

INVESTIGACIÓN PARA ESTIMACIÓN DE CARBONO AZUL EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR DE SÁLIMA Y BUNCHE, CANTÓN MUISNE, ESMERALDAS.



“MUJERES LIDERANDO LA PRODUCCIÓN RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS MANGLARES Y DE LA RESERVA MARINO - COSTERA GALERA SAN FRANCISCO” (ECUADOR).

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



PARTICIPANTES DEL PROYECTO

La Investigación para Estimación de Carbono Azul en los Ecosistemas de Manglar de Sálima y Bunche, Cantón Muisne, Esmeraldas es producto del trabajo conjunto de Ayuda en Acción y la Universidad del Valle de Colombia, en el marco del proyecto “Mujeres Liderando La Producción Resiliente Al Cambio Climático Y La Gestión Sostenible De Los Manglares Y De La Reserva Marino-Costera Galera San Francisco”, cofinanciado por la Generalitat Valenciana y Ayuda en Acción e implementado junto al socio local CEFODI.

AUTORES:

ENRIQUE JAVIER PEÑA SALAMANCA

Profesor – Ph.D en Ciencias del Mar.

JUAN CARLOS MEJÍA - RENTERÍA

Dr. en Ciencias del Mar.

DANIELA ENRÍQUEZ FERNÁNDEZ

Administradora Ambiental, esp. Gerencia de Proyectos.

MARTHA LUCÍA PALACIOS

Profesora – Dra. en Ciencias del Mar.

JACINTO VILELA ESTRADA

Ing. Agrónomo, esp. Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades.

COORDINACIÓN GENERAL DEL PROYECTO:

CARLOS HERNÁNDEZ LATAS

Director Nacional De Ayuda en Acción Ecuador.

EDUARDO MICHUY

Coordinador Zonal Norte De Ayuda en Acción Ecuador.

EDITOR:

ENRIQUE PEÑA SALAMANCA

Ph.D en Ciencias del Mar

CITACIÓN:

Ayuda en Acción. (2025). *Investigación de carbono azul en los ecosistemas de manglar de Sálima y Bunche, cantón Muisne, Esmeraldas*. Quito Ecuador.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



PRESENTACIÓN

Los ecosistemas costeros son fundamentales para mantener el bienestar humano y la biodiversidad global. Los manglares ofrecen numerosos beneficios que contribuyen a la capacidad humana de mitigar y adaptarse a los impactos del cambio climático. Muchos de estos servicios son fundamentales para la adaptación y la resiliencia ante el cambio climático en zonas costeras, lo que incluye la protección contra marejadas y el aumento del nivel del mar, la prevención de la erosión a lo largo de las costas, la regulación de la calidad del agua en zonas costeras, el reciclaje de nutrientes, la retención de sedimentos, la provisión de hábitat para diversas especies marinas en peligro y de importancia comercial, y la seguridad alimentaria para las comunidades costeras.

Adicionalmente, estos ecosistemas contribuyen a mitigar el cambio climático secuestrando y almacenando cantidades importantes de carbono azul, de la atmósfera y los océanos. El carbono azul es el carbono almacenado en los manglares, marismas y pastos marinos en el suelo, la biomasa viva sobre el suelo (hojas, ramas, tallos), la biomasa viva bajo tierra (raíces) y la biomasa no viva (hojarasca y madera muerta).

A diferencia de los ecosistemas terrestres, en los ecosistemas de manglar, la presencia de oxígeno es baja debido a que son áreas influenciadas por la actividad de las mareas. Según la Convención Ramsar, los manglares son importantes para hacer frente al cambio climático y lograr resultados sociales, económicos y ambientales. Esto se debe a que los manglares secuestran aproximadamente cuatro veces más carbono que los bosques terrestres. Este aspecto incrementa el valor de los manglares y otros ecosistemas costeros.

En Ecuador, el manglar se encuentra representado por el Manglar Ecuatorial (67.68 %) para la zona norte y Manglar del Jama-Zapotillo (16.65%) para la zona sur. A inicios de los años 1900 Ecuador contaba con un bosque de manglar bastante representativo. Según datos de CLIRSEN (2019) en el año 1969 se contaba con 203.695,7 ha y para el 2001 existían 154.087,31 ha. Es decir, en 30 años, aproximadamente, se perdió el 25% de cobertura de bosque de manglar en todo el Ecuador continental (CLIRSEN, 2007). Esta pérdida fue motivada principalmente, por concesiones para establecer camaroneras pues se consideraba que era su transformación lo que generaba valor productivo (Coello et al., 2008).

Ayuda en Acción con el apoyo de Generalitat Valenciana presentó el Proyecto “Mujeres liderando la producción resiliente al cambio climático y la gestión sostenible de los manglares y de la reserva marino-costera Galera San Francisco” (Ecuador). Esta Iniciativa pretende generar medidas de mitigación y resiliencia al cambio climático, y la gestión sostenible de las áreas de custodia de manglar y de reserva marino-costera, ubicados en la zona costera de la Reserva Marina Galera-San Francisco y el Refugio de vida Silvestre Muisne-Cojimíes, donde se encuentra la comunidad de Bunche y la cabecera parroquial Salima.

En este marco, El INCIMAR, mismo que pertenece a la Universidad del Valle adelantó el estudio: “Cuantificación del carbono azul almacenado en el follaje vegetal y bajo el subsuelo de las áreas de manglar en las parroquias Salima, comunidad de Bunche (parroquia San Francisco del Cabo) pertenecientes al cantón Muisne, provincia de Esmeraldas, Ecuador con el fin de plantear potenciales acciones de mitigación para la pérdida de manglar en la región. El presente informe presenta los resultados finales del estudio de investigación del carbono azul y propone recomendaciones y acciones estratégicas para la protección y restauración de los ecosistemas de carbono azul en esta zona costera del Ecuador.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1. ¿Qué es el manglar?
2. Servicios ecosistémicos que proporciona el manglar
3. ¿Qué es carbono azul?
4. Especies de manglar
5. La importancia del manglar
6. Las problemáticas del ecosistema de manglar

CAPITULO II

MÉTODOS DE MONITOREO DE CARBONO EN MANGLARES

1. Área de estudio
2. Selección de sitios para muestreo
3. Método de campo: método de campo
4. Estructura del bosque de manglar
5. Ecuaciones alométricas

RESULTADOS

1. Resultados de carbono bunched y salina
2. Tabla de datos carbono

CAPITULO IV

SENSORAMIENTO REMOTO

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



A photograph of a mangrove forest. The image shows a dense network of thick, woody roots extending from the trees down into the water. The roots are light brown and have a rough, textured appearance. The water is shallow and reflects the light, creating a shimmering effect. The background is filled with green foliage and more trees, creating a lush, natural setting. The overall scene is a detailed view of the intricate root system of mangrove trees.

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

¿QUE ES EL MANGLAR?



Imagen. 1 Manglares de Bunche Ecuador, Juan Carlos Mejía Rentería, 2024.

Los manglares son formaciones vegetales compuestas por especies arbóreas con capacidad de soportar la salinidad e inundación del agua de mar. Como ecosistema marino costero, se encuentra permanentemente influenciado por la dinámica natural de las mareas, la desembocadura de los ríos y las condiciones fisicoquímicas del agua (i.e. salinidad, temperatura, pH); así como por las presiones antrópicas directas e indirectas. considerado un ecosistema altamente adaptable (Alongi, 2002).

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE PROPORCIONA EL MANGLAR

Se reconocen ampliamente los beneficios brindados por el ecosistema de manglar a las poblaciones costeras y en la conservación de los recursos marinos. Entre ellos podemos mencionar: proveer refugio para el desarrollo de juveniles de especies marinas de importancia comercial, protección de las costas de los embates de tormentas y retención de la carga excesiva de nutrientes sobre las costas, reducción de las emisiones y captura de CO₂. (Saint-Paul y Schneider 2010; ANAM-ARAP 2013). Por estas razones es importante desarrollar iniciativas para cuantificar el carbono almacenado en estos ecosistemas tan amenazados por la remoción de su vegetación para expandir la frontera agrícola o las ciudades costeras (Palacios-Peñaranda et al., 2019, Cifuentes et ál. 2014).



Figura 1. Servicios ecosistémicos del manglar. Tomado de: Guía para la delimitación de la zona marino costera en el ecosistema de manglar por: Ecoarq Consultora.

¿QUÉ ES CARBONO AZUL?



Imagen. 2 Muestra de suelo de manglar, Salima, Ecuador 2024.

El carbono azul se almacena en ecosistemas de zonas costeras, especialmente en manglares, marismas saladas y praderas marinas. Este tipo de carbono puede quedar almacenado a corto plazo en forma de biomasa o durante milenios capturado en el subsuelo (McLeod et al. 2011).

