



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

Análisis de carbono azul

contenido en el componente arbóreo de proyectos en los programas de incentivos forestales bajo la modalidad de protección, dentro del ecosistema manglar de Guatemala (1998-2021)



Elaborado por:

Bernardo Antonio Gordillo Maldonado^{1*},
Cesar Joaquín Zacarías Coxic^{2**},
Mario Rafael Rodríguez Palma^{3***}

¹EPS; Ingeniería en Gestión Ambiental Local; Centro Universitario del Sur Occidente;
Universidad de San Carlos de Guatemala,

²Departamento de Ecosistemas Forestales Estratégicos; Dirección de Manejo
y Restauración de Bosques; Instituto Nacional de Bosques y

³Asesor senior LandScale; Rainforest Alliance.

*bernardogordillo@outlook.com, **czacarias@inab.gob.gt y ***mrodriguez@ra.org

Revisado por:

Kharla Leticia Vides Rodas¹,
José Luis Morán Torres²,
María Floridalma Miguel Ros³
Isi Liliana Guerra Hernández⁴

¹Asesoría EPS; Ingeniería en Gestión Ambiental Local; Centro Universitario del Sur Occidente;
Universidad de San Carlos de Guatemala,

^{2 y 3}Departamento de Investigación Forestal; Dirección de Desarrollo Forestal;
Instituto Nacional de Bosques y

⁴Departamento de Cambio Climático; Dirección de Coordinación
y Cooperación Sectorial; Instituto Nacional de Bosques.

Índice

I. Introducción	8
II. Objetivos	9
2.1. General	9
2.2. Específicos	9
III. Marco referencial	10
3.1. Ecosistema manglar	10
3.2. Especies de mangle y su distribución	12
3.3. Servicios ecosistémicos que brindan los manglares	15
3.3.1. Soporte	15
3.3.2. Provisión	15
3.3.3. Cultural	16
3.3.4. Regulación	16
3.4. Cambio climático	17
3.4.1. Calentamiento global	18
3.4.2. Gases de efecto invernadero	18
3.5. Carbono azul en el ecosistema manglar de países vecinos	25
3.5.1. México	25
3.5.2. El Salvador	25
3.5.3. Honduras	25
3.6. Instrumentos económicos para la protección del ecosistema manglar en Guatemala	26
3.6.1. Incentivo forestal	26

IV. Metodología y resultados	27
4.1. Metodología	27
4.1.1. Revisión de la topología (1998-2021) de proyectos de incentivos forestales	27
4.1.2. Recopilación de información	28
4.1.3. Sistematización y análisis de datos	29
4.2. Resultados	31
V. Conclusiones	37
VI. Referencias	38
VII. Anexos	42

Índice de figuras

Figura 1. Ecosistema manglar en el área Manchón Guamuchal, Retalhuleu, Retalhuleu	10
Figura 2. Aves captadas en el bosque manglar de la playa Tilapa, San Marcos	11
Figura 3. Degradación del ecosistema manglar en el municipio de Iztapa, Escuintla	12
Figura 4. Distribución del ecosistema manglar a nivel mundial	13
Figura 5. Distribución del ecosistema manglar en Guatemala	14
Figura 6. Servicios ecosistémicos de los manglares y las amenazas que enfrentan	17
Figura 7. Gases de efecto invernadero	19
Figura 8. Aguas residuales y vertederos, fuentes de metano y óxido nitroso	20
Figura 9. Formación del ozono	21
Figura 10. Ciclo del dióxido de carbono	23
Figura 11. Ciclo de Calvin	24

Figura 12. Mapa de los proyectos bajo incentivos forestales dentro del ecosistema manglar del país	27
Figura 13. Oficinas regionales del Instituto Nacional de Bosques	28
Figura 14. Superficie acumulada por proyectos bajo incentivos forestales en el ecosistema manglar desde el año 2006 al 2020	31
Figura 15. Superficie ocupada por cada proyecto bajo incentivos forestales dentro del ecosistema manglar del país	32
Figura 16. Carbono azul contenido en el componente arbóreo de cada proyecto ..	33
Figura 17. Acumulado de toneladas de carbono azul contenido en el ecosistema manglar bajo incentivos forestales (2006-2020)	34
Figura 18. Monto desembolsado por el Estado en incentivos forestales con fines de protección para proyectos que se encuentran dentro del ecosistema manglar (2006-2021)	35

