Para ello, se recopilieron artículos de motores de búsqueda científicos, con los cuales se creó una base de datos y se analizaron considerando criterios específicos. Como resultado se obtuvo que las metodologías in situ son las más factibles de realizar que las metodologías de teledetección de C. Además, el procedimiento para la estimación del C en la biomasa aérea, mediante el uso de ecuaciones alométricas, es menos complicado de realizar que la estimación de C en suelo. Finalmente, las estimaciones del C en los manglares del Ecuador permiten conocer el aporte de estos ecosistemas costeros en la mitigación y adaptación al cambio climático.

Palabras Clave: Estimación de carbono, biomasa aérea, reservas de carbono, cambio climático.

ABSTRACT

Carbon (C) sequestration and storage capacity of mangroves plays an important role in climate change mitigation. However, anthropogenic activities have caused considerable loss of mangrove coverage, leading to strategies to preserve or restore these ecosystems. One of these are afforestation and reforestation projects, but no measurements of carbon stock have been made in these areas. For this reason, the present project seeks to evaluate methodologies for carbon estimation through a systematic literature review in order to identify one that is suitable for Ecuador's mangroves. For it, articles were collected from scientific search engines. With these articles a database was created and were analyzed considering specific criteria. As a result, it was obtained that in situ methodologies are the most feasible to perform that remote sensing methodologies. Besides, the procedure for estimating carbon in aerial biomass, using allometric equations, presents less complications that the estimation of carbon in the soil. Finally, carbon estimation in Ecuador's mangroves allow to know the contributions of these coastal ecosystems in mitigation and adaptation to climate change.

Keywords: *carbon estimation, aboveground biomass, carbon stocks, climate change.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 Los manglares como sumideros de carbono	5
1.4.2 Manglares en el país	6
1.4.3 Metodologías para estimación de carbono	9
CAPÍTULO 2	13
2. Metodología	13
CAPÍTULO 3	15
3. Resultados y Análisis	15
CAPÍTULO 4	23
4. Conclusiones y Recomendaciones	23

Conclusiones.....	23
Recomendaciones.....	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS	38

ABREVIATURAS

CALISUR	Alianza de Camaroneros del Litoral del Sur
GEI	Gases de Efecto Invernadero
MAA	Ministerio de Ambiente y Agua
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
AGB	Aboveground biomass
BGB	Belowground tree biomass
DBH	Diameter at breast height (diámetro a la altura del pecho)

SIMBOLOGÍA

C	Carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Mg e/ha	Toneladas equivalentes por hectárea
Pg	Mil millones de toneladas
H	Height (altura)
V	Volumen

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Parcelas dentro de un área forestada de manglar en la isla Puná.	9
Figura 2.1 Esquema de la metodología usada.....	14
Figura 3.1: Publicaciones sobre las existencias de carbono por país.	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea.....	16
Tabla 3.2 Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa subterránea..	19
Tabla 3.3 Ecuaciones usadas en la estimación de carbono.....	21

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los manglares son ecosistemas altamente productivos capaces de ofrecer una gran variedad de servicios esenciales, tanto a nivel económico como ecológico. Estos servicios incluyen alimentación, hábitat, depósito de sedimentos, protección costera y secuestro de carbono (Alongi, 2012; Sippo et al., 2018; Hochard et al., 2019). Su distribución a nivel mundial se encuentra limitada por la temperatura y por el gradiente latitudinal, pero a menor escala su expansión y biomasa se ve fuertemente influenciada por factores como las mareas, precipitación y las olas. Además, combinan las características de los biomas terrestres y marinos, lo que convierte a los manglares en ecosistemas de transición (Alongi, 2012).

Varios autores han realizado estimaciones económicas del valor de los manglares, tomando en cuenta la cantidad de servicios ecosistémicos que ofrecen (Barbier et al., 2011; Costanza et al., 2014). Como resultado se obtuvo que estos ecosistemas han sido estimados en \$194 000 por hectárea por año (Costanza et al., 2014). Sin embargo, se ha perdido al menos el 35% de la cobertura global de manglar desde 1970 y en la actualidad continúan desapareciendo a una tasa de 1-2% anual (Barbier et al., 2011). La deforestación y el cambio del uso del uso se encuentran entre las causas de pérdida de extensión de los manglares (Alongi, 2008). Además, un efecto poco conocido de la tala de manglar son las emisiones de gases de efecto invernadero (Alongi, 2012; Pendleton et al., 2012). Esto se debe a cambios en la química del suelo dando como resultado emisiones de CO₂ que contribuyen al calentamiento global.

En Ecuador las zonas de manglar se distribuyen a lo largo del litoral continental y las Islas Galápagos, siendo el área más grande la que se encuentra comprendida dentro del golfo de Guayaquil y en las zonas aledañas al río Guayas. En la zona continental se tienen 41 áreas de manglar, de las cuales solo 9 forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (MAA, 2019). Sin embargo, en el país se ha tenido grandes pérdidas de manglar a causa de la conversión del suelo para usos acuícolas (FAO, 2006). En los últimos 40 años, Ecuador, junto con países de la región del

Pacífico Oriental Tropical, han disminuido más del 40% de su cobertura de manglar (Tanner et al., 2019). Con el objetivo de salvaguardar este ecosistema, se han llevado a cabo varias iniciativas en el país enfocadas en mejorar el manejo de los recursos del manglar, detener la tala de mangle o recuperar áreas perdidas del ecosistema (Bravo, 2019; Vallejo, 2019).

Entre las estrategias planteadas, una de las principales fue implementada por el Ministerio del Ambiente en conjunto con fundaciones y cooperativas dedicadas al sector acuícola. Estas organizaciones firmaron un convenio de forestación y reforestación en 2014 con una vigencia de 5 años. El objetivo de esta estrategia fue desarrollar actividades que permitan la restauración de manglar en zonas específicas del Ecuador (MAA, 2014). Sin embargo, para conocer si se han reestablecido o restaurado las funciones de estos complejos ecosistemas es necesario realizar evaluaciones periódicas que permitan revelar datos sobre los servicios ecosistémicos brindados por el ecosistema en cuestión, en donde el secuestro de carbono es un parámetro primordial que permite determinar la funcionalidad del manglar (Osland et al., 2012; Chen et al., 2021).

1.1 Descripción del problema

En la actualidad, el servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono (C) que brindan ecosistemas de transición como los manglares ha adquirido relevancia, incrementado la atención e interés a nivel global debido a su potencial para la mitigación del cambio climático (Atwood et al., 2017). Este C que se acumula en el suelo y la biomasa de estos ecosistemas es denominado “carbono azul” (Mcleod et al., 2011; Pendleton et al., 2012). Se diferencia del C acumulado en suelos de sistemas terrestres por su disponibilidad de oxígeno. Es decir, el suelo de los ecosistemas de transición está saturado de agua que mantiene al C en un estado anóxico evitando su oxidación aeróbica por parte de microbios, a diferencia de los suelos de los ecosistemas terrestres con constante suministro de oxígeno (Schlesinger & Lichter, 2001; Pendleton et al., 2012; Senger et al., 2021)

En estos ecosistemas, también conocidos como “sistemas de carbono azul”, el C se acumula de manera continua a lo largo de los años (Gao et al., 2016). Dicha acumulación subterránea abarca una mayor superficie que las reservas de los bosques montañosos (Chatting et al., 2020). Además, las estimaciones de C han dado a conocer que los bosques de manglares tienen una tasa de secuestro y almacenamiento 50 veces mayor en comparación con las selvas tropicales (Senger et al., 2021). Por estos motivos, los manglares forman parte de los ecosistemas más ricos de carbono del mundo (Donato et al., 2011; Mcleod et al., 2011; Ahmed et al., 2017).

El rol que tienen los manglares en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), atrae el interés de la ciencia y política (Chatting et al., 2020; Rani et al., 2021). La necesidad de los científicos de entender los sistemas de carbono azul los ha llevado a desarrollar diferentes metodologías de muestreo que difieren en su complejidad, recursos económicos o material utilizado (Donato et al., 2011; Adame et al., 2017; Virgulino et al., 2020). Además, la falta de información de zonas con amplias áreas de manglar (en estado natural, forestados o reforestados) como Latinoamérica (Rovai et al., 2021), hace un poco complicado conocer el estado de los manglares a nivel mundial o la contribución en la mitigación del cambio climático en dichas zonas.

Por lo antes mencionado, es fundamental determinar una metodología que sea capaz de estimar de manera eficiente la cantidad de carbono almacenado en los manglares del Ecuador, el cual posee aproximadamente 161 mil ha de manglar (MAA, 2019). Además, esto representa una contribución en los esfuerzos comunes de realizar un inventario de carbono que serviría de línea base para que los responsables de las políticas ambientales puedan desarrollar reglamentos u otras estrategias, permitiendo hacer más visible el rol de los manglares del país en la mitigación del cambio climático.

1.2 Justificación del problema

Este proyecto busca enfatizar la relevancia de los manglares, así como su capacidad de contribuir directamente en la mitigación del cambio climático, debido a su función como sumideros de C, disminuyendo la concentración de este GEI y por lo tanto el calentamiento global. Además, se conoce que estos ecosistemas poseen y sostienen una gran biodiversidad lo cual permitiría a las comunidades beneficiarse de las especies de interés comercial. Al mismo tiempo, se busca ampliar el conocimiento de la población sobre los ecosistemas de manglar, lo que podría contribuir a que se produzcan más iniciativas de forestación, reforestación, conservación o un manejo mucho más sostenible de este ecosistema.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar metodologías para la estimación del carbono almacenado en manglares mediante una revisión sistemática de literatura que permita la identificación de un procedimiento adecuado y replicable en los ecosistemas de manglar del Ecuador.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Investigar los mecanismos de captación de carbono de los manglares para comprender su aporte como estrategias de mitigación frente al cambio climático.
2. Analizar distintas metodologías de acumulación de carbono existentes en manglar considerando su relevancia científica y la ubicación del área de estudio en donde fueron utilizadas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Los manglares como sumideros de carbono

Los manglares, junto con otros ecosistemas costeros, juegan un rol fundamental en la captación de C a escala global (Mcleod et al., 2011; Alongi, 2014; Chatting et al., 2020). Estudios recientes sugieren que son capaces de secuestrar al menos el 50% del C que se ha almacenado en los sedimentos marinos a pesar de cubrir solamente el 0,5% del área de los océanos (Alongi, 2014; Gao et al., 2016; Rani et al., 2021). Ciertas estimaciones han determinado que la cantidad de C secuestrado por los manglares se encuentra entre 6-8 toneladas de CO₂ equivalentes por hectárea (Mg CO₂ e/ha), siendo un rango de 2 a 4 veces más alto que los bosques tropicales u otros ecosistemas terrestres (Donato et al., 2011; Pendleton et al., 2012; Harishma et al., 2020).