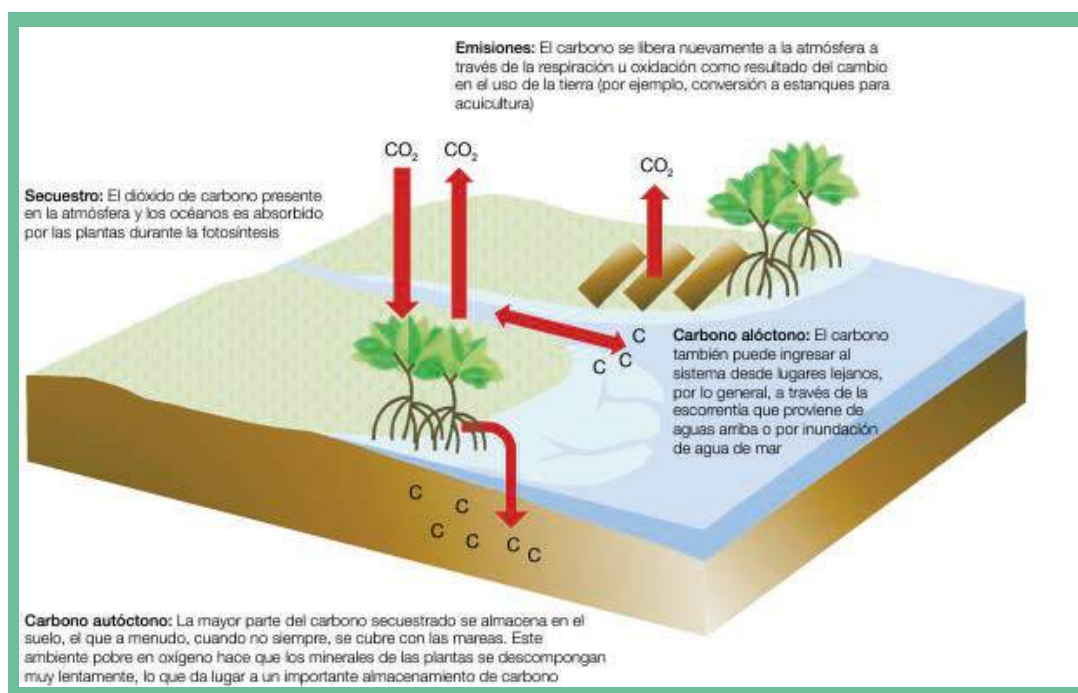


Figura 2. Mecanismos mediante los cuales el carbono se desplaza hacia humedales sometidos al flujo de mareas Tomado de: Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



ESPECIES DE MANGLE

NOMBRE COMÚN:
MANGLE ROJO

ESPECIE:
Rhizophora mangle



DESCRIPCIÓN:

Los árboles de *Rhizophora mangle* son de 4 a 10 metros de alto, su forma es de árbol o arbusto perennifolio, halófilo, en el tronco se encuentran apoyadas numerosas raíces aéreas simples o dicotómicamente ramificadas con numerosas lenticelas, la corteza es de color olivo pálido con manchas grises, sin embargo, en el interior es de color rojizo, su textura es de lisa a levemente rugosa con apariencia fibrosa. Las hojas son simples, opuestas, pecioladas, de hoja redondeada, elípticas a oblongas, estas se aglomeran en las puntas de las ramas, su color es verde oscuro en el haz y amarillentas en el envés. Las flores son pequeñas, de 2.5 cm de diámetro con cuatro sépalos lanceados, gruesos y coriáceos. La flor tiene cuatro pétalos blancos amarillentos. Tiene de dos a cuatro flores por tallo o pedúnculo. Los frutos se presentan en forma de baya de color pardo, coriácea, dura, piriforme, farinosa. El desarrollo de las semillas se lleva a cabo en el interior del fruto por “viviparidad”, los propágulos son frecuentemente curvos, de color verde a pardo en la parte inferior y presentan numerosas lenticelas y por último sus raíces son fúlcreas, ramificadas, curvas y arqueadas. Su follaje presenta una tasa de expansión foliar y caída de las hojas que alcanza su nivel máximo en verano. La planta florece durante todo el año con mayor producción entre el verano y otoño, pero depende de su localización. La polinización es anemófila se da por medio del viento y fructifica durante todo el año, con mayor abundancia entre agosto y septiembre, los frutos se dispersan por hidrocoria. (NaturalistaCO, s.f.)

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:





NOMBRE COMÚN:
MANGLE CABALLERO

ESPECIE:
Rhizophora harrisonii

DESCRIPCIÓN:

Árbol que alcanza un tamaño de hasta 20 m de alto. Tiene las hojas elípticas, de 11-15 cm de largo y 4-7 cm de ancho, el ápice agudo, la base cuneada, glabras, envés con puntos negros. La inflorescencia de 5-12 cm de largo, 3-5 veces ramificada, con numerosas flores, pedúnculo de 2-7 cm de largo, con brácteas gruesas, bífidas; pedicelos 3-11 mm de largo, flores 1 cm de largo; estambres 8; yema floral ovada o ligeramente elíptica, ápice agudo. Fruto ovado-lanceolado, 4 cm de largo y 1.5 cm de ancho, radícula 11-25 cm de largo. (NaturalistaCO, s.f.)

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



NOMBRE COMÚN:
MANGLE NEGRO

ESPECIE:
Avicennia germinans



DESCRIPCIÓN:

Árbol o arbusto que alcanza un tamaño de 3-10 m de alto. A diferencia de otras especies de mangle, esta especie posee un tipo de raíces llamadas neumatóforos que permiten a la planta respirar incluso cuando está sumergida.

Tiene hojas angostas, elíptico-oblongas, de 6,5-10 cm de largo y 1,5-3 cm de ancho, con ápice agudo (agudo-redondeado), y base cuneada. Son de color verde oscuro, aunque a menudo aparecen blanquecinas por la sal excretada durante la noche y en días nublados. Inflorescencia en forma de espiga 1 (2)-compuesta, de 9 cm de largo y 2-5 cm de ancho, flores agrupadas en los extremos, bráctea floral ovada, de 2,5-3 mm de largo, bractéolas lanceoladas, de 2,5-4 mm de largo; cáliz de 3,5-4,5 mm de largo; corola de 4,5-8 mm de largo; estambres con anteras exertas, filamentos de 2,5-4 mm de largo, todos similares y filiformes. Fruto ovado-oblicuo, apiculado, de 1,5-2 cm de largo y 1-1,5 cm de ancho, escasamente seríceo. (NaturalistaCO, s.f.)

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



Mangle botoncillo
(*Conocarpus erectus*)



CONABIO
Aldo Domínguez de la Torre

NOMBRE COMÚN:
MANGLE BOTÓN

ESPECIE:
Conocarpus erectus

DESCRIPCIÓN:

Arbusto multi-troncal de entre 1 y 4 m de altura, pero puede crecer hasta convertirse en un árbol de hasta 20 m de altura o más, con un tronco de hasta 1 m de diámetro. La corteza es gruesa y tiene amplias placas delgadas, en una escala de color de gris a castaño. Las ramas son frágiles. Las hojas son alternas, simples y oblongas, de 2 a 7 cm de longitud (raramente de 10 cm de largo) y de 1 a 3 cm de ancho, con una disminución en la punta; son de color verde oscuro y brillante en el haz, y de tono pálido, con pelos finos y sedosos por el envés; la base de cada hoja tiene dos glándulas de sal. (NaturalistaCO, s.f.)

NOMBRE COMÚN:
MANGLE BLANCO

ESPECIE:
Laguncularia racemosa

Mangle blanco
(*Laguncularia racemosa*)



CONABIO
Aldo Domínguez de la Torre

DESCRIPCIÓN:

Especie puede crecer en forma de arbusto, o de árbol con una altura de entre 12 a 18 m. Puede desarrollar tanto raíces tabulares (de apoyo) como neumatóforos dependiendo de las condiciones de su hábitat. Las hojas, amarillo verdosas y con textura coriácea, son opuestas, oblongo-elípticas, de 3-11 cm de largo por 2-6 cm de ancho; el ápice y la base son obtusos a redondeados. Pecíolos de 7-15 (-20) mm de largo con 2 glándulas basales en el envés que segregan azúcares. La inflorescencia es una espiga axilar o terminal con pequeñas flores hermafroditas de color crema a blanco. (NaturalistaCO, s.f.)

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



NOMBRE COMÚN:
MANGLE PIÑUELO

ESPECIE:
Pelliciera rhizophorae



DESCRIPCIÓN:

Árboles generalmente siempre verdes; plantas hermafroditas. Hojas alternas, simples, nervadura pinnada, nervios secundarios inconspicuos; sin estípulas. Flores solitarias, axilares (de apariencia terminal), regulares, cada una abrazada por 2 bractéolas; sépalos 5, libres, imbricados, caducos; pétalos 5, libres, imbricados; estambres 5, libres, alternos con los pétalos, adpresos en las ranuras del ovario, anteras abriéndose longitudinalmente, conectivo prolongado; ovario súpero, con 2 carpelos unidos, 2-locular, placentación axial, 1 óvulo por lóculo (uno de ellos vacío), un estilo con estigma punctiforme. Fruto seco y coriáceo, indehiscente con 1 lóculo y 1 semilla. (NaturalistaCO, s.f.)