Índice de tablas

Tabla 1. Clases diamétricas utilizadas por el INAB para la clasificación de los árboles de mangle según su diámetro	30
Tabla 2. Ecuaciones para el cálculo de biomasa aérea y subterránea	30
Tabla 3. Resumen de la cuantificación de carbono contenido en el componente arbóreo de cada proyecto	42

I. Introducción

Dentro de los ecosistemas más importantes en el país, se encuentran los ecosistemas costeros, que son fundamentales para mantener el bienestar humano y la biodiversidad global. Especialmente, los manglares, las marismas y los pastos marinos, ya que ofrecen numerosos beneficios y servicios que contribuyen a la capacidad humana de mitigar y adaptarse a los impactos del cambio climático. (Fourqurean, y otros, 2010)

El cambio climático es originado por el calentamiento global, el cual es provocado por el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, esto incide sobre los patrones de temperatura y precipitación del planeta, así como en la frecuencia y severidad de eventos extremos como huracanes y sequías. (González et al., 2003)

Según el Centro de Investigación y Estudios Avanzados -CINVESTAV- (2019), el dióxido de carbono (CO_2) es uno de los gases de efecto invernadero que más ha impactado negativamente en los ecosistemas, sin embargo, este gas puede ser capturado naturalmente por las plantas mediante el proceso de fotosíntesis, convirtiendo el carbono en carbohidratos y almacenándolo en forma de biomasa.

El CO_2 que es capturado y almacenado en ecosistemas marino-costeros es llamado carbono azul. En el caso de los manglares, almacenan hasta un 90% del CO_2 que captan, en el sedimento alrededor de sus raíces, donde puede permanecer durante siglos si no sufre ninguna alteración. (Flores, 2022)

Derivado de esta importancia, el Estado de Guatemala proporciona, a través del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, incentivos forestales, una bonificación económica por actividades que garantizan la permanencia y equilibrio de las funciones de un ecosistema forestal, en este caso, el ecosistema manglar, el cual es fundamental para la captura y almacenamiento de carbono.

La protección, conservación y restauración del ecosistema manglar es de suma importancia para mitigar el cambio climático, ya que mientras mayor es la superficie de estos ecosistemas, mayor será el almacenamiento y captura de carbono en forma biomasa en la estructura de los árboles. (Cinvestav, 2019)

Bajo esa premisa, este informe presenta el trabajo realizado para analizar y cuantificar el carbono azul contenido en el componente arbóreo del ecosistema manglar del país, específicamente en los proyectos que forman parte de los programas de incentivos forestales (1998-2021), ingresados bajo la modalidad de protección, mostrando de esta forma, los resultados de la inversión realizada por el Estado, desde el primer proyecto aprobado en 2006 al 2021, mediante el otorgamiento de dicho beneficio económico y la importancia de la protección de estos ecosistemas como contribución a la mitigación del cambio climático.

II. Objetivos

2.1 General

- Cuantificar el carbono azul contenido en el componente arbóreo de proyectos con incentivos forestales con fines de protección, dentro del ecosistema manglar de Guatemala.