Los manglares capturan el CO₂ de la atmosfera y lo almacenan en el sedimento, la biomasa viva aérea (ramas, hojas), subterránea (raíces) y biomasa no viva (hojarasca) (Mcleod et al., 2011; Alongi, 2014). La materia orgánica es la principal encargada de secuestrar el CO₂ atmosférico por medio de la fotosíntesis, liberando el exceso mediante la respiración. Las raíces aéreas de los manglares también son capaces de captar directamente el CO₂. Además, las corrientes de los ríos y las mareas pueden ser fuentes externas de C (Kristensen et al., 2008; Gao et al., 2016). Este “carbono azul” puede ser almacenado a corto plazo en la biomasa y a largo plazo en el suelo (Mcleod et al., 2011; Chatting et al., 2020). Por otro lado, los suelos de los manglares sanos no se saturan de C debido a que sus sedimentos son acumulados de manera vertical influenciados por el nivel del mar. Esto quiere decir que la tasa de secuestro, así como el tamaño del sumidero con el tiempo puede aumentar (Mcleod et al., 2011; Alongi, 2014;).

Por lo antes mencionado, se reconoce la importancia de los manglares ante los impactos del cambio climático (Bryan-Brown et al., 2020; Ouyang & Lee, 2020; Richards et al., 2020). Entonces realizar mediciones de las reservas de C presentes en los bosques de manglar se vuelve una tarea importante que permite realizar una evaluación de la contribución de estos ecosistemas en la regulación

de clima, compensando emisiones de CO₂ de origen antropogénico. Además se fomenta a que por medio de sus actividades forestales los países puedan contribuir a proyectos de mitigación del cambio climático con posibles compensaciones financieras (Donato et al., 2012; Dosskey et al., 2012; Taillardat et al., 2018).

1.4.2 Manglares en el país

En Ecuador continental las zonas de manglares están ubicadas en las provincias costeras del Guayas, Santa Elena, Esmeraldas, Manabí y El Oro; siendo las últimas 3 provincias las que poseen aproximadamente el 30% de los bosques de manglar del país (Hamilton, 2020), mientras que Guayas posee el 67.68% (Carvajal & Santillán, 2019; Hamilton, 2020). En la actualidad, 9 de las 41 zonas de manglares existentes son Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (Vera, 2020). En cambio, el Archipiélago de Galápagos posee manglares a lo largo de sus costas, las mismas que tienen protección ambiental dadas las condiciones del manejo de la Reserva Marina de Galápagos. Debido a esto, el uso de manglares en Galápagos está restringido, haciendo que estos ecosistemas se conserven, en su gran mayoría en estado prístino (Tanner et al., 2019).

Estos ecosistemas están compuestos por diferentes especies de mangle, entre las cuales *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *Rhizophora x harrisonii*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa var. racemosa* y *L. racemosa var. glabriflora*, son las que se encuentran en mayor porcentaje dentro de los bosques (Cornejo, 2014; Carvajal & Santillán, 2019). Se conoce que Ecuador posee un estimado de 154.094.58 ha de bosque de mangle, sin embargo, desde el año 1969 hasta el 2013 se ha perdido aproximadamente 46.530.32 ha, lo que equivale al 22.8% (Carvajal & Santillán, 2019). Debido a esto, se han llevado a cabo varias estrategias que buscan mitigar los impactos antropogénicos en estos ecosistemas y así evitar su pérdida.

Una de las principales estrategias implementadas se dio en el año 2000 por parte del Gobierno a través del organismo que en la actualidad se conoce como

Ministerio de Ambiente y Agua (MAA). Este ministerio se encarga de la protección de zonas de manglar, mediante acuerdos para el Uso Sustentable y Custodia del Manglar. Dichos acuerdos validados jurídicamente, conceden a los usuarios tradicionales y ancestrales, derechos de uso (MAA, 2016). Al mismo tiempo incentivan la conservación, involucrando a las comunidades en el manejo sustentable de este ecosistema y sus recursos (Bravo, 2019). También se tiene el “Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Manglares en Ecuador”, aprobado en el 2019, para cumplir con el Plan de Acción Regional para la Conservación de los Manglares en el Pacífico Sudeste y el plan de Acción REDD+. Este plan tiene como finalidad detener la tala indiscriminada de manglares mejorando las políticas y programas encargados del manejo y recuperación de los manglares, además de apoyar a las comunidades que dependen directamente de sus recursos (MAA, 2019).

Por otro lado, con el fin de evitar el uso ilegal de zonas de manglar, en el 2008 se aprobó el Decreto ejecutivo No 1391 que permite a las camaroneras hacer uso de los manglares, con la condición de que se restaure parte de las áreas perdidas en el plazo de 1 año (Correa et al., 2008). Este decreto plantea que la restauración depende del área de manglar usada. En el caso de que se use hasta 10 ha de manglar se debe reforestar el 10%, si se usa de 11 a 50 ha de manglar el 20% y de 51 a 250 ha de manglar el 30%. Además, se conoce que una de las fundaciones encargadas de realizar estos proyectos, es Fundación CALISUR (Alianza de Camaroneros del Litoral del Sur). Esta fundación fue creada en el año 2007 por camaroneros de Balao, Naranjal, Puna, Cien familias y Tenguel. En la actualidad, han forestado aproximadamente 1.600 ha de mangle rojo en zonas de embanques en el canal de Jambelí, perteneciente a la provincia del Guayas (CALISUR, 2014; CALISUR, 2020).

Una de las especies más utilizadas en proyectos de forestación y reforestación en el país es la especie *R. mangle*. Esto se debe a su facilidad de crecimiento y arraigamiento de sus propágulos en distintos sustratos (Pólit, 2016). Según estudios realizados, es capaz de desarrollarse en viveros, resistir cambios

drásticos de temperatura, salinidad y adaptarse fácilmente al aumento del nivel del mar (Rosa, 2014; Pólit, 2016; Rabaza, 2019). Incluso es una de las especies más utilizadas en proyectos de restauración en manglares del Pacífico Sudamericano, ya que su siembra directa es de bajo costo, tiene baja mortalidad y alta sobrevivencia (Cerrón et al., 2017; Carrasco, 2019).

Dentro de las actividades que realiza CALISUR, también está el trabajar con empresas que requieran su servicio, como DPWorld (Aleman, 2017). En el año 2017, se permitió a esta empresa hacer uso de 10.48 ha de manglar para la construcción del Puerto de Aguas profundas en Posorja, mediante una Licencia ambiental aprobada por el MAA. Debido a esto DPWorld empleo a CALISUR para la forestación de 64.42 ha de manglar en el sector noroeste de la isla Puná, ubicada en el cantón Guayaquil, provincia del Guayas. Esta zona forma parte del Manglar de Jama Zapotillo, el cual está distribuido desde el norte de la provincia de Manabí hasta Piura, Perú. Estos manglares ubicados en la costa del Pacífico se caracterizan por ser estrechos y con baja diversidad vegetal debido a la elevada concentración de sal que poseen sus suelos. Además tienen valores altos de evapotranspiración, drenaje deficiente y precipitación anual baja (Cardno Entrix, 2020). En la Figura 1.1 se puede observar la ubicación de unas parcelas que se encuentran dentro del área forestada en las que se realizó un estudio de vegetación.

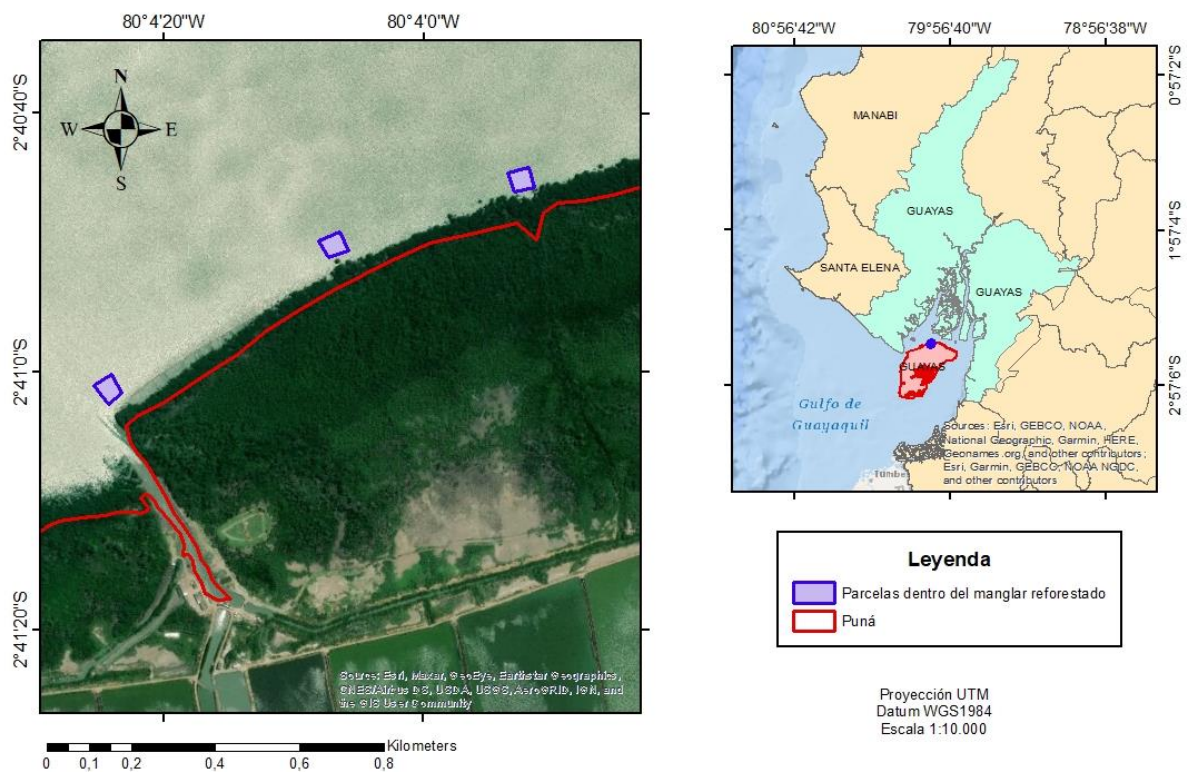


Figura 1.1 Parcelas dentro de un área forestada de manglar en la isla Puná.