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



LA IMPORTANCIA DEL MANGLAR

Los manglares constituyen uno de los ecosistemas más productivos y un recurso natural renovable alrededor del mundo. Ofrecen una variedad de servicios ambientales para las sociedades humanas, entre los que se destacan la captura de carbono para mitigación del cambio climático, su aporte en la producción de oxígeno, su papel como reguladores de clima y la protección de las costas contra las inundaciones, huracanes y oleajes, evitando la erosión de la línea de costa. Constituyen además un refugio para la gran mayoría de especies marinas de interés comercial que buscan el bosque de manglar por su oferta de alimento, para cumplir su ciclo reproductivo y protegerse de otros predadores. Se encuentran dentro del listado, las siguientes especies de interés económico: concha hembra (*Anadara tuberculosa*); concha macho (*Anadara similis*); cangrejo azul (*Cardisoma crassum*); guariche (*Ucides occidentalis*); jaiba (*Callinectes sapidus*; tasquero (*Geniopsis pulchra*); chato (*Gecarcinus lateralis*); churo piacuil (*Muricanthus radix*); a esto se suman la diversidad de peces como pargo de manglar; róbalo; lisa, cabrilla; bagre, canchimala; etc, diversidad de aves nativa y migratorias; en los manglares de Muisne existe martín pescador como su ave símbolo; a esto se suman los animales que bajan del bosque húmedo para alimentarse de la riqueza que existe en este ecosistema.

El refugio de Vida Silvestre Estuario de Manglares del Río Muisne; fue creado mediante Acuerdo Ministerial el 28 de marzo de 2003, Resolución N° 047 registro oficial 30 de abril de 2003, N° 72 con una superficie de 3173 hectáreas de manglar, con un rango altitudinal 0-0 msnm, con una temperatura que oscila entre 25 a 30 °C, con una humedad relativa de 86%, precipitaciones que van desde 500 – 300 mm/año. <https://www.parks-and-tribes.com/>

Es tan importante este ecosistema que se estima que en el Refugio de Vida Silvestre del Estuario Río Muisne- Cojimíes, habitan 253 especies de fauna, de las cuales 25 son mamíferos, 70 aves, 95 peces, 35 moluscos y 28 crustáceos; sin embargo, no se descarta la posibilidad de superar este número con mayor estudio en el área (Navarrete 2002).

En cuanto a flora las especies más relevante en el ecosistema manglar: mangle rojo (*Rhizophora mangle*); mangle blanco (*Laguncularia racemosa*); mangle negro (*Avicenia germinans*); mangle jeli (*Conocarpus erectus*); nato (*Mora Megistosperma*); ranconcha (*Acrostichum aureum*); orquídeas (*Durabaculum undulatum*) y bromelias (*Tillandsia dyeriana*).

► Funciones del manglar:

El ecosistema manglar tiene muchas funciones biofísicas que benefician a las comunidades locales y a la población en general y permiten el equilibrio natural. Dentro de estas funciones se señalan:

► Control de Inundaciones

Debido a las precipitaciones en el interior y la liberación moderada de la escorrentía, los manglares pueden disminuir el efecto de la crecida de los ríos previniendo inundaciones en las zonas pobladas cercanas al manglar y los campos cultivados hacia el interior.

► Estabilización de la línea costera / control de la erosión

La misma fisionomía del manglar protege a las costas reduciendo la energía de las olas y las mareas, lo cual previene procesos erosivos y simultáneamente atrapa sedimentos acarreados por olas y mareas.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



► **Retención de sedimentos/ sustancias tóxicas**

Los sedimentos suelen ser agentes altamente contaminantes de la calidad del agua; la retención de sedimentos por parte de las raíces del mangle evita un exceso de sustancias tóxicas en el agua, purificándola, dado que los manglares y los estuarios son el último lugar por el que pasan los desechos antes de llegar al mar, estos son sumamente importantes para filtrarlos desperdicios.

► **Desalinización del agua**

La retención de sal por parte de los árboles de mangle permite que el agua que ingresa hacia tierra firme se encuentra libre de partículas salinas y permita el riego y la fertilización de campos agrícolas adyacentes.

► **Retención de nutrientes/ fuente de materia orgánica**

Las hojas del mangle que caen al agua son, en pocas horas, colonizadas por hongos y bacterias que convierten compuesto de carbono en materia rica en nitrógeno.

El manglar acumula fundamentalmente nitrógeno y fósforo en el subsuelo o los almacena en la vegetación. Esta provisión de nutrientes sirve para alimentar a pequeños animales como gusanos, crustáceos y moluscos que posteriormente se convierten en alimentos para carnívoros, peces y cangrejos que a su vez alimentaran a una larga cadena trófica que culmina con el ser humano.

► **Exportación de biomasa/ producción de hojarasca**

El deterioro forestal que consiste principalmente de las hojas y ramas caídas de mangle provee de nutrientes a una variedad de poblaciones de peces y vida silvestre, gracias a la acción de corriente superficiales y esteros sus aguas ricas en nutrientes y su sustrato son trasladados hacia otros ambientes beneficiando por ejemplo a ecosistemas costeros de la producción propia del manglar.

► **Protección contra tormentas/ cortina rompevientos**

Frente a huracanes y tormentas costeras, los manglares ayudan a disipar la fuerza y disminuir el daño que estas causarían, además impiden que la brisa marina salobre alcance zonas de tierra firme.

► **Estabilización de microclimas**

La presencia de densos bosques de manglar puede estabilizar las condiciones climáticas locales, permitiendo una apropiada evaporación y la consiguiente provisión de lluvias.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



LAS PROBLEMÁTICAS DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR

Contexto global

A nivel mundial se estima una pérdida anual del 2.5% de la superficie de manglares, por lo que existe una crisis ambiental en lo que se refiere a su deterioro. Las actividades humanas constituyen la principal amenaza para los manglares. Entre las principales actividades humanas están la deforestación, la destrucción del hábitat, la contaminación, la actividad acuícola del camarón, entre otras. La falta de planificación del desarrollo urbano, industrial y turístico, así como del desarrollo agrícola, ganadero y acuícola, han desplazado y reducido extensiones considerables de manglares. Los desechos sólidos urbanos, contaminantes industriales, pesticidas y fertilizantes agrícolas, derrames de petróleo, etc., así como las modificaciones a las condiciones hidrológicas han tenido un gran impacto sobre los manglares. La sobreexplotación de algunas especies altera substancialmente la composición, estructura y función de este ecosistema.

Todo esto implica la necesidad de un replanteamiento de las políticas de desarrollo agropecuario, urbano e industrial, así como de las actividades asociadas a la acuicultura, un cambio en la cultura del uso y desuso del agua, un manejo más racional e integral de este recurso y otros recursos naturales donde se contemple como prioritario, por razones económicas y de identidad regional, la conservación de ecosistemas clave.

El contexto regional

Según datos de CLIRSEN, en el año 1969 Ecuador contaba con aproximadamente 203.695,7 ha de manglar (CLIRSEN, 1987) y para el año 2001 existían 154.087,31 ha. Es decir, en un lapso de 30 años aproximadamente se perdió el 25% de cobertura de bosque de manglar en todo el Ecuador continental. En respuesta a la pérdida y deterioro de los manglares, en el 2013 junto a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) regional Quito y las organizaciones no gubernamentales Conservación Internacional (CI) e Hivos, crearon la iniciativa abierta sobre manglares y desarrollo sostenible. Como parte de esta iniciativa se elaboró el Plan de Acción Regional para la Conservación de los Manglares en el Pacífico Sudeste (PAR-Manglares) de la CPPS, que fue adoptado por la XX Reunión de la Autoridad General del Plan de Acción en noviembre de 2015. El PAR-Manglares identifica un conjunto de actividades prioritarias de cooperación que contribuirán a la protección, recuperación y uso sostenible de este importante ecosistema costero (CPPS, 2015).

El Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Muisne, se encuentra atravesando una grave contaminación producto de la expansión de la industria del camarón en cautiverio, la tala del bosque húmedo tropical de la cuenca alta, tala del manglar, el azolvamiento de los esteros, ríos y cuerpos de aguas, en las franjas de manglar que aún quedan en pie; la contaminación de los cuerpos de aguas y suelo del manglar producto de las aguas residuales vertidas por las camaroneras, la lixiviación de productos químicos utilizados por las plantaciones de mono cultivos y la contaminación por productos de heces de la ganadería; el crecimiento poblacional y la expansión urbana, el cambio de uso de suelo agrícolas para convertirlos en piscinas camaroneras, la contaminación por vertidos líquidos y sólidos sin ningún tratamiento, los desechos sólidos que ingresan al manglar producto de las corrientes que vienen desde el mar a las riberas del manglar;

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



la sobreexplotación de los recursos como concha, cangrejo, y una pesca agresiva y sin control dentro del ecosistema y en la zona de bajura del perfil costanero, el aumento del nivel del mar que causa erosión de los manglares que están cerca al perfil costanero o salientes al mar; la pérdida de conocimiento ancestral sobre el uso y cuidado de este ecosistema, que no está siendo asimilado por las nuevas generaciones.