2.2 Específicos

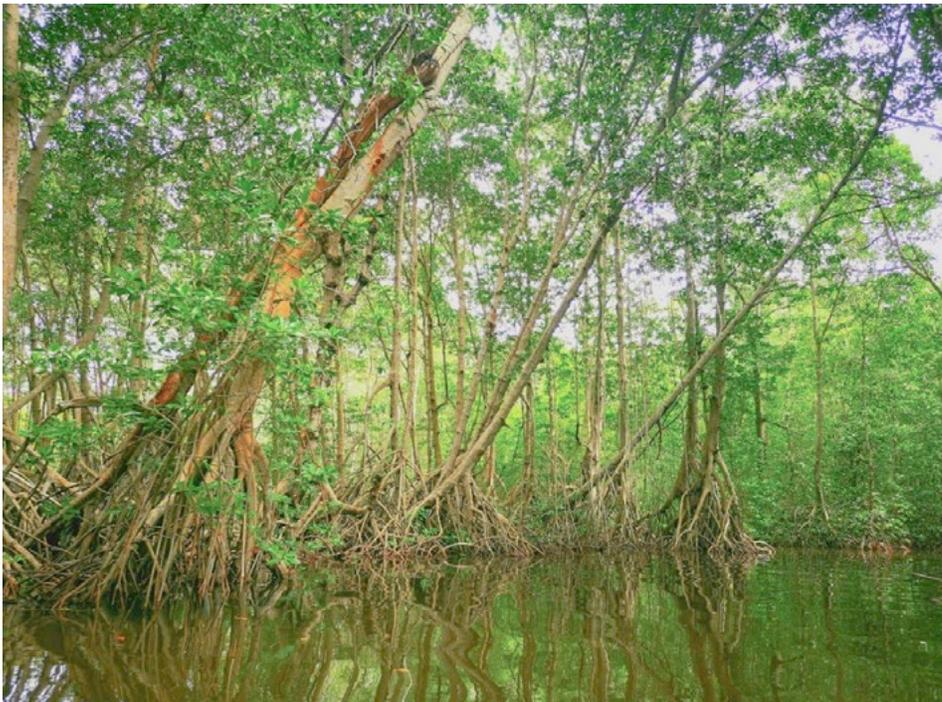
- Identificar los proyectos con incentivos forestales bajo la modalidad de protección, que se ubican dentro del ecosistema manglar del país (1998-2021).
- Estimar la cantidad de carbono contenida en el componente arbóreo de cada proyecto bajo incentivos forestales dentro del ecosistema manglar.

III. Marco referencial

3.1 Ecosistema manglar

Es el ecosistema tropical y subtropical de la zona intermareal, que relaciona las especies de árboles de diferentes familias, denominadas mangles, con otras plantas, con animales que allí habitan permanentemente o durante algunas fases de su vida y con las aguas, los suelos y otros componentes del ambiente. (Organismo Ejecutivo de Guatemala, 2019)

Figura 1. *Ecosistema manglar en el área Manchón Guamuchal, Retalhuleu, Retalhuleu.*



Nota: Zacarías-Coxic, 2022.

Estos ecosistemas tienen en su hábitat un gran número de especies de fauna, donde su biodiversidad adquiere un grado significativo caracterizándolo como un bosque protector. Según Sánchez (1992), la importancia de los manglares radica en tres aspectos, el primero es actuar como filtro de las escorrentías que llegan al mar, segundo, subsidian los ecosistemas litorales exportando materia orgánica y tercero, constituyen el hábitat de muchas especies animales.

Figura 2. *Aves captadas en el bosque manglar de la playa Tilapa, San Marcos.*



Nota: Zacarías-Coxic, 2022.

Muchos manglares se desarrollan alrededor de las lagunas costeras, esteros y desembocadura de ríos y arroyos. En estas áreas, a nivel mundial, se llevan a cabo importantes actividades pesqueras artesanales que aportan alimento y desarrollo económico a comunidades asentadas en la costa. Asimismo, parte de la actividad pesquera de las zonas costeras existe en virtud de que distintas especies que se aprovechan comercialmente tuvieron al manglar como zona de crianza y crecimiento desde las primeras fases de su ciclo de vida. (Díaz J. , 2011)

Los manglares son lugares con características de adaptación muy difíciles para el hombre, a pesar de ello allí se han asentado comunidades que se proveen de dicho ecosistema para su sustento, en muchos casos de una manera tradicional y sostenida, hasta el punto en que el uso se hace comercial o cuando las comunidades crecen en población, así las existencias no son suficientes, consumen los recursos y terminan modificando el medio. (Villalba, 2006).

Figura 3. Degradación del ecosistema manglar en el municipio de Iztapa, Escuintla.