Realizado en ArcMap

1.4.3 Metodologías para estimación de carbono

El carbono en los bosques de manglar puede ser almacenado en la biomasa (aérea, subterránea y muerta) o en el suelo (Rovai et al., 2021). A pesar de que en los ecosistemas costeros el suelo es el sumidero de C más importante, los otros depósitos de C también deben ser tomados en consideración al desarrollar proyectos de estimación. Las existencias de C a menudo son medidas en megagramos de C orgánico por hectárea (Mg C_{org}/ha). Dichas existencias son determinadas sumando las mediciones de todos los sumideros de carbono presentes en el área de estudio las cuales pueden ser obtenidas empleando varias metodologías que utilizan una amplia gama de fórmulas matemáticas (Howard et al., 2018).

Para conocer la biomasa de un manglar o un bosque de manglar, los indicadores aboveground biomass (AGB) y belowground biomass son calculados. Como aboveground biomass (AGB) o biomasa aérea se define a toda la biomasa (materia orgánica) viva de la vegetación que se encuentra por encima del suelo, incluyendo los tallos, ramas, cortezas, semillas y hojas. Es la más visible de todos los depósitos de carbono. Algunas de las metodologías utilizadas para medir este componente son: método de la cosecha (Harvest method), medición de los flujos de carbono, metodologías de teledetección, remotas o por satélite, modelado, método sin parcela y con parcela. De estas, para inventarios de carbono el método más adecuado, rentable y por lo tanto más usado es el método de parcelas (Ravindranath & Ostwald, 2008).

El método de parcelas tiene como objetivo estimar el volumen o peso de la biomasa de la vegetación en un conjunto de parcelas, haciendo uso de varias medidas dendrométricas. Este método tiene algunas variantes como cuadratas o transectos y parcelas circulares. Luego de establecer las parcelas, para estimar la biomasa aérea por árbol y por hectárea se utilizan diferentes medidas como la altura o el diámetro a la altura del pecho¹ (DBH, por sus siglas en inglés) y se pueden usar ecuaciones de estimación de biomasa (ecuaciones alométricas), el método de la cosecha dentro de las parcelas o calcular el volumen de cada árbol usando DBH, altura y forma del árbol y usar la densidad de la madera para convertir el volumen en peso (Ravindranath & Ostwald, 2008).

Las ecuaciones alométricas son capaces de predecir un valor (en este caso la biomasa) en base a otra medida que sea menos difícil de medir. La base de estas ecuaciones es la relación estadística entre las diferentes medidas de un individuo tomando en cuenta que el desarrollo ontogénico es el mismo, independientemente de la variabilidad que se asocia a la historia personal. En el caso de los árboles, el crecimiento es variable debido a que depende de la genética, el entorno, la acción antropogénica y la etapa del desarrollo. Para calcular la biomasa se suele

¹ La medición también puede ser realizada a 1.3 m de altura o a 30 cm sobre la raíz más alta.

dividir los árboles en secciones homogéneas siendo estas: el tronco, la corteza, las ramas vivas y muertas, las hojas y las raíces. Dichas ecuaciones pueden ser construidas a partir de muestreos que incluyen la toma de medidas dendométricas para posteriormente talar los árboles y realizar mediciones del contenido de carbono en el laboratorio (método de la cosecha) (Picard et al., 2012).

Otros métodos para calcular la biomasa aérea son los mecanismos de teledetección, los cuales pueden ser sensores ópticos satelitales, imágenes satelitales, sensores de láser o sensores de radar. Estos métodos buscan disminuir la mano de obra y el tiempo empleado en el muestreo (Ravindranath & Ostwald, 2008; Picard et al., 2012). Una de ellas es la metodología de escaneo láser terrestre o también conocida como LiDAR (light detection and ranging). Este método de muestreo se basa en la tecnología de la teledetección y consiste en capturar la estructura tridimensional (3D) y a alta resolución de los árboles (Olagoke et al., 2016). Sin embargo, estos métodos remotos suelen tener sus limitaciones ya sea en la precisión de las mediciones, la diferenciación de la vegetación, los recursos humanos, condiciones ambientales (nubosidad) o recursos financieros (Picard et al., 2012).

Por otro lado, con el nombre de belowground biomass (BGB) o biomasa subterránea se conoce a la biomasa total de las raíces vivas (generalmente se excluye a las menores de 2 mm de diámetro). Representa un importante reservorio de C debido a que puede llegar a representar del 20 al 26% de la biomasa total. Para calcular este tipo de biomasa los métodos usados son extracción de las raíces y medición del peso, relación raíz a brote (factor de conversión) o se puede usar ecuaciones alométricas. El método más usado es el de factor de conversión a pesar de que se requiere del estimado de AGB. Las ecuaciones de alométricas también suelen ser usadas, pero para ello se necesitan otras medidas dendométricas. El método de extracción de raíces no es muy adecuado debido a que disturba el suelo además de que es costoso (Ravindranath & Ostwald, 2008).

El valor de la biomasa muerta suele ser obtenida mediante mediciones directas del contenido de carbono. Este método es el que se usa con frecuencia y consiste en la medición de las existencias dentro de parcelas en dos periodos de tiempo y calculando la diferencia entre estas. Otro método es el de trampa para hojarasca pero requiere de mucho esfuerzo y no es recomendado en algunas condiciones forestales. Para realizar este método se requiere la instalación de trampas de hojarasca en el suelo de los bosques de manglar y protegerlos de los daños por años. Mensualmente se recolecta la hojarasca dentro de las trampas y se pesa para luego obtener el valor de la producción anual de hojarasca por hectárea (Ravindranath & Ostwald, 2008).

En el caso del carbono almacenado en el suelo, también puede ser medido por diferentes métodos. El más común es el muestreo de campo y estimación en el laboratorio, aunque también se puede hacer modelados y usar espectroscopia difusa de reflectancia. Este último no es muy recomendado debido a su baja rentabilidad y altos requerimientos de habilidad del personal, aunque puede que en el futuro su aceptación sea mayor. El método de modelado requiere información precedente de otros métodos por lo que puede que no se use regularmente (Ravindranath & Ostwald, 2008). El muestreo de campo del suelo puede ser cuantificado recolectando núcleos del suelo, de los cuales se toman submuestras que se analizan diferenciando la profundidad, calculando la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico en el suelo (Howard et al., 2018).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura siguiendo una serie de pasos detallados y esquematizados (Figura 1) que permitieron la identificación de una metodología adecuada para la estimación de C en los manglares del Ecuador, enfocándose en las áreas que han sido forestadas. El trabajo se dividió en dos fases: obtención de artículos y análisis de datos. Para la fase de obtención de artículos primero se determinaron las bases de datos a usar tomando en cuenta que el área de especialización de estas sea relevante para la presente investigación. Por lo tanto, se eligieron las bases de datos Scopus, ScienceDirect y Web of Science, ya que nos permiten tener acceso a información actualizada sobre el problema planteado. Después se establecieron palabras claves y las frases de búsquedas a utilizar para la obtención de los artículos. Para Scopus y Web of Science la frase de búsqueda fue (Mangrove AND (“Carbon estimation” OR “Carbon stock” OR “Blue carbon”)). Se aplicó filtros para solo obtener resultados procedentes de artículos de investigación y revisiones con fecha de publicación dentro de los últimos 10 años y área de estudio en Sudamérica. Esta región fue elegida debido a la cercanía con los manglares del Ecuador y a la poca cantidad de información sobre el tema en el país. En el caso de ScienceDirect la frase de búsqueda fue (Mangrove AND (“Carbon estimation” OR “Carbon stock” OR “Blue carbon”) AND “South America”)) e igualmente solo se eligieron artículos de investigación y revisiones publicados en los últimos 10 años. Con los resultados procedentes de las búsquedas se creó una base de datos en Mendeley.

Para la fase de análisis de datos se filtraron los artículos, en donde se evidenció la presencia de 51 duplicados, 32 artículos que tenían área de estudio fuera de Sudamérica y 42 artículos cuyo tema principal no era la estimación de carbono, los cuales fueron eliminados, obteniendo un total de 31 resultados que fueron exportados a Excel. Estos 31 artículos fueron descargados y analizados individualmente, tomando en cuenta el tipo de metodología usada, el lugar y el tamaño del área de estudio, la especie de mangle presente, el índice e indicador de estimación usado y las limitaciones de las investigaciones. Con esta información se

realizó un análisis comparativo entre los artículos considerando las metodologías más utilizadas y sus requerimientos logísticos y económicos. Finalmente se determinó una metodología con la que se podrá estimar el carbono almacenado en los manglares del Ecuador.