Contexto social:

► Organización de los actores locales

Las organizaciones han jugado y juegan un rol estratégico en el cuidado, recuperación y protección del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Muisne, desde un empoderamiento participativo, mediante un mecanismo de resistencia para la conservación del ecosistema manglar, mediante la exigibilidad del derechos a salvaguardar la vida y los recursos del manglar, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica -MAATE, entregó a las comunidades ancestrales el derechos y su aprovechamiento sustentable, mediante el mecanismo de firmas de Acuerdos de Uso y Custodia de Manglar las Asociaciones de usuarios del Manglar de Bunche, Salima, Chamanga, Bolívar, Daule, Bellavista; quienes a través de un plan de manejo generan acciones para su cuidado.

Las organizaciones locales ASOPESBUNCHE, ASOPESARISA Y ASOPESANJOCHA de Bunche, Salima y Chamanga, le ha permitido contar con el apoyo de la cooperación internacional, instituciones del estado ecuatoriano y Gobiernos Autónomos Descentralizados, hoy en día cuentan con iniciativas productivas: centros de acopio que les permite dar valor agregado a los productos del mar y del manglar y turismo comunitario sobre el manglar para conocer sus experiencias de vida dentro de estos ecosistemas.

Las familias de las comunidades ancestrales consideran que su vida depende de manera integral del recurso manglar, de allí obtienen alimentación, vestimenta, salud, vivienda, educación y los conocimientos ancestrales que han sido transmitidos de generación en generación; los pueblos son los guardianes de la memoria oral, los abuelos son los custodios de los saberes, de la identidad misma que a través de cuentos, mitos, leyendas, arrullos, décimas, van creando y generando estrategias de sensibilización para el cuidado de los ecosistemas manglar, de su área de transición, bosque alto y el océano pacífico que crea un vínculo directo e irrompible entre el manglar, el perfil costanero de la Reserva Marina Costera, el bosque húmedo tropical y la población local.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:





Capítulo II

DISEÑO DE MUESTREO PARA LA ESTIMACIÓN DE CARBONO EN MANGLARES

ÁREA DE ESTUDIO:

En Ecuador, el manglar se encuentra representado en dos ecosistemas: Manglar del Chocó Ecuatorial (67.68 %) para la zona norte y Manglar del Jama-Zapotillo (16.65%) para la zona sur. A inicios de los años 1900 Ecuador contaba con un bosque de manglar bastante representativo, según datos de CLIRSEN en el año 1969 se contaba con 203.695,7 ha y para el año 2001 existían 154.087,31 ha. Es decir, en un lapso de 30 años aproximadamente se perdió el 25% de cobertura de bosque de manglar en todo el Ecuador continental (CLIRSEN, 2007). Esta pérdida fue motivada principalmente por concesiones para establecer camaroneras (ver figura 5) pues se consideraba que era su transformación lo que generaba valor productivo (Xantillan y Rosero, 2020).

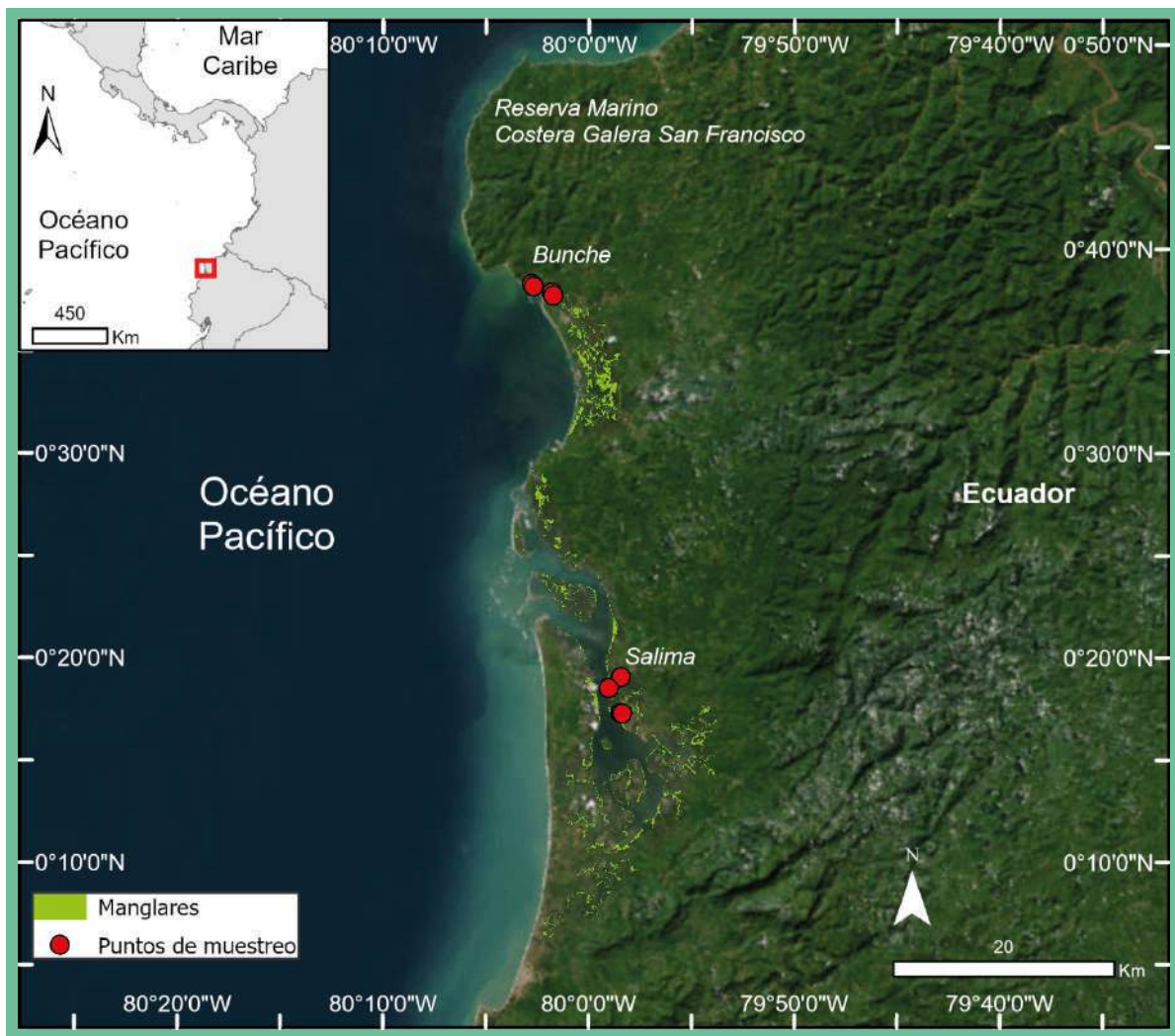


Figura 3. Camaroneras y bosques de manglar en el área de estudio, región del Pacífico de Ecuador.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



SELECCIÓN DE SITIOS PARA MUESTREO:

En el año 2022, la Fundación Ayuda en Acción participó en la convocatoria de la Generalitat Valenciana, el programa género y ambiental: Sectores CAD: Pesca, protección general medio ambiente; sectores CRS: Biodiversidad; gestión de áreas protegidas y especies; Educación /formación ambiental, investigación medioambiente; educación /empoderamiento económico de las mujeres; formación institucional de género, para la presentación del proyecto “Mujeres liderando la producción resiliente al cambio climático y la gestión sostenible de los manglares y de la reserva marino-costera Galera San Francisco” (Ecuador). Esta iniciativa pretende generar medidas de mitigación y resiliencia al cambio climático, y la conservación del ecosistema del manglar, ubicados en la zona costera de la Reserva Marina Galera-San Francisco y el Refugio de vida Silvestre Muisne-Cojimíes, donde se encuentran asentada la comunidad de Bunche y la cabecera parroquial Salima (ver figura 5). Uno de los ejes del proyecto se articula en torno a la conservación y gestión sostenible de las áreas de custodia, de manglar y de reserva marino-costera, particularmente la importancia del manglar como regulador de las reservas de carbono azul y su papel en la mitigación del cambio climático.

El área de estudio corresponde a la zona marino costera del norte de Ecuador, particularmente dos localidades, Bunche y Salima (ver figura 6).



Figura 4. Área de estudio, localidad de Bunche, en el Pacífico de Ecuador.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:





Figura 5. Área de estudio, localidad de Salima, en el Pacífico de Ecuador.