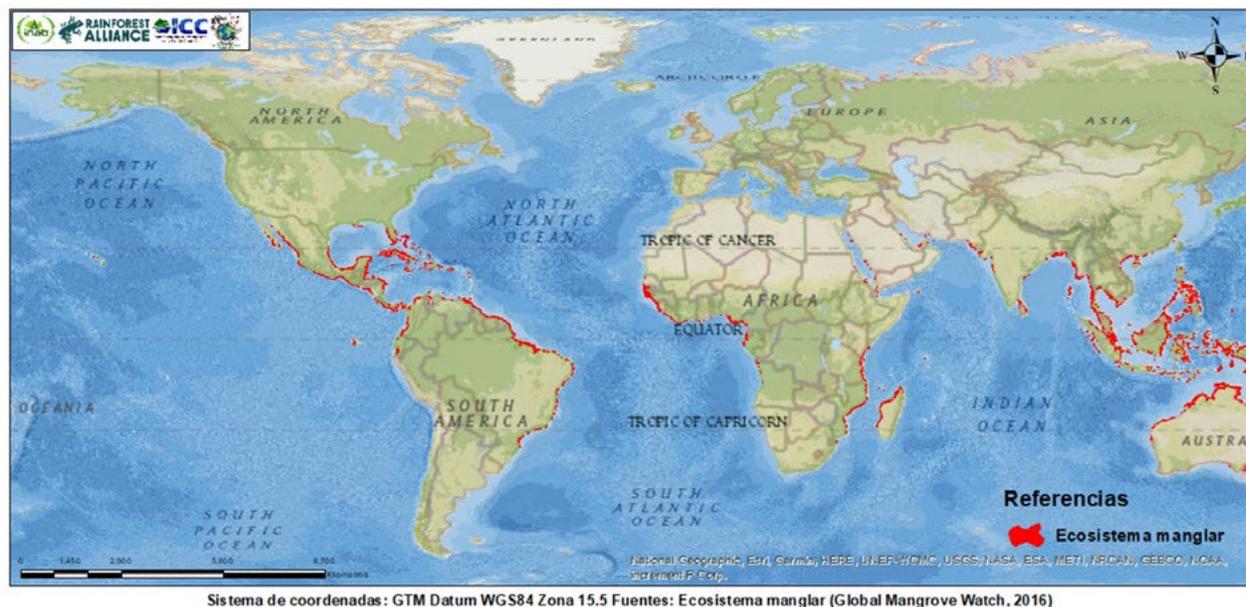
Nota: Zacarías-Coxic, 2011.

3.2 Ecosistema manglar

La mayor cantidad de manglares se encuentran en Asia (42%), seguidos por África (20%), América del Norte y Central (15%), Oceanía (12%) y América del Sur (11%). Aproximadamente el 75% de los manglares se concentra en solo 15 países. (Giri et. al, 2010)

Según la Organización de Alimentos y Agricultura de Estados Unidos (2007), la superficie que ocupan los manglares de todo el mundo llega a 15.2 millones de hectáreas; las zonas más extensas se encuentran en Asia y África, seguidas por América del Norte y Central. Un alarmante 20%, equivalente a 3.6 millones de hectáreas de manglares, se han perdido desde 1980. Recientemente, la tasa de pérdida neta parece haber disminuido, aunque aún sigue siendo muy alta. Cerca de 185,000 ha se perdieron por año en la década de 1980; esta cifra cayó a 118,500 ha por año en los 1990 y a 102,000 ha (-0.66 %) en el período 2000–2005, lo cual refleja que ha aumentado el conocimiento sobre el valor de los ecosistemas de manglares.

Figura 4. Distribución del ecosistema manglar a nivel mundial.