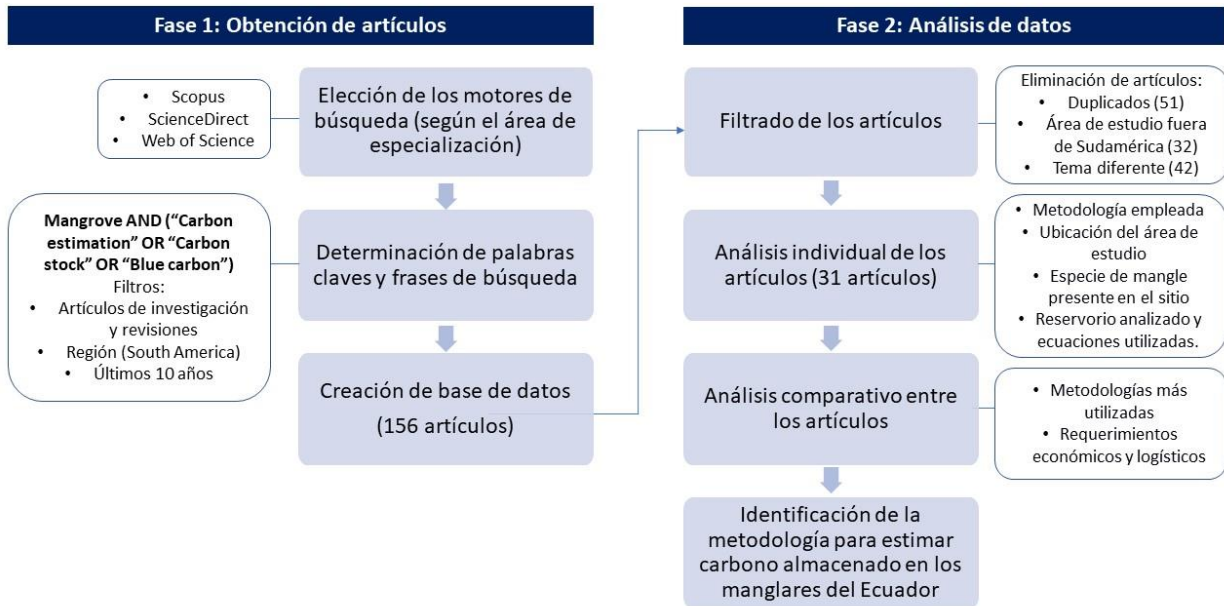


Figura 2.1 Esquema de la metodología usada

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al analizar los artículos científicos, un dato relevante fue que la mayor cantidad de investigación sobre las existencias de carbono en ecosistemas de manglar, realizada en Sudamérica, tuvo como área de estudio zonas perteneciente a Brasil. De los 31 artículos revisados, 17 se desarrollaron en territorio brasileño. El segundo país con mayor investigación fue Colombia con un total de 5 artículos científicos. Le siguen Guyana Francesa y Ecuador, los cuales tienen 3 artículos cada uno. Mientras que en Venezuela, Perú y Bonaire (isla caribeña perteneciente a Países Bajos) se encontró una publicación de cada uno (Figura 3.1).



Figura 3.1: Publicaciones sobre las existencias de carbono por país.

Realizado en Medinbang Paint Pro

Con respecto a biomasa, 22 artículos se enfocaban en medir este reservorio de C. De estos artículos, 4 tenían como objetivo desarrollar ecuaciones alométricas que permitan realizar estimaciones del C almacenado en la biomasa de los manglares de una región específica. Esto quiere decir que utilizaron el método de la cosecha con la finalidad de medir el contenido de C de los árboles y desarrollar las ecuaciones. Uno de estos estudios se llevó a cabo en Colombia y 3 en Brasil. Los demás artículos (13) que realizaron mediciones del contenido de C en la biomasa utilizaron el método de parcelas, sean estas cuadradas o circulares, a lo largo de un transecto. En dichas parcelas, se tomaron medidas dendrométricas y se usaron ecuaciones propuestas por varios autores para cada especie de mangle dentro de la zona de estudio, como se describe en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea

Especies	Fórmula de estimación de biomasa aérea	R ²	DBH	Referencia
<i>Rhizophora mangle</i>	$AGB(g) = e^{(5.534244 + 2.404770 * \ln(DBH))}$			Santos et al., (2016)
	$AGB(Kg) = 0.722*(DBH)^{1.731}$	0.94	max: 20 cm	Fourqurean et al., (2014)
	$AGB(t/ha) = 0.251(0.9064) DBH^{2.46}$			da Motta Portillo et al., (2017)
	$AGB(g) = e^{(4.89219+2.61724*\ln(DBH))}$	0.991	1-20 cm	Soares & Schaeffer-Novelli, (2005)
	$AGB(g) = 772.7*(DBH)^{1.731}$	0.937	0.5–20.0 cm	Smith & Whelan, (2006)
	$AGB(g) = 177.9*(DBH)^{2.4176}$	0.98	6–23 cm	Imbert & Roller, (1989)
	$AGB(g) = 427.26(DBH^2) - 544.45(DBH) + 994.63$	0.85		Ferreira et al., (2019)
	$AGB(g) = 128.2(DBH)^{2.6}$	0.92	1.3-32 cm	Fromard et al., (1998)
	$AGB(Kg) = 0.178(DBH)^{2.47}$	0.98		Imbert & Roller, (1989)
	$AGB(Kg) = 0.2938(DBH)^{(2.384)}$	0.92	<21 cm	Medeiros & Sampaio, (2008)
	$AGB(Kg) = 0.2752((DBH^2)(H))^{0.8529}$	0.94	<21 cm	Medeiros & Sampaio, (2008)
	$AGB = e^{(5.534244+2.404770 \ln(DBH))}$	0,99		Santos et al. (2017)
	$AGB = e^{(1,91+2,59 \ln(DBH))}$	0,99		Yepes et al. (2016)
	$AGB = e^{(3,16+1,55 \ln(DBH)*H)}$	0,96		Yepes et al. (2016)
	$AGB = e^{(2,73+0,98 \ln(DBH^2)*H)}$	0,98		
$ABG(g) = 299.43(DBH^2) - 486.06(DBH) + 393.04$	0.99		Ferreira et al., (2019)	
<i>Laguncularia racemosa</i>	$AGB(Kg) = 103.3*(DBH)^{2.5}$	0.97	max:10 cm	Fourqurean et al., (2014)
	$AGB(Kg) = 0.362*(DBH)^{1.930}$	0.98	max: 18 cm	

	AGB (kg) = 0.1442*DBH^2.325			Fourqurean et al., (2014) Medeiros & Sampaio (2008)
	AGB (kg) = 10^(1.93log10(DBH) -0.441)			Smith & Whelan, (2006)
	AGB (t/ha) =0.251(0.6100)DBH^2.46	0.979		Komiyama et al., (2005)
	AGB(Kg)=0.209(DBH)^2.24	0.99		Imbert & Roller, (1989)
	AGB(Kg)= 0.1442DBH^(2.325)	0.96	<21 cm	Smith & Whelan, (2006)
	AGB(Kg)= 0.1214(DBH^2*H)^(0.8615)	0.97	<21 cm	Smith & Whelan, (2006)
	AGB(g)=102.3*(DBH)^2.5	0.97	1- 10 cm	Fromard et al., (1998)
	AGB(g)= 362.2*(DBH)^1.930	0.977	0.5–18.0 cm	Smith & Whelan, (2006)
	AGB(g)= 94.2*(DBH)^2.5367	0.99	7-26 cm	Imbert & Roller, (1989)
	AGB =0.0942(DBH)^2.54	0.99	1-4 cm	Imbert & Roller, (1989)
<i>Avicennia germinans</i>	AGB (g) = 200.44(DBH)^(2.09)	0.82	1 cm < DBH < 4 cm	Fromard et al., (1998)
	AGB (Kg) = 0.14(DBH)^(2.44)	0.97	1 cm < DBH < 4 cm	Fromard et al., (1998)
	AGB(g) = 402.7 *(DBH)^1.934	0.951	0.7–21.5 cm	Smith & Whelan, (2006)
	AGB(g) =208.8 *(DBH)^2.239	0.99	6-41 cm	Imbert & Roller, (1989)
	AGB = e^(-3.3007 + 0.1873 ln (DBH) + 0.7666ln(H) + 0.7003 ln (Ca))	0.97		Source Carneiro, (2017)
	AGB = e^(-3.8629 + 1.0848 ln(DBH) + 0.5209ln(V))	0.99		Source Carneiro, (2017)
	AGB = e^(-9.2154 + 1.5342 ln(DBH) + 1.8814ln(H))	0.98		Fourqurean et al., (2014)
	AGB(Kg) = 0.14*(DBH)^2.4	0.97	max: 42 cm	
	AGB(Kg) = 0.403*(DBH)^1.934	0.95	max: 21.5	(Fourqurean et al., (2014)
AGB (g) = e^(4.8017 + 2.5282 * ln(DBH))			Estrada et al. (2014)	
<i>Avicennia schaueriana</i>	AGB (t/ha) = 0.251(0.7367) DBH^2.46			Komiyama et al., (2005)

AGB: Aboveground biomass; DBH: Diameter at breast height; H: Height; Ca: Crown area; V: volumen

Para *R. mangle*, una de las ecuaciones que se empleó en varios artículos (incluido uno de Ecuador) es la de Fromard et al., (1998):

$$AGB(g) = 128.2(DBH)^{2.6} \quad (3.1)$$

En esta ecuación se utiliza el DBH como variable independiente, el R² es 0.92 y se utilizaron 9 individuos. La ecuación fue construida con datos de árboles

pertenecientes a manglares de la Guyana Francesa. Fue utilizada en uno de los artículos en los que se estimó biomasa aérea en Brasil y en Ecuador (Hamilton et al., 2017; Marchand et al., 2017; Kauffman et al., 2018).