MÉTODO DE CAMPO:

En los ecosistemas de manglar se consideran como componentes importantes para las reservas y sumideros de carbono a los árboles (vivos), la madera caída, plántulas y suelo hasta 1 m de profundidad.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



MÉTODO DEL PUNTO MEDIO CENTRADO

Para tener una estimación de la estructura del bosque se realizan transeptos lineales perpendiculares a la línea de costa. En este transecto se escogen puntos de muestreo separados cada 20 m, para cada punto se usa el método del punto medio centrado (Cottam y Curtis 1956). Cada punto del transecto se considera el centro de cuatro cuadrantes, en cada cuadrante se elige como muestra el árbol más cercano al punto de referencia, se mide la distancia a cada árbol, se identifica y se toma su DAP. A partir de estos registros se determina composición de especies, la densidad de árboles (árboles ha⁻¹), el área basal (m² ha⁻¹) y el valor de importancia VI (Cintrón y Schaeffer-Novelli 1984). Además, en cada punto se obtienen los demás parámetros (muestra de sedimento, salinidad, Ph, temperatura, etc.).

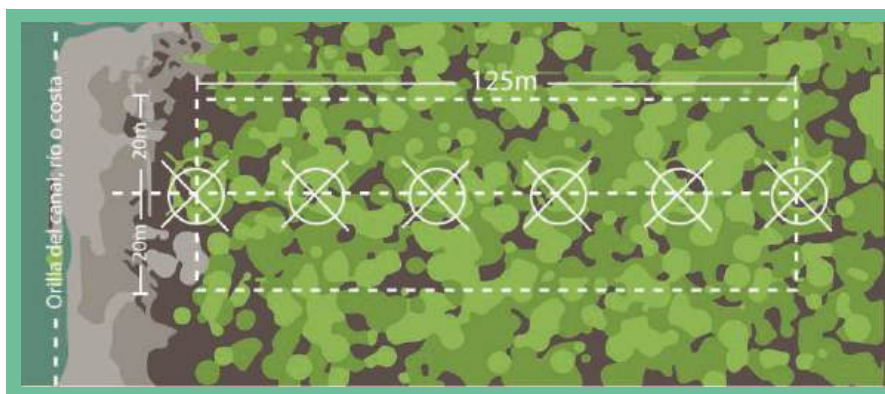


Figura 6. Establecimiento de parcelas para medición de carbono en manglares.

Fuente: MiAMBIENTE (Panamá) y PNUD (2017)

ESTRUCTURA DE BOSQUE DE MANGLAR

■ ÁRBOLES

Para tener una estimación de la estructura del bosque se realizan transeptos lineales perpendiculares a la línea de costa. En este transecto se escogen puntos de muestreo separados cada 20 m, para cada punto se usa el método del punto medio centrado (Cottam y Curtis 1956). Cada punto del transecto se considera el centro de cuatro cuadrantes, en cada cuadrante se elige como muestra el árbol más cercano al punto de referencia. Seguidamente se mide la distancia a cada árbol, se identifica y se toma su DAP. A partir de estos registros se determina la composición de especies, la densidad de árboles (árboles ha⁻¹), el área basal (m² ha⁻¹) (Cintrón y Schaeffer-Novelli 1984).

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



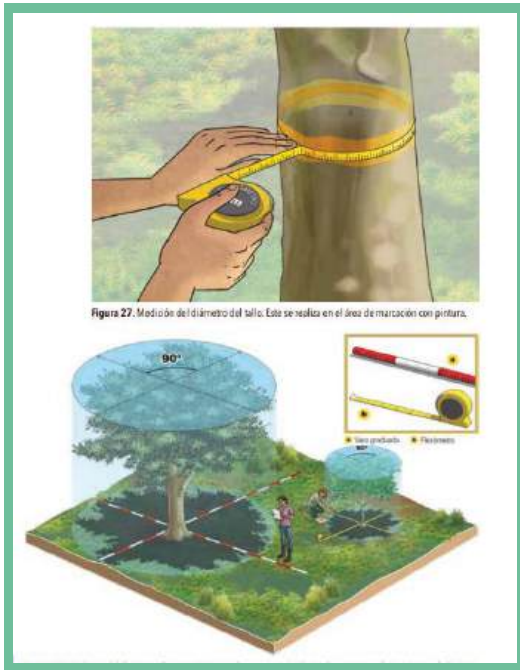


Figura 7. Medición de DAP y distancia entre árboles.
Tomado de: http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9281/monitoreo_restauracion_baja_1.pdf

Imagen. 3 Medición de estructura vegetal en Bunche, Ecuador. Tomada por Daniela Enriquez, 2024.



Además, en cada punto se obtienen los demás parámetros (muestra de sedimento, salinidad, pH, temperatura, etc.).

Los árboles se miden dentro de las parcelas, y se registra la siguiente información: estado de salud del árbol, su condición (vivos o muertos), el diámetro del tronco principal (medido a 1.30 m de altura sobre el suelo o entre 10 y 30 cm por sobre la última deformidad del fuste - (para el caso de *Rhizophora mangle*), altura total y nombre de la especie.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



■ MADERA CAÍDA:

Las mediciones de la madera muerta caída, se realizan por medio de la técnica de intersección lineal, que consiste en medir el diámetro de los fragmentos muertos de mangle (i.e. troncos sueltos y ramas caídos de árboles) en el suelo que crucen el transecto de 7 metros de diámetro de la parcela circular y que no superen los 2 m de altura desde el suelo (Kauffman et al., 2013). Los fragmentos de madera se dividen en cuatro clases de tamaño dependiendo su diámetro y su densidad, para el diámetro se utilizaron los tamaños de la (Tabla 1) (i.e. fino, pequeño, mediano y grande). Respecto a la densidad, se determina de manera cualitativa y se categoriza en tres tipos: sana, intermedia, y podrida. (Pearson, 2007).

Tabla 1. Tamaños comúnmente usados para medir la madera muerta

Descripción	Diámetro
Fino	0 - 0,6 cm
Pequeño	0,6 - 2,5 cm
Mediano	2,5 - 7,5 cm
Grande	>7,5 cm



Imagen. 4 Medición de madera Muerta en Salima, Ecuador.
Tomada por: Enrique Peña, 2024.

■ SUELOS:

Se realiza la medición de profundidad, densidad aparente y concentración de carbono orgánico para calcular las existencias de carbono en el suelo. Las muestras de suelo serán divididas en los siguientes intervalos de profundidad: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm (Kauffman, et al. 2013).

Para la recolección de las muestras de suelos, se remueve la hojarasca u otro material en la superficie, para evitar contaminación, y luego se insertan los nucleadores de forma vertical hasta que su parte superior esté a nivel del suelo. Si el nucleador no logra penetrar fácilmente, no debe forzarse porque podría dañarlo, más bien se intenta en otro lugar no

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:





Imagen. 5. Toma de muestras de carbono en Salima, Ecuador Tomado por: Daniela Enriquez, 2024

perturbado de la parcela. Una vez en el suelo, se rotan los nucleadores en dirección de las manecillas del reloj un par de veces. La rotación ayuda a cortar las raíces finas. Luego se jalan hacia arriba, mientras se giran suavemente (Kauffman, et al. 2013).

Las muestras de densidad aparente se almacenan en contenedores individuales de plástico, previamente marcados con la información del sitio y la muestra. El resto de la muestra se guarda en una bolsa de plástico tipo ziploc, para el análisis del carbono.

Las muestras en el laboratorio se secan lo más pronto posible para los análisis de carbono, a una temperatura entre 60 y 65 °C, máximo.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ÁRBOLES VIVOS

Se utilizan ecuaciones alométricas tal como se muestran en la Tabla 2. Estas ecuaciones han sido establecidas para el cálculo de la biomasa (kg) según las especies de manglar (Cifuentes et ál. 2014). En los casos donde no se disponga de ecuaciones para la especie, se utilizan ecuaciones alométricas generales para manglares (Kauffman y Donato 2012). Para obtener los datos de densidad de madera por especie requeridos por algunas ecuaciones alométricas, se debe consultar la base de datos del ICRAF1 (Ketterings et ál. 2001), la base de datos de DRYAD2 (Chave et ál. 2009, Zanne et ál. 2009)

Una vez obtenida la biomasa por individuo se procede de forma individual a multiplicar por el factor de conversión de carbono (0.4752 %C para *Rhizophora mangle* y 0.4667 %C para *Pelliciera rhizophorae*). Para especies sin un dato específico de concentración de C, se usará 0.49 (Howard et ál. 2015) ó 0.5, que es el factor recomendado por el IPCC (Penman et ál. 2003).

Tabla 2. Ecuaciones alométricas sugeridas para la estimación de la biomasa

Especies	Ecuación	Dmax (cm)	Fuente
Ecuaciones alométricas para estimación de biomasa en manglares			
Ecuación General America	$B = 0.168 \cdot p \cdot (D)^{2.471}$	42	Howard et al. (2014) en Howard et ál. (2014)
<i>Avicennia germinans</i>	$B = 0.0942 \cdot D^{2.54}$	21	Imbert & rollet (1989) en BIOMARCC - SINAG - GIZ (2012)
<i>Pelliciera rhizophorae</i>	$B = 0.0942 \cdot D^{2.54}$	-	Imbert & rollet (1989) en Cifuentes Jara et al. (2014)
<i>Rhizophorae racemosa</i>	$B = 0.0128 \cdot D^{2.6}$	-	Fromard et al. (1998) en Cifuentes Jara et al. (2014)
<i>Rhizophorae mangle</i>	$B = 0.722 \cdot D^{1.731}$	20	Smith & Whelan (2006) en Cifuentes - Jara et ál
<i>Laguncularia racemosa</i> y otras	$B = p \cdot \text{Exp}(-1.349 + 1.98 \cdot \text{Ln}(D)) + 0.207 \cdot \text{Ln}(D)^2 - 0.0281 \cdot \text{Ln}(D)^3$	-	Chave et al. (2005) en Cifuentes - Jara et ál (2014)
Raíces manglares	$B = 0.199 \cdot p \cdot 0.899D^{2.22}$	-	Komiyama et al. (2008) en Howard et ál. (2014)
Raíces otras especies	$B = p \cdot \text{Exp}(-1.085 + 0.9256 \cdot \text{Ln}(B))$	-	Cairns et al. (2008) en Howard et ál. (2014)

D: diámetro; p: gravedad específica; B: biomasa sobre el suelo

Ecuaciones alométricas para estimación de biomasa manglar chaparros

Especies	Ecuación	Dmax (cm)	Fuente
<i>Rhizophorae mangle</i>	$B = 125.9571D^{30.2} \cdot H^{0.8557}$	15.4	Citrón y Shaffer-Novelli (1984) en Kauffman et ál. (2013)
<i>Avicennia germinans</i>	$B = 200.4D^{30.2} \cdot 1$	4	Fromard et ál. (1998) en Kauffman et ál. (2013)

D: diámetro del árbol; p: gravedad específica B: Diámetro a 30 cm del suelo

++ Para ambas ecuaciones se utilizó el DAP a 1.4 (USA) y se incluyó todos los componentes sobre el suelo (hojas, ramas, tranco y raíces aéreas). El resto de las especies D representa el DAP.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA MADERA CAÍDA

Para estimar la biomasa de la madera caída es necesario calcular primero el volumen de la madera muerta caída (m^3/ha) y el promedio de su densidad – gravedad específica (g/m^3).

■ Gravedad específica de la madera

Se colectan aleatoriamente 20 piezas de madera caída para las dos clases de tamaño y las tres categorías de descomposición y que no exceda de 50 g (Tabla 3) definidas anteriormente (D: 2.5-5 cm y ≥ 5 cm). Para determinar el volumen verde (“fresco”), estas piezas se sumergen en un recipiente con agua que está colocado sobre una balanza analítica y con su marcador en cero luego de anotar su peso. Las piezas de madera deben estar completamente sumergidas y no deben tocar los bordes o el fondo del recipiente. Se anota el cambio de masa que indique la balanza, el cual equivale al volumen desplazado de la madera, ya que la gravedad específica del agua es $1 g/cm^3$. Se obtiene la gravedad específica dividiendo la masa cada pieza entre el volumen. Luego se coloca cada pieza en el horno a $105^\circ C$, hasta obtener peso constante, y se registra el dato como la masa seca de la pieza de madera. Luego, divide la masa seca de cada pieza entre el volumen fresco de la madera y calcule el promedio por cada categoría de tamaño y grado de descomposición de la madera, con esto se obtiene la densidad de madera promedio (g/m^3).

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



A photograph of a mangrove forest. The scene is dominated by a large, dark tree trunk in the foreground, which is reflected in the calm water below. The background is filled with a dense network of thin, vertical tree trunks and a complex web of roots, creating a textured and layered appearance. The lighting is bright, suggesting a sunny day, with green foliage visible through the canopy. A semi-transparent green rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing the word 'Resultados' in white text.

Resultados

EL CARBONO

ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA CARBONO EN EL SUELO

■ Densidad Aparente

Se necesita del cálculo del volumen del barreno abierto (semicilíndrico). Para el mismo se requiere de la longitud de los niveles del suelo (15, 20 y 50 cm) y el r o D del barreno. Debido a que el instrumento (barreno para suelos pantanosos) no presenta la forma de un círculo perfecto, sino, de una forma cilíndrica elíptica. Se utiliza la fórmula de una semi elipse para calcular el área y luego el volumen del barreno. Con ello se podrá calcular el volumen de la muestra.

$$\text{Volumen de un semi elipse (cm}^3\text{)} = (D1 \times D2 \times \pi /4) \times h$$

Las muestras recolectadas para el análisis de densidad aparente (Dap) se secan a 105 °C, hasta que tengan un peso constante. Se recomienda romper cuidadosamente la muestra en pequeños pedazos para asegurar su secado. Estas muestras no podrán ser utilizadas para el análisis de carbono. Cuando la cantidad de muestra sea limitada, las muestras de densidad aparente se pueden secar a no más de 65 °C. La diferencia es de aproximadamente 1% de la calculada a 105°C (Kauffman et ál. 2012). La densidad se calcula con la siguiente formula.

$$Dap \text{ (gcm}^3\text{)} = \text{masa de muestra seca (g)} / \text{volumen de la muestra (m}^3\text{)}$$

■ Contenido de carbono del suelo

Se secan las muestras de suelo a no más de 65°C, para evitar la volatilización de los componentes nitrogenados del suelo, hasta obtener peso constante. Se pesan alrededor de 100 g de cada muestra, para ser empacada y rotulada para envío al laboratorio de análisis. El resto de la muestra debe guardarse en bolsas selladas y bien rotuladas, en un ambiente seco y fresco. El cálculo del carbono en suelo se hace mediante la siguiente fórmula:

$$C_{\text{suelo}} = (\%CO/100) * DA * P$$

CO= carbono orgánico o total, según corresponda a partir del análisis realizado (%)

DA= densidad aparente de carbono en suelo (g·cm³)

P= profundidad de la muestra (cm)

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



■ Biomasa subterránea

La biomasa subterránea no se mide directamente en campo; se estima con ecuaciones alométricas que usan el diámetro de árboles registrado en cada una de las parcelas de muestreo (Tabla 4). Una ecuación útil es la citada por Komiyama et ál. (2008):

$$B_{sub} = 0.199 * (\rho) 0.899 * (DAP)^{2.22}$$

B_{sub} = Biomasa subterránea de árboles (kg)

DAP = diámetro del árbol (cm)

El resto del cálculo del carbono sigue la misma lógica de cálculo descrita para la biomasa aérea y de los demás componentes.

ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA CALCULAR EL CARBONO AÉREO EN BOSQUES DE MANGLAR

Para calcular el carbono aéreo en las parcelas del estudio se llevan a cabo las siguientes mediciones sobre el terreno: (1) identificación de las especies arbóreas, (2) el diámetro a la altura del pecho (DAP), y (3) la altura de la copa de los árboles. Para medir el DAP, se enrolla una cinta métrica alrededor de la circunferencia de cada árbol y se hace una lectura del diámetro. Las alturas de los árboles de cada parcela se adquirirán mediante un hipsómetro.

Para cada una de las parcelas estudiadas, se usa el modelo alométrico pantropical para árboles (Chave et al. (2014) para estimar la biomasa aérea. Este modelo tiene en cuenta la altura del árbol, el DAP y la densidad específica de la madera para determinar la biomasa arbórea por hectárea:

$$AGB = 0,0673 * (\rho D^2 H)^{0,976}$$

Donde :

D es el DAP en cm, H es la altura del árbol en m, y ρ es el peso específico de la madera en $g\ cm^{-3}$. P .

para P se usará la base de datos Global wood density (Chave et al. 2009; Zanne et al. 2009).

RESULTADOS DE CARBONO BUNCHE Y SALIMA

En el marco del convenio entre la Fundación Ayuda en Acción Ecuador y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Incimar, se cuantificaron las reservas de carbono en las áreas de custodia de manglar en Bunche y Sálima, pertenecientes al cantón Muisne, en la costa pacífica de la provincia de Esmeraldas. Se registraron por primera vez valores de carbono azul acumulado en sedimentos y en la estructura arbórea de los bosques de Bunche y Salima (Figura 8).