Otra ecuación relevante para *R. mangle* es la obtenida por Imbert & Roller (1989) y recomendada por Komiyama et al., (2008):

$$AGB = 0.178 * DBH^{2.47} \quad (3.2)$$

Se utiliza el DBH como variable independiente, el R² es 0.98 y utilizaron 17 árboles de mangle. Esta fórmula se utilizó en manglares naturales, restaurados y forestados del norte de Ecuador, en Muisne, provincia de Esmeraldas por DeVecchia et al., (2014).

Además, en un estudio realizado por Yepes et al. (2016) en manglares de Colombia, se determinaron ecuaciones para *R. mangle*, las cuales son:

$$AGB = e^{(1.91+2.59 \ln(DBH))} \quad (3.3)$$

$$AGB = e^{(3.16+1.55 \ln(DBH)*H)} \quad (3.4)$$

$$AGB = e^{(2.73+0.98 \ln(DBH^2)*H)} \quad (3.5)$$

En estas ecuaciones se utiliza como variables independientes el DBH y la altura total. El R² es de 0.99, 0.96 y 0.98 respectivamente y se utilizaron 30 individuos en la construcción de las ecuaciones.

Para *L. racemosa*, la ecuación utilizada en varias investigaciones para estimar su biomasa es la obtenida por Smith & Whelan (2006):

$$AGB(Kg) = 0.1442 * DBH^{2.325} \quad (3.6)$$

El coeficiente de R² es de 0.99 y se utilizaron 35 mangles para la construcción de la ecuación. Las investigaciones que utilizaron esta ecuación se desarrollaron en

manglares de Brasil (Kauffman et al., 2018a; Kauffman et al., 2018b; Rovai et al., 2021).

Para esta especie también se utilizó otra ecuación en un estudio realizado por Hamilton et al. (2017) en Ecuador, con un coeficiente R² de 0.99 y realizada con 17 mangles por Imbert & Rollet (1989):

$$AGB(Kg) = 0.209 * DBH^{2.24} \quad (3.7)$$

Para *A. germinans* se encontraron 3 ecuaciones utilizadas en Ecuador por DeVelchia et al. (2014) y Hamilton et al. (2017)

$$AGB = 0.0942 * DBH^{2.54} \quad (3.8)$$

$$AGB (g) = 0208.8 * DBH^{2.239} \quad (3.9)$$

$$AGB (g) = 402.7 * DBH^{1.934} \quad (3.10)$$

Los coeficientes R² son 0.99, 0.95 y 0.99 respectivamente. Los autores de las 2 primeras ecuaciones son Imbert & Rollet (1989), mientras que la última es de Smith & Whelan (2006).

Finalmente, para *A. schaueriana* solo se encontraron 2 fórmulas descritas en la Tabla 3.1.

Con respecto a la estimación de la biomasa subterránea, se utilizaron ecuaciones alométricas generales y específicas para especies de mangle dentro de la zona de estudio, como se describe en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa subterránea

Especie	Fórmula de estimación de biomasa subterránea	R ²	n	Referencia
<i>R. mangle, L. racemosa, A.</i>	BGB(Kg)= 0.199*((ρ ^{0.899}) * (DBH)) ^{2.2}	0.95	26	Komiyama et al., (2005) Komiyama et al., (2008)
	BGB= 0.251ρ(DBH) ^{2.46}			Komiyama et al., (2005)

<i>germinans</i>	BGB = AGB * 1.14			Santos et al., (2017)
entre otras.	BGB = AGB * 0.52			Komiyama et al., (2008)
<i>Avicennia germinans</i>	BGB(Kg)= 0.038*(0.002 H+0.082DBH+(-0.3781) ρ	0.92	8	Virgulino et al., (2020)
	BGB(Kg)= 0.468*(DBH)^(1.036)	0.93	11	
	BGB(Kg)=0.002*(DBH^(1.381))*(H^(2.205))*(V^(0.005))*(ρ^(4.263))	0.99	8	

BGB: Belowground biomass; DBH: Diameter at breast height; H: Height; ρ: Density, V= volumen

En las ecuaciones obtenidas de BGB no se encontraron ecuaciones específicas para Ecuador, sin embargo, Hamilton et al. (2017) realizó un estudio en el país y utilizó la relación de biomasa aérea a biomasa subterránea (1:0.52) propuesta por Komiyama et al. (2008). Dicha relación, permitió estimar el BGB en las especies de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa*.

Otra de las ecuaciones empleada en varios artículos, fue la de Komiyama et al. (2005), la cual también fue usada en un estudio realizado en Colombia:

$$BGB(Kg) = 0.199 * ((\rho^{0.899}) * (DBH))^{2.2} \quad (3.11)$$

Esta ecuación fue determinada con una muestra de 26 árboles de mangle. Su R² es de 0.95 y tiene como variable independiente al DBH, el mismo que no debe ser mayor de 45 cm.

Luego de obtener el AGB y BGB, el contenido de carbono en la biomasa se calcula aplicando un factor de conversión. Para AGB, Rodríguez et al. (2014) propuso un factor de conversión de 0.44, el cual fue utilizado por Ferreira et al. (2019) y Rovai (2021). Así mismo, Fourqurean et al. (2014) sugirió un factor de 0.46, utilizado por Hatje et al. (2020) y Senger et al. (2021). Asimismo, Kauffman and Donato (2012) plantearon un factor de 0.48, empleado por Kauffman et al., (2018). Mientras que IPCC (2007) estableció un factor de 0.50 usado por Portela (2020) y Yepes (2016). En el caso del BGB, Rodríguez et al. (2015) planteó un factor de 0.43 y Kauffman & Donato (2012) un factor de 0.39. El valor obtenido esta expresado en Mg ha⁻¹.

Por otro lado, una gran cantidad de artículos se enfocan en estimar el C en los suelos, lo cual se debe a que es el principal depósito de C en los manglares, además de que provee almacenamiento a largo plazo a diferencia de la biomasa (Palacios et al., 2019; Rovai et al., 2021). Para esta estimación, se utilizaron muestreos *in situ* así como mecanismos de teledetección (LiDAR o imágenes satelitales). En la tabla se puede observar algunas de las ecuaciones utilizadas, tanto de reservas de carbono como de la tasa de acumulación de sedimento.

Tabla 3.3 Ecuaciones usadas en la estimación de carbono

	Fórmula de estimación	Referencia
Existencias de carbono	$\text{Stocks (g m}^{-2}\text{)} = [\text{DBD}] \times [\text{depth}] \times [\text{TOC, TN or TP content}]$	(Matos et al., 2020)
	$\text{Underground carbon (Mg/ha)} = \%C * \text{DBD}$	(Costa et al., 2019)
	$\% \text{TOC} = 6.044(\text{DBD})^{-0.775}$	(DelVecchia et al., 2014)
	$\text{Carbon stock (Mg/ha)} = \text{BD(g/cm}^3\text{)} * \% \text{TOC} * \text{depth}$	(Marchand, 2017)
Tasa de acumulación	$\text{Accumulation rates (AR) (g m}^{-2}\text{ yr}^{-1}\text{)} = [\text{SAR}] \times [\text{DBD}] \times [\text{TOC, TN or TP content}]$	(Matos et al., 2020)

DBD: dry bulk density; TOC: total organic carbon; TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; SAR: sediment accumulation rate.

Discusión

Se conoce que los bosques de manglares son ecosistemas capaces de almacenar grandes cantidades de C tanto en la biomasa como en el suelo, por lo que al momento de elegir metodologías que permitan estimar su valor se deben tomar en consideración algunos factores (Donato et al., 2011; Adame et al., 2013; Mitchard et al., 2014). Las metodologías de teledetección y las metodologías directas para estimar el C presentan diferencias significativas con respecto a la precisión y el alcance de sus mediciones. Por ejemplo, los mecanismos de teledetección suelen estar limitados a valores bajos de AGB debido a la saturación del sensor al alcanzar determinados niveles de biomasa, limitada cobertura espacial (LiDAR) y pueden tener costos elevados de adquisición de los datos (Olagoke et al., 2016). Por lo tanto, además de tomar en cuenta el factor económico, el análisis de los trabajos previos permite establecer que las metodologías de toma de muestra directa o *in situ* son más factibles.

Además, la estimación del C en la biomasa aérea de los manglares tiene una fase de campo menos complicada de realizar que la estimación de C en el suelo y no requiere estrictamente de una fase de laboratorio (si se hace uso de ecuaciones alométricas). A esto se debe agregar que aproximadamente el 50% de la madera de los manglares es C, por lo que la vegetación representaría un almacén viviente capaz de mantenerse durante un largo periodo de tiempo si no es perturbado (Breithaupt et al., 2012; Rovai et al., 2021). Asimismo, la vegetación de los bosques de manglares refuerzan la capacidad de almacenamiento del ecosistema y los sistemas de raíces ayudan a que se acumule la materia orgánica en los sedimentos (Kristensen et al., 2008; Sanders et al., 2012; Alongi, 2014). Por lo tanto, conocer el valor de la biomasa aérea nos permitiría evaluar el crecimiento, la productividad y la captura de carbono de la atmósfera por parte de los manglares (Ferreira et al., 2019).

Con respecto a las ecuaciones alométricas para estimar AGB y BGB, en los artículos revisados no se encontraron ecuaciones específicas para Ecuador, por lo que una práctica regular en la ecología de manglares es utilizar ecuaciones de regiones cercanas (Adame et al., 2013; Kauffman et al., 2014). Por esta razón, en los manglares forestados con *R. mangle* del país, una opción sería usar la ecuación de Fromard et al. (1998) para la estimación de AGB. Esto se debe a que dicha ecuación fue utilizada en varios artículos, incluido uno de Ecuador. Otra de las ecuaciones que puede ser utilizada para *R. mangle*, es la propuesta por Imbert & Rollet (1989), y recomendada por Komiyama et al., (2008). Esta ecuación fue utilizada en un estudio de manglares naturales, forestados y reforestados al norte del país. En el caso del factor de conversión de AGB a carbono, la literatura sugiere utilizar un factor que se encuentre dentro de 0.46 y 0.50 (Howard et al., 2014; Senger et al., 2021a). En base a esto, se podría utilizar el factor de 0.46 propuesto por Fourqurean et al. (2014), empleado en 2 de los estudios analizados. Otras opciones serían el factor de 0.48 propuesto por Kauffman and Donato (2012) y el factor de 0.50 planteado por IPCC (2007).

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Como resultado de la evaluación de las metodologías para la estimación de carbono en manglares se puede concluir que:

- Basándonos en el factor económico y la precisión de la estimación de C, las metodologías *in situ* son más factibles de ejecutar que las metodologías de teledetección, ya que estas últimas tienen desventajas en sus mediciones, limitaciones técnicas y alto costo de adquisición. Así mismo, la estimación del C en la biomasa aérea (AGB) presenta menos dificultades técnicas en su ejecución que la estimación de C en el suelo.
- La estimación del AGB permite tener una proyección real de las reservas de C de los manglares. Dicho lo anterior, las ecuaciones de Fromard et al. (1998) y Imbert & Rollet (1989) en *R. mangle* son las más adecuadas para los manglares forestados del país, ya que han sido utilizadas en varios estudios en Sudamérica, incluido Ecuador. En el caso del factor de conversión de biomasa a carbono, el valor propuesto por Fourqurean et al. (2014) de 0.46 es el más conveniente de utilizar ya que está dentro del rango recomendado y su valor evita la sobreestimación del carbono almacenado en la biomasa viva del manglar.
- Finalmente, conocer la cantidad de C almacenado en los ecosistemas de manglar del Ecuador, permite hacer visible el aporte de estos ecosistemas costeros en la mitigación y adaptación al cambio climático. Al mismo tiempo, incentiva a que se realicen más proyectos de forestación y reforestación de manglar, los cuales, ayudan a la conservación de biodiversidad y proporcionan bienestar humano.

Recomendaciones

- Debido a que este es un trabajo netamente teórico, se recomienda continuar con la fase de campo y realizar las estimaciones de carbono en manglares forestados.
- Se recomienda utilizar más de una ecuación alométrica para estimar el AGB ya que esta práctica ayuda a evaluar las posibles diferencias en el valor de la estimación debido a las variables y coeficientes que conforman la ecuación.
- En el caso de que se quiera realizar un análisis más completo se recomienda estimar el C de los demás reservorios, como el suelo y la biomasa subterránea. Además de que esto podría resultar en el desarrollo de un inventario de carbono.
- Se recomienda realizar más investigaciones sobre la estimación de carbono en manglares del Ecuador, ya que la información actual es escasa a pesar de que se posee una amplia cobertura de bosques de manglar.

BIBLIOGRAFÍA

- Adame, M. F., Cherian, S., Reef, R., & Stewart-Koster, B. (2017). Mangrove root biomass and the uncertainty of belowground carbon estimations. In *Forest Ecology and Management* (Vol. 403, pp. 52–60). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.016>
- Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J. P., Reza, M., & Herrera-Silveira, J. A. (2013). Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056569>
- Ahmed, N., Cheung, W. W. L., Thompson, S., & Glaser, M. (2017). Solutions to blue carbon emissions: Shrimp cultivation, mangrove deforestation and climate change in coastal Bangladesh. *Marine Policy*, 82, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.007>
- Aleman, M. (2017). *PROYECTO DE REFORESTACIÓN DE MANGLARES*. <http://cardnolatinamerica.com/es/noticias/469-reforestacion-de-manglares>
- Alongi, D. M. (2008). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3), 313–322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>
- Alongi, D. M. (2014). Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 195–219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Atwood, T. B., Connolly, R. M., Almahasheer, H., Carnell, P. E., Duarte, C. M., Ewers Lewis, C. J., Irigoien, X., Kelleway, J. J., Lavery, P. S., Macreadie, P. I., Serrano, O., Sanders, C. J., Santos, I., Steven, A. D. L., & Lovelock, C. E. (2017). Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, 7(7), 523–528. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. In *Ecological*

Monographs (Vol. 81, Issue 2, pp. 169–193). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1890/10-1510.1>

Barreto, M. B., Lo Mónaco, S., Díaz, R., Barreto-Pittol, E., López, L., & Peralba, M. do C. R. (2016). Soil organic carbon of mangrove forests (*Rhizophora* and *Avicennia*) of the Venezuelan Caribbean coast. *Organic Geochemistry*, 100, 51–61.
<https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2016.08.002>

Bernardino, A. F. A. F., Sanders, C. J. C. J., Bissoli, L. B. L. B., Gomes, L. E. D. O. L. E. de O., Kauffman, J. B. B., & Ferreira, T. O. T. O. (2020). Land use impacts on benthic bioturbation potential and carbon burial in Brazilian mangrove ecosystems. *LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY*, 65(10), 2366–2376.
<https://doi.org/10.1002/lno.11458>

Bravo, M. (2019). Los Acuerdos para el Uso Sustentable y Custodia del Manglar: Una estrategia de conservación, comanejo y asignación de derechos de uso. *Primer Congreso Manglares de América. Universidad Espíritu Santo. Samborondón-Ecuador*. <http://manglaresdeamerica.com/index.php/ec/article/view/28/53>

Breithaupt, J. L., Smoak, J. M., Smith, T. J., Sanders, C. J., & Hoare, A. (2012). Organic carbon burial rates in mangrove sediments: Strengthening the global budget. *Global Biogeochemical Cycles*, 26(3). <https://doi.org/10.1029/2012GB004375>

Bryan-Brown, D. N., Connolly, R. M., Richards, D. R., Adame, F., Friess, D. A., & Brown, C. J. (2020). Global trends in mangrove forest fragmentation. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63880-1>

CALISUR. (2014). *¿Qué es Fundación Calisur?* <http://fundacioncalisur.org/>

CALISUR. (2020). *INFORME REFORESTACION con MANGLE ROJO en zonas eutrofizadas del Canal de Jambelí.*

Cardo Entrix. (2020). *Monitoreo de Evaluación del Éxito de Restauración de Hábitats y Ecosistemas en el Área de Compensación de Manglar.*

Carrasco, D. M. R. (2019). *Sobrevivencia y crecimiento de *Rhizophora mangle* L. en la formación de nuevas áreas de reforestación en el Sitio Ramsar No. 1602 [UNIVERSIDAD VERACRUZANA].*
<https://www.uv.mx/pozarica/mmemc/files/2020/02/DULCE-MARIA-RODRIGUEZ->

CARRASCO.pdf

- Carvajal, R., & Santillán, X. (2019). Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Manglares del Ecuador Continental. In *Ministerio del Ambiente de Ecuador, Conservación Internacional Ecuador, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Proyecto Conservación de Manglar en el Pacífico*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/plan-nacional-consumo-alcohol-2014-2021.pdf>
- Cerrón, J., del Castillo, J., Mathez-Stiefel, S.-L., Franco, M., & Thomas, E. (2017). *Lecciones aprendidas de experiencias de restauración en el Perú* (Issue September). https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/Lecciones_aprendidas_de_restauracion.pdf
- Chatting, M., LeVay, L., Walton, M., Skov, M. W., Kennedy, H., Wilson, S., & Al-Maslamani, I. (2020). Mangrove carbon stocks and biomass partitioning in an extreme environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 244(January), 106940. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106940>
- Chen, S., Chen, B., Chen, G., Ji, J., Yu, W., Liao, J., & Chen, G. (2021). Higher soil organic carbon sequestration potential at a rehabilitated mangrove comprised of *Aegiceras corniculatum* compared to *Kandelia obovata*. *Science of the Total Environment*, 752, 142279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142279>
- Cornejo, X. (2014). Árboles Y Arbustos De Los Manglares Del Ecuador. In *MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT)*. file:///C:/Users/user/Downloads/LEXTN-Cornejo-142915-PUBCOM.pdf
- Correa, R. D., Soliz, D. C., Carvajal, M. A., Poveda, W. R., & Aguiñaga, M. V. (2008). *Decreto* *No* *1391*. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/916E4710EDDF265E0525781D0057B26E/\\$FILE/4_Decreto_Nº_1391.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/916E4710EDDF265E0525781D0057B26E/$FILE/4_Decreto_Nº_1391.pdf)
- Costa, M. T., Salinas-de-Leon, P., & Aburto-Oropeza, O. (2019). Storage of blue carbon

- in isolated mangrove forests of the Galapagos' rocky coast. *WETLANDS ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 27(4), 455–463. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09653-8>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- da Motta Portillo, J. T., Londe, V., & Moreira, F. W. A. (2017). Aboveground biomass and carbon stock are related with soil humidity in a mangrove at the Piraquê-Açu River, Southeastern Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 21(1), 139–144. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0482-4>
- DelVecchia, A. G. G., Bruno, J. F. F., Benninger, L., Alperin, M., Banerje, O., & De Dios Morales, J. (2014). Organic carbon inventories in natural and restored Ecuadorian mangrove forests. *PeerJ*, 2014(1). <https://doi.org/10.7717/peerj.388>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Mackenzie, R. A., Ainsworth, A., & Pflieger, A. Z. (2012). Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management*, 97(1), 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Dosskey, M., Wells, G., Bentrup, G., & Wallace, D. (2012). Enhancing ecosystem services: Designing for multifunctionality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(2). <https://doi.org/10.2489/jswc.67.2.37A>
- FAO. (2006). *Ordenación de los manglares*.
- Fayad, I., Baghdadi, N., Guitet, S., Bailly, J. S., Hérault, B., Gond, V., El Hajj, M., & Tong Minh, D. H. (2016). Aboveground biomass mapping in French Guiana by combining remote sensing, forest inventories and environmental data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 502–514. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.015>
- Ferreira, A. C. A. C., Arruda Bezerra, L. E., Matthews-Cascon, H., Bezerra, L. E. A., &