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



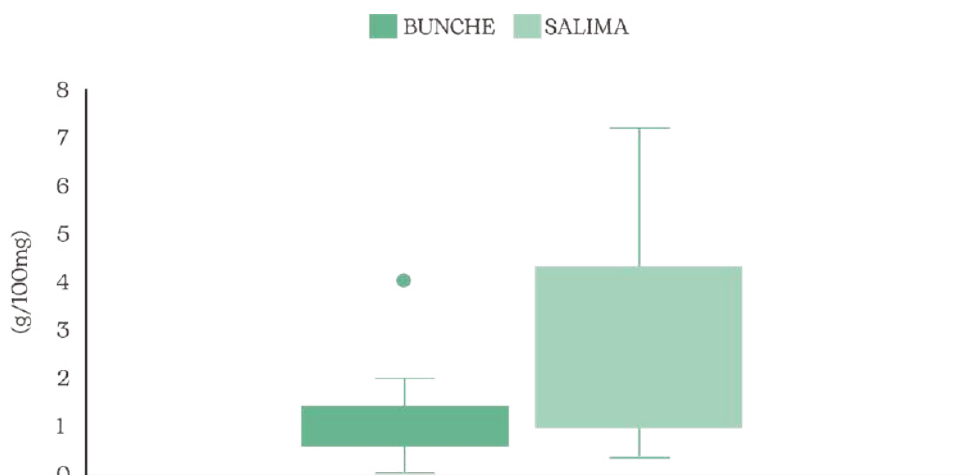


Figura 8. Resultados de Carbono Total en Bunche y Salima, Ecuador

Los resultados de las reservas de carbono azul mostraron diferencias significativas entre los dos bosques de estudio. El manglar de Bunche registró valores en promedio más bajos (1,1435 g/100g) que las áreas de manglar en Salima, con promedios de 2,7225 g/100g. Estos resultados están asociados con la influencia de actividades de intervención evidenciadas en ambas estaciones de muestreo sobre la estructura arbórea del bosque. En ambas estaciones se registraron grandes extensiones de estanques camaroneros y especialmente en las parcelas de Bunche, se identificaron arboles de manglar con valores más bajos de altura basal y DAP, comparados con individuos arbóreos en las parcelas de Salima. Se compararon estos valores en Salima y Bunche con reservas de carbono en otras áreas de manglar sobre la costa pacífica americana (Tabla 3). La comparación de estos resultados indica que los valores de carbono azul en los manglares de Bunche y Salima son significativamente más bajos que en otros bosques de manglar en el pacífico americano tropical. Estos registros sugieren que la actividad acuícola del cultivo de camarón en el área de Bunche y Salima está afectando las reservas de carbono azul en el ecosistema y a su vez, la estructura de los bosques de manglar.

Tabla 3. Valores de carbono azul en varios bosques de manglar sobre la costa pacífica americana.

Lugar	Valor	Autores
Quebrada Valencia (Colombia)	130,3 Mg C/ha Bajo	Martha L. Palacios Peñaranda ¹ , Jaime R Cantera Kintz. ² , Enrique J. Peña Salamanca
Pianquita (Colombia)	180,8 Mg C/ha Alto	Martha L. Palacios Peñaranda ¹ , Jaime R Cantera Kintz. ² , Enrique J. Peña Salamanca
La Paz, México	175 Mg C/ha - 1	E. Lluch-Cotaa, Victor H. Rivera-Monroyb, Daniel B. Lluch-Cotaa, Enriquez Trejo-Diequeza, Walter Oechelec.d, Elisa Serviere-Zaragozaa
República de Panamá	1 ha con una incertidumbre promedio estimada a nivel de píxeles de 20.5 Mg C ha ⁻¹ . Superficial	Gregory P Asner, Joseph Mascar, Christopher Anderson, David E Knapp, Roberta E Martin, Ty Kennedy - Bowdoin, Michiel van Breugel, Stuart Davies, Jefferson S Hall, Helen C Müller-Landau, Catherine Potvin, Wayne Sousa, Joseph Wright and Edrida e Bergminham

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:





Capítulo IV

USO DE SENSORAMIENTO REMOTO COMO HERRAMIENTA PARA AYUDAR A CALCULAR CARBONO AZUL EN MANGLARES

La información satelital ha demostrado ser útil para la gestión y conservación de los manglares. Sin embargo, su resolución espacial y temporal tiene limitaciones, especialmente en lugares nublados como la zona ecuatorial y en pequeños parches de manglar (Mejía-Rentería et al., 2018; Friess, 2023). Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) pueden cartografiar diferentes atributos de los manglares a escala centimétrica, revolucionando nuestro conocimiento científico de los bosques de manglar al proporcionar una mejor comprensión de la dinámica espaciotemporal de estos ecosistemas.

Mediante técnicas de fotogrametría se han logrado describir los manglares. Se han usado imágenes aéreas de VANTs para construir ortofotomosaicos y modelos digitales de elevación a $< 20\text{cm/px}$. Este método ha implicado la captura de fotografías cenitales aéreas de los manglares utilizando VANTs, además de la toma de puntos de control en el terreno (GCPs), seguida de un proceso de fotogrametría y SIG. Las fotografías adquiridas se han analizado y procesado utilizando el software Agisoft Metashape (Agisoft Metashape, 2018). Metashape se basa en el Método de Estructura a partir del Movimiento (Structure from Motion, SfM) (Ullman, 1979), y en métodos de reconstrucción estereoscópica (Scharstein & Szeliski, 2002; Seitz et al., 2006).

Los resultados de la fotogrametría son ortofotomosaicos y modelos digitales de Elevación (MDE). Estos datos, junto con imágenes de satélite (Landsat y Sentinel), y SIG han permitido crear un flujo de trabajo para describir los manglares. Este proceso ha permitido (1) diferenciar entre distintos tipos de vegetación, marismas y agua, (2) generar modelos digitales del terreno y de la altura del dosel, e (3) identificar y calcular el área de ocupación del bosque de manglar. La altura de los árboles y el carbono aéreo se han ajustado y validado con los inventarios forestales.

Además, la altura del bosque calculada con los métodos a partir de dron ha dado como resultado alturas de árboles similares a las medidas hechas en campo y a la comprobación visual, lo que ha ayudado a la verificación de las mediciones y al posterior cálculo de la biomasa aérea (AGB). Esto demuestra la precisión y fiabilidad de los métodos de sensoramiento remoto, facilitando un mejor entendimiento y gestión del carbono azul en los manglares.

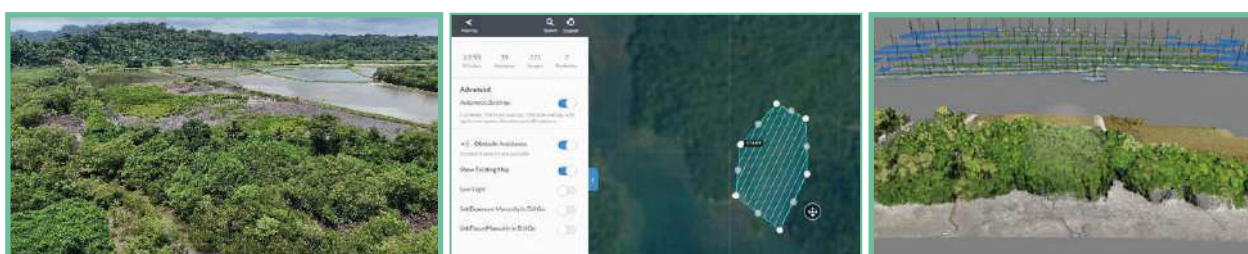


Figura 14. Sensoramiento Remoto usando Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT).

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



Para aquellos interesados en explorar y utilizar datos de sensoramiento remoto para el estudio del carbono en manglares, existen herramientas como Mangrove Science. Esta plataforma permite obtener información sobre la altura de los árboles y la biomasa aérea (AGB) utilizando bases de datos accesibles. De esta manera, se presenta otra manera eficaz de utilizar el sensoramiento remoto para la conservación y estudio de estos ecosistemas cruciales.