- Matthews-Cascon, H. (2019). Aboveground carbon stock in a restored neotropical mangrove: influence of management and brachyuran crab assemblage. *WETLANDS ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 27(2–3), 223–242. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09654-7>
- Ferreira, T. O., Otero, X. L., de Souza Junior, V. S., Vidal-Torrado, P., Macías, F., & Firme, L. P. (2010). Spatial patterns of soil attributes and components in a mangrove system in Southeast Brazil (São Paulo). *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 995–1006. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0224-4>
- Fromard, F., Puig, H., Mougín, E., Marty, G., Betoulle, J. L., & Cadamuro, L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana. *Oecologia*, 115(1–2), 39–53. <https://doi.org/10.1007/s004420050489>
- Fuentes Delgado, J. E. (2020). Comparison of vegetation canopy height model for estimating biomass in a mangrove forest in the Colombian Caribbean. *ENTORNO GEOGRAFICO*, 19, 1–18. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i19.9471>
- Gao, Y., Yu, G., Yang, T., Jia, Y., He, N., & Zhuang, J. (2016). New insight into global blue carbon estimation under human activity in land-sea interaction area: A case study of China. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 159, pp. 36–46). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.05.003>
- Hamilton, S. E. (2020). *Mangroves and aquaculture a five decade remote sensing analysis of Ecuador's estuarine environments*.
- Hamilton, S. E., Lovette, J. P., Borbor-Cordova, M. J., & Millones, M. (2017). The Carbon Holdings of Northern Ecuador's Mangrove Forests. *Annals of the American Association of Geographers*, 107(1), 54–71. <https://doi.org/10.1080/24694452.2016.1226160>
- Harishma, K. M., Sandeep, S., & Sreekumar, V. B. (2020). Biomass and carbon stocks in mangrove ecosystems of Kerala, southwest coast of India. *Ecological Processes*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00227-8>
- Hatje, V., Masqué, P., Patire, V. F., Dórea, A., & Barros, F. (2020). Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves.

Limnology and Oceanography. <https://doi.org/10.1002/lno.11607>

- Hochard, J. P., Hamilton, S., & Barbier, E. B. (2019). Mangroves shelter coastal economic activity from cyclones. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(25), 12232–12237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1820067116>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M., & (eds.). (2018). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E., & eds. (2014). *Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. International Union for Conservation of Nature (IUCN). <https://www.cifor.org/knowledge/publication/5095/>
- Imbert, D., & Roller, B. (1989). *Phytomasse aeriene et production primaire dans la mangrove du Grand Cul- January 1989*.
- James Fourqurean, Beverly Johnson, J. Boone Kauffman, Hilary Kennedy, Catherine Lovelock, J. Patrick Megonigal, Abdulla (Faiz) Rahman, Neil Saintilan, M. S. (2014). *Coordinadores de la Iniciativa Internacional de Carbono Azul CONSERVACIÓN INTERNACIONAL*. www.iucn.org/es
- Kauffman, J. Boone, Bernardino, A. F., Ferreira, L. E. de O. G. T. O., Bolton, N. W., & Nobrega, G. N. (2018). Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *ECOLOGY AND EVOLUTION*, 8(11), 5530–5540. <https://doi.org/10.1002/ece3.4079>
- Kauffman, J. Boone, Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. (2014). Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, 24(3), 518–527. <https://doi.org/10.1890/13-0640.1>
- Kauffman, J.B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Giovannoni, L. R., De Gomes, L. E. O., Romero, D. J., Jimenez, L. C. Z., & Ruiz, F. (2018). Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, 14(9).

<https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>

- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>
- Komiyama, A., Pongparn, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., & Marchand, C. (2008). Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. In *Aquatic Botany* (Vol. 89, Issue 2, pp. 201–219). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
- MAA. (2014). *MAE firma Convenio de Forestación y Reforestación de manglar – Ministerio del Ambiente y Agua*. Ministerio Del Ambiente y Agua.
- MAA. (2016). *MAE continúa impulsando la conservación de manglares*. <https://www.ambiente.gob.ec/mae-continua-impulsando-la-conservacion-de-manglares/>
- MAA. (2019). *Ecuador presenta Plan de Acción para conservar 161 mil hectáreas de manglar*. Ministerio Del Ambiente y Agua. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presenta-plan-de-accion-para-conservar-161-mil-hectareas-de-manglar/>
- Marchand, C. (2017). Soil carbon stocks and burial rates along a mangrove forest chronosequence (French Guiana). *Forest Ecology and Management*, 384, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.030>
- Matos, C. R. L., Berrêdo, J. F., Machado, W., Sanders, C. J., Metzger, E., & Cohen, M. C. L. (2020). Carbon and nutrient accumulation in tropical mangrove creeks, Amazon region. *Marine Geology*, 429, 106317. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106317>
- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011a). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>

- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011b). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Meyer, V., Saatchi, S., Ferraz, A., Xu, L., Duque, A., García, M., & Chave, J. (2019). Forest degradation and biomass loss along the Chocó region of Colombia. *Carbon Balance and Management*, 14(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0117-9>
- Mitchard, E. T. A., Feldpausch, T. R., Brienen, R. J. W., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo, A., Baker, T. R., Lewis, S. L., Lloyd, J., Quesada, C. A., Gloor, M., ter Steege, H., Meir, P., Alvarez, E., Araujo-Murakami, A., Aragão, L. E. O. C., Arroyo, L., Aymard, G., Banki, O., Bonal, D., ... Phillips, O. L. (2014). Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*, 23(8), 935–946. <https://doi.org/10.1111/geb.12168>
- Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Artur, A. G., de Mendonça, E. S., Raimundo, R. A., Teixeira, A. S., & Otero, X. L. (2015). Evaluation of methods for quantifying organic carbon in mangrove soils from semi-arid region. *Journal of Soils and Sediments*, 15(2), 282–291. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-1019-9>
- Olagoke, A., Proisy, C., Féret, J. B., Blanchard, E., Fromard, F., Mehlig, U., de Menezes, M. M., dos Santos, V. F., & Berger, U. (2016). Extended biomass allometric equations for large mangrove trees from terrestrial LiDAR data. *Trees - Structure and Function*, 30(3), 935–947. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1334-9>
- Osland, M. J., Spivak, A. C., Nestlerode, J. A., Lessmann, J. M., Almario, A. E., Heitmuller, P. T., Russell, M. J., Krauss, K. W., Alvarez, F., Dantin, D. D., Harvey, J. E., From, A. S., Cormier, N., & Stagg, C. L. (2012). Ecosystem Development After Mangrove Wetland Creation: Plant-Soil Change Across a 20-Year Chronosequence. *Ecosystems*, 15(5), 848–866. <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9551-1>
- Ouyang, X., & Lee, S. Y. (2020). Improved estimates on global carbon stock and carbon pools in tidal wetlands. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14120-2>

- Palacios Peñaranda, M. L., Cantera Kintz, J. R., & Peña Salamanca, E. J. (2019). Carbon stocks in mangrove forests of the Colombian Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 227, 106299. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106299>
- Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., & Baldera, A. (2012). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>
- Perdomo Trujillo, L. V., Mancera-Pineda, J. E., Medina-Calderon, J. H., Zimmer, M., & Schnetter, M. L. (2020). Massive loss of aboveground biomass and its effect on sediment organic carbon concentration: Less mangrove, more carbon? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 106888. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106888>
- Pérez, A., Machado, W., Gutiérrez, D., Borges, A. C., Patchineelam, S. R., & Sanders, C. J. (2018). Carbon accumulation and storage capacity in mangrove sediments three decades after deforestation within a eutrophic bay. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.018>
- Pérez, Alexander, Machado, W., Gutiérrez, D., Saldarriaga, M. S., & Sanders, C. J. (2020). Shrimp farming influence on carbon and nutrient accumulation within Peruvian mangroves sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243, 106879. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106879>
- Picard, N., Saint-Andre, L., & Henry, M. (2012). *Manual de construccion de ecuaciones alometricas para estimar el volumen y la biomasa de los arboles: del trabajo de campo a la prediccion*. FAO/CIRAD. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2013001501>
- Pólit, M. (2016). *Sobrevivencia de propágulos de Rhizophora mangle sembrados en vivero en el islote del Rio Boca de Beche-Perdernaes (Manabi), bajo diferentes condiciones de salinidad y temperatura* [UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL]. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11817/1/TESIS_FINAL_MANUEL_2015_oct.pdf
- Portela, M. G. T., de Espindola, G. M., Valladares, G. S., Amorim, J. V. A., & Frota, J. C.

- O. (2020). Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 28(4), 607–622. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09735-y>
- Rabaza, J. A. S. (2019). *Modulación del crecimiento inicial y la fisiología de Rhizophora mangle L. mediante cambios en el hidroperíodo*. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1574/1/PCB_M_Tesis_2019_Julio_Salas_Rabaza.pdf
- Rani, V., Bijoy Nandan, S., & Schwing, P. T. (2021). Carbon source characterisation and historical carbon burial in three mangrove ecosystems on the South West coast of India. *Catena*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104980>
- Ravindranath, N. H., & Ostwald, M. (2008). Carbon inventory methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects. In *Advances in Global Change Research* (Vol. 29, pp. 1–304). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6547-7>
- Richards, D. R., Thompson, B. S., & Wijedasa, L. (2020). Quantifying net loss of global mangrove carbon stocks from 20 years of land cover change. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18118-z>
- Romero, D. J., Nobrega, G. N., Ferreira, T. O., & Otero, X. L. (2017). Diffuse reflectance spectroscopy (vis-nir-swir) as a promising tool for blue carbon quantification in mangrove soils: A case of study in tropical semiarid climatic conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1661–1667. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.04.0135>
- Rosa, S. G. (2014). *CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE TRES ESPECIES DE MANGLE EN UN VIVERO EN TRES CONDICIONES DE INUNDACION Y DOS CONDICIONES DE RIEGO* [Universidad Nacional Autónoma De México]. <http://132.248.9.195/ptd2014/febrero/0708372/0708372.pdf>
- Rovai, A. S., Coelho-Jr, C., de Almeida, R., Cunha-Lignon, M., Menghini, R. P., Twilley, R. R., Cintrón-Molero, G., & Schaeffer-Novelli, Y. (2021). Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 479.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118553>

- Salum, R. B., Souza-Filho, P. W. M., Simard, M., Silva, C. A., Fernandes, M. E. B., Cougo, M. F., do Nascimento, W., & Rogers, K. (2020). Improving mangrove above-ground biomass estimates using LiDAR. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236, 106585. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106585>
- Sanders, C. J., Smoak, J. M., Waters, M. N., Sanders, L. M., Brandini, N., & Patchineelam, S. R. (2012). Organic matter content and particle size modifications in mangrove sediments as responses to sea level rise. *Marine Environmental Research*, 77, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.02.004>
- Santos, D. M. C., Estrada, G. C. D., Fernandez, V., Estevam, M. R. M., De Souza, B. T., & Soares, M. L. G. (2017). First Assessment of Carbon Stock in the Belowground Biomass of Brazilian Mangroves. *ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS*, 89(3), 1579–1589. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160496>
- Santos, H. V. S., Hollanda, F. S. R., Santos, T. de O., de Andrade, K. V. S., Santana, M. B. S., Estrada, G. C. D., & Soares, M. L. G. (2017). Allometric models for estimating the aboveground biomass of the mangrove *Rhizophora mangle*. *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(1), 44–53. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592017127006501>
- Schlesinger, W. H., & Lichter, J. (2001). Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. *Nature*, 411(6836), 466–469. <https://doi.org/10.1038/35078060>
- Senger, D. F., Saavedra Hortua, D. A., Engel, S., Schnurawa, M., Moosdorf, N., & Gillis, L. G. (2021a). Impacts of wetland dieback on carbon dynamics: A comparison between intact and degraded mangroves. *Science of The Total Environment*, 753, 141817. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141817>
- Senger, D. F., Saavedra Hortua, D. A., Engel, S., Schnurawa, M., Moosdorf, N., & Gillis, L. G. (2021b). Impacts of wetland dieback on carbon dynamics: A comparison between intact and degraded mangroves. *Science of the Total Environment*, 753, 141817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141817>
- Sippo, J. Z., Lovelock, C. E., Santos, I. R., Sanders, C. J., & Maher, D. T. (2018). Mangrove mortality in a changing climate: An overview. *Estuarine, Coastal and Shelf*

- Science*, 215, 241–249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.011>
- Smith, T. J., & Whelan, K. R. T. (2006). Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 14(5), 409–419. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-6243-z>
- Soares, M. L. G., & Schaeffer-Novelli, Y. (2005). Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.05.001>
- Taillardat, P., Friess, D. A., & Lupascu, M. (2018). Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biology Letters*, 14(10). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0251>
- Tanner, M. K., Moity, N., Costa, M. T., Marin Jarrin, J. R., Aburto-Oropeza, O., & Salinas-de-León, P. (2019). Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation. *Ecological Economics*, 160(December 2018), 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.024>
- Vallejo, M. B. (2019). *El Ministerio del Ambiente presentó el Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Manglares del Ecuador Continental*. Conservación Internacional Ecuador. <https://www.conservation.org/ecuador/noticias/2020/07/08/el-ministerio-del-ambiente-presentó-el-plan-de-acción-nacional-para-la-conservación-de-los-manglares-del-ecuador-continental>
- Vera, J. D. (2020). Cuantificación del carbono almacenado en el manglar del acuerdo de uso sustentable y custodia en Puerto Libertad, provincia del Guayas, Ecuador [Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil]. In *Cuantificación del carbono almacenado en el manglar del acuerdo de uso sustentable y custodia en Puerto Libertad, provincia del Guayas, Ecuador*. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48748/1/TESIS_FINAL_JUAN_VERA.pdf
- Virgulino P.C.C., J., Carneiro, D. N., Nascimento W.R., J., Cougo, M. F., & Fernandes, M. E. B. (2020). Biomass and carbon estimation for scrub mangrove forests and

examination of their allometric associated uncertainties. *PLoS ONE*, 15(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230008>

Yepes, A., Zapata, M., Bolivar, J., Monsalve, A., Espinosa, S. M., Sierra-Correa, P. C., & Sierra, A. (2016). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the Caribbean mangroves in Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 913–926. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i2.18141>

ANEXOS

Anexo 1 Tabla de información de artículos seleccionados y usados en el análisis

Autor	Título	DOI	Año	País
(Barreto et al., 2016)	Soil organic carbon of mangrove forests (Rhizophora and Avicennia) of the Venezuelan Caribbean coast	10.1016/j.orggeochem.2016.08.002	2016	Venezuela
(Bernardino et al., 2020)	Land use impacts on benthic bioturbation potential and carbon burial in Brazilian mangrove ecosystems	10.1002/Ino.11458	2020	Brasil
(Virgulino et al., 2020)	Biomass and carbon estimation for scrub mangrove forests and examination of their allometric associated uncertainties	10.1371/journal.pone.0230008	2020	Brasil
(Costa et al., 2019)	Storage of blue carbon in isolated mangrove forests of the Galapagos' rocky coast	10.1007/s11273-019-09653-8	2019	Ecuador
(da Motta Portillo et al., 2017)	Aboveground biomass and carbon stock are related with soil humidity in a mangrove at the Piraqu-A double dagger u River, Southeastern Brazil	10.1007/s11852-016-0482-4	2017	Brasil
(DelVecchia et al., 2014)	Organic carbon inventories in natural and restored Ecuadorian mangrove forests	10.7717/peerj.388	2014	Ecuador
(Fayad et al., 2016)	Aboveground biomass mapping in French Guiana by combining remote sensing, forest inventories and environmental data	https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.015	2016	Guyana Francesa
(Ferreira et al., 2019)	Aboveground carbon stock in a restored neotropical mangrove: influence of management and brachyuran crab assemblage	10.1007/s11273-019-09654-7	2019	Brasil
(Ferreira et al., 2010)	Spatial patterns of soil attributes and components in a mangrove system in Southeast Brazil (São Paulo)	10.1007/s11368-010-0224-4	2010	Brasil
(Fuentes Delgado, 2020)	Comparison of vegetation canopy height model for estimating biomass in a mangrove forest in the Colombian Caribbean	10.25100/eg.v0i19.9471	2020	Colombia
(Hamilton et al., 2017)	The Carbon Holdings of Northern Ecuador's Mangrove Forests	10.1080/24694452.2016.1226160	2017	Ecuador
(Hatje et al., 2020)	Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves	10.1002/Ino.11607	2020	Brasil
(Kauffman, et al., 2018)	Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil	10.1098/rsbl.2018.0208	2018	Brasil

(Kauffman, et al., 2018b)	Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves	10.1002/ece3.4079	2018	Brasil
(Marchand, 2017)	Soil carbon stocks and burial rates along a mangrove forest chronosequence (French Guiana)	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.030	2017	Guyana Francesa
(Matos et al., 2020)	Carbon and nutrient accumulation in tropical mangrove creeks, Amazon region	10.1016/j.margeo.2020.106317	2020	Brasil
(Meyer et al., 2019)	Forest degradation and biomass loss along the Chocó region of Colombia	10.1186/s13021-019-0117-9	2019	Colombia
(Nóbrega et al., 2015)	Evaluation of methods for quantifying organic carbon in mangrove soils from semi-arid region	10.1007/s11368-014-1019-9	2015	Brasil
(Olagoke et al., 2016)	Extended biomass allometric equations for large mangrove trees from terrestrial LiDAR data	10.1007/s00468-015-1334-9	2016	Guyana Francesa
(Palacios, et al., 2019)	Carbon stocks in mangrove forests of the Colombian Pacific	10.1016/j.ecss.2019.106299	2019	Colombia
(Pérez et al., 2018)	Carbon accumulation and storage capacity in mangrove sediments three decades after deforestation within a eutrophic bay	10.1016/j.marpolbul.2017.11.018	2018	Brasil
(Pérez et al., 2020)	Shrimp farming influence on carbon and nutrient accumulation within Peruvian mangroves sediments	10.1016/j.ecss.2020.106879	2020	Perú
(Portela et al., 2020)	Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil	10.1007/s11273-020-09735-y	2020	Brasil
(Romero et al., 2017)	Diffuse Reflectance Spectroscopy (Vis-Nir-Swir) as a Promising Tool for Blue Carbon Quantification in Mangrove Soils: A Case of Study in Tropical Semiarid Climatic Conditions	10.2136/sssaj2017.04.0135	2017	Brasil
(Salum et al., 2020)	Improving mangrove above-ground biomass estimates using LiDAR	10.1016/j.ecss.2020.106585	2020	Brasil
(Santos et al., 2017)	First Assessment of Carbon Stock in the Belowground Biomass of Brazilian Mangroves	10.1590/0001-3765201720160496	2017	Brasil
(Senger et al., 2021)	Impacts of wetland dieback on carbon dynamics: A comparison between intact and degraded mangroves	10.1016/j.scitotenv.2020.141817	2021	Bonaire
(Santos et al., 2017b)	Allometric models for estimating the aboveground biomass of the mangrove <i>Rhizophora mangle</i>	10.1590/S1679-87592017127006501	2017	Brasil

(Yepes et al., 2016)	Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the Caribbean mangroves in Colombia	10.15517/rbt.v64i2.18141	2016	Colombia
(Perdomo et al., 2020)	Massive loss of aboveground biomass and its effect on sediment organic carbon concentration: Less mangrove, more carbon?	10.1016/j.ecss.2020.106888	2020	Colombia
(Rovai et al., 2021)	Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil	10.1016/j.foreco.2020.118553	2021	Brasil