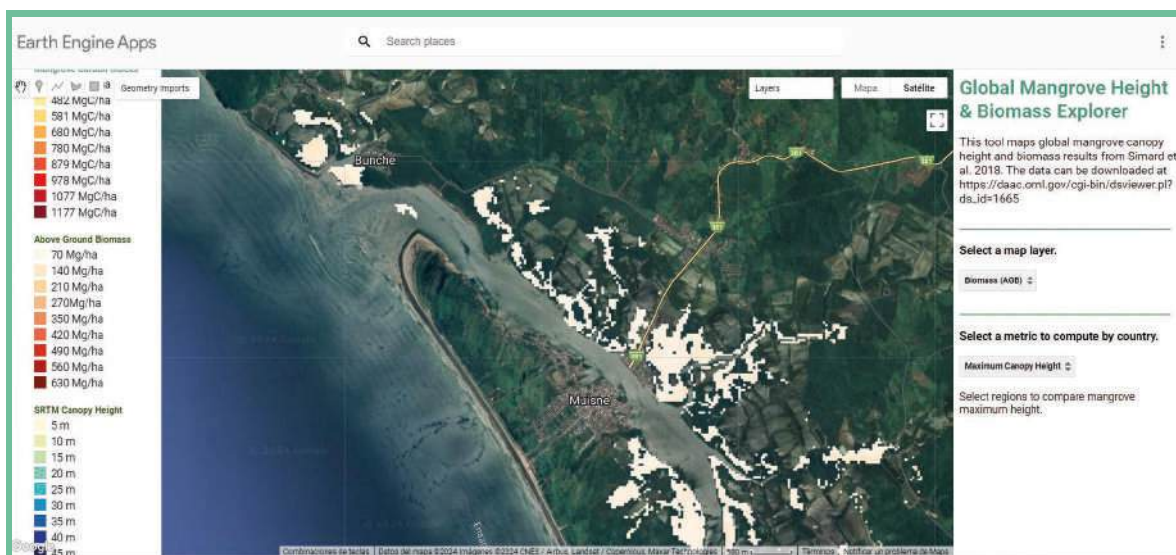


Figura 15. Sensoramiento Remoto para el cálculo de Biomasa Aérea en Manglares.
Fuente: NASA Global Mangrove Height & Biomass Explorer.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



Conclusiones

- La investigación recalca y destaca la importancia de los manglares en la mitigación del cambio climático y la necesidad de implementar medidas de conservación efectivas.
- Los manglares son ecosistemas costeros vitales que no solo proporcionan refugio y hábitat para diversas especies marinas, sino que también desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático. Su capacidad para secuestrar carbono azul, almacenando grandes cantidades de carbono en su biomasa y suelos, los convierte en aliados esenciales en la lucha contra el calentamiento global.
- Se considera obligatoria la colaboración entre comunidades, organizaciones y gobierno para asegurar la sostenibilidad de estos ecosistemas.
- Amenazas a los Manglares: A nivel global, los manglares enfrentan una pérdida significativa de superficie, estimada en un 2.5% anual, debido principalmente a actividades humanas como la deforestación, la acuicultura y la contaminación. Estas amenazas no solo afectan la biodiversidad, sino que también reducen la capacidad de los manglares para actuar como sumideros de carbono, lo que resalta la necesidad urgente de implementar políticas de conservación y manejo sostenible.
- Métodos de Monitoreo y Tecnología: La utilización de tecnologías de sensoramiento remoto, como los vehículos aéreos no tripulados (VANT), ha demostrado ser efectiva para la cartografía y el análisis de los manglares. Estas herramientas permiten obtener datos precisos sobre la altura de los árboles y la biomasa aérea, facilitando una mejor comprensión de la dinámica de los ecosistemas de manglar y su capacidad de almacenamiento de carbono.
- Rol de las Comunidades Locales: Las comunidades ancestrales que dependen de los manglares para su sustento juegan un papel vital en la conservación de estos ecosistemas. La integración de sus conocimientos y prácticas en los planes de manejo puede contribuir significativamente a la protección y restauración de los manglares, asegurando que se mantengan como recursos sostenibles para las futuras generaciones.
- El estudio realizado en las localidades de Bunche y Salima, en el cantón Muisne, ha revelado diferencias significativas en las reservas de carbono azul entre ambos sitios. Los manglares de Salima mostraron valores de carbono más altos en comparación con los de Bunche, lo que sugiere que las actividades de intervención, como la acuicultura, están impactando negativamente la estructura y función de estos ecosistemas. Estos hallazgos subrayan la importancia de monitorear y gestionar adecuadamente las actividades humanas en áreas cercanas a los manglares.
- La gestión sostenible del manglar que contribuyen a la mitigación del cambio climático, entre los cuales se destacan:
- **Secuestro de Carbono:** Los manglares son capaces de almacenar grandes cantidades de carbono azul, que es el carbono almacenado en sus suelos, biomasa viva y muerta. Se estima que los manglares pueden secuestrar aproximadamente cuatro veces más carbono que los bosques terrestres.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



- **Protección Costera:** Actúan como barreras naturales que protegen las costas de marejadas, huracanes y oleajes, lo que ayuda a prevenir la erosión costera y la pérdida de hábitats.
- **Regulación del Clima Local:** La presencia de densos bosques de manglar puede estabilizar las condiciones climáticas locales, favoreciendo la evaporación adecuada y la provisión de lluvias.
- **Filtración de Contaminantes:** Los manglares ayudan a purificar el agua al retener sedimentos y sustancias tóxicas, lo que mejora la calidad del agua en los ecosistemas costeros.
- **Hábitat para Especies:** Proporcionan refugio y hábitat para diversas especies marinas, muchas de las cuales son de importancia comercial, contribuyendo así a la seguridad alimentaria de las comunidades costeras.
- **Retención de Nutrientes:** Los manglares retienen nutrientes en el suelo, lo que beneficia a la biodiversidad y a la cadena trófica local, desde pequeños organismos hasta especies más grandes, incluyendo a los humanos.
- **Urgencia de Políticas de Desarrollo Sostenible:** La crisis ambiental que enfrentan los manglares exige un replanteamiento de las políticas de desarrollo urbano, agrícola e industrial. Es imperativo que estas políticas prioricen la conservación de los ecosistemas de manglar, reconociendo su valor no solo ecológico, sino también económico y cultural para las comunidades costeras.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



GLOSARIO

Bosque de manglar: Bosques costeros que se encuentran en estuarios protegidos y a lo largo de riberas de ríos y lagunas en los trópicos y subtrópicos.

Carbono azul: Carbono almacenado en manglares, marismas de marea y pastos marinos, en conjunto con sus suelos, biomasa sobre el suelo (hojas, ramas y tallos), biomasa viva bajo el suelo (raíces) y la biomasa no viva (hojarasca y madera muerta caída).

Ecuaciones alométricas: Las ecuaciones alométricas establecen relaciones cuantitativas entre características clave fáciles de medir (por ejemplo, altura y diámetro del tallo) y otras propiedades que a menudo son más difíciles de evaluar (por ejemplo, biomasa).

Mangle: Especie de árboles que han desarrollado adaptaciones especiales para vivir sobre el nivel medio del mar en la zona intermareal de los ambientes marinos y márgenes estuarinos en este entorno de mareas.

Reserva de Carbono: Cantidad total de carbono en un depósito o en una reserva o sistema capaz de almacenar o liberar carbono.

Unidad de muestreo: Consiste de transectos que se extienden desde el borde de un cuerpo de agua a tierra firme o interior del manglar donde se colocan subparcelas de forma anidada y planos de intersección.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



BIBLIOGRAFÍA

- Alongi, D. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*. 29 (3): 331-349.
- Autoridad Nacional del Ambiente y Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. 2013. Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes. Panamá: Editora Novo Art, S. A. 72 pp
- Cifuentes-Jara, M.; Brenes C.; Manrow, M.; Torres, D. 2014. Dinámica de uso de la tierra y potencial de mitigación de los manglares del Golfo de Nicoya. Serie Técnica. Conservación Internacional. San José, Costa Rica. 40 pag.
- Clark, D.B.; Clark, D.A.; Brown, S.; Oberbauer, S.F.; Veldkamp, E. 2002. Stocks and flows of coarse woody debris across a tropical rain forest nutrient and topography gradient. *Forest Ecology and Management* 164: 237-248.
- Chave J., Coomes D.A., Jansen S., Lewis S.L., Swenson N.G., Zanne A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12(4): 351-366. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M. et al. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 552-560.
- Kauffman J. B., Donato D. C. y Adame M. F. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Kauffman J. B.; Donato D. C. 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Working Paper 86. CIFOR. Bogor, Indonesia.
- Mejía-Rentería et al., 2018; Friess, 2023
- NaturalistaCO. (s.f.). Obtenido de <https://colombia.inaturalist.org/taxa/60335-Rhizophora-mangle>
- Saint-Paul, U., & Schneider, H. (Eds.). 2010. Mangrove dynamics and management in North Brazil (Vol. 211). Springer Science & Business Media.
- Spaulding, M., Kainuma, M. & Collins, L. (2010). World Atlas of Mangroves. A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH and TNC. En: London. 319 p.
- Pearson, T. S. Walker, S. Brown, 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Report from BioCF and Winrock International., available at: <http://www.winrock.org/ecosystems/tools.asp?BU=9086>.

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



- Pearson, T.R.H., S.L. Brown, R.A. Birdsey, 2007. Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon. General Technical Report-NRS-18, USDA Forest Service, Northern Research Station
- Zanne et al., 2009, Chave et al., 2014.
- Palacios-Peñaranda, M. L., J. R. Cantera Kintz, and E. J. Peña-Salamanca. 2019. Carbon stocks in mangrove forests of the Colombian Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 227: 106-113
- Zanne A.E., Lopez-Gonzalez G., Coomes D.A., Ilic J., Jansen S., Lewis S.L., Miller R.B., Swenson N.G., Wiemann M.C., Chave J. 2009. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. <http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234>

Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:





Financiado por:



Implementado por:



Con el apoyo de:



ISBN: 978-9942-48-887-9



9789942488879