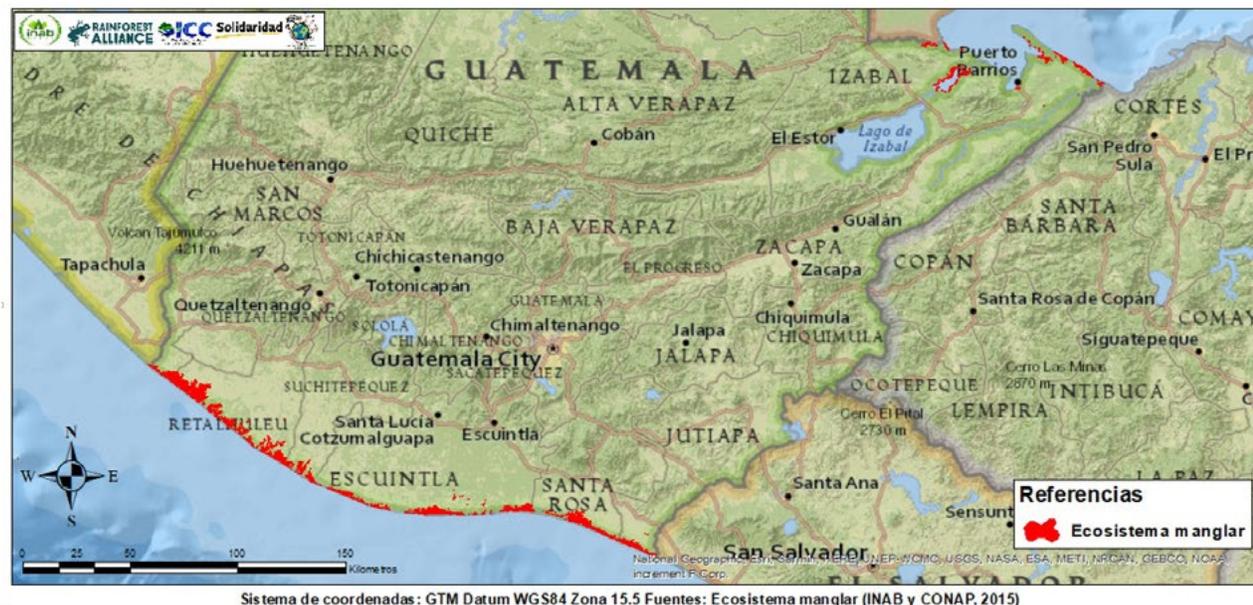


Nota: Modificado por Gordillo, 2022. Obtenido de: *Global Mangrove Watch*, 2016.

Según Prahl (1989), la distribución del manglar en el continente está directamente relacionado con la temperatura ambiental. *Avicennia germinans* L. y *Rhizophora mangle* L., se extienden en la costa americana del Atlántico hasta Florida, pero su límite real de distribución geográfica es la Isla de Bermuda a $32^{\circ}20'N$., donde también se presenta; sobre la costa Atlántica de Sudamérica llega a los $25^{\circ}30'S$., en el estado de Santa Catarina en Brasil, aunque *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. llega a los $29^{\circ}S$. En la costa del Pacífico americano *Avicennia germinans* L., llega hasta Puerto Lobos a $30^{\circ}15'N$., y *Rhizophora mangle* L., penetra hasta Bahía Ballenas en el Golfo de California, hacia el sur se prolonga hasta Tumbes a la altura de los $3^{\circ}40'S$., en el norte del Perú, esta región se encuentra influenciada directamente por la corriente marina fría de Humboldt proveniente del sur, caso similar ocurre al norte con la corriente marina fría de California, el mangle aparece dentro del Golfo pero no en la Península que se encuentra expuesta a la acción directa de dicha corriente; lo anterior quiere decir que el manglar se distribuye en el Pacífico por influencia de la contracorriente ecuatorial del norte y la corriente de Panamá. Al contrario, el Atlántico americano posee una amplia zona tropical y subtropical, debido a la extensa influencia de corrientes cálidas incluyendo la del Golfo de México.

En Guatemala los manglares se ubican en las costas del Atlántico, Pacífico y en el departamento de Peten (zona interna del continente) estos bosques se caracterizan por crecer en áreas inundadas por las aguas que aportan los océanos y ríos. (INAB, 2019)

Figura 5. Distribución del ecosistema manglar en Guatemala.



Nota: Modificado por Gordillo, 2022. Obtenido de: INAB y CONAP, 2015.

Según Zacarías y Sánchez (2019), en el país se encuentran 6 especies arbóreas de manglar: Mangle Colorado o Rojo (*Rhizophora mangle* L.), Mangle rojo (*Rhizophora racemosa* G. Mey.), Mangle Blanco (*Laguncularia racemosa* L. Gaertn. f.), Mangle Negro o Madre Sal (*Avicennia germinans* L.), Mangle negro o ixtatén (*Avicennia bicolor* Standl) y Mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus* L.).

Aunque cada especie tiene características propias, como su distinta tolerancia a la salinidad, en una misma área pueden encontrarse tres de ellas o incluso todas. También se sabe que el mangle rojo o colorado es el de menor tolerancia a la sal, pero el más resistente a tormentas e inundaciones, lo cual es muy conveniente en tiempos de cambio climático donde los fenómenos hidrometeorológicos tienden a ser más frecuentes e intensos. (Mongabay Latam, 2020).

3.3 Servicios ecosistémicos que brindan los manglares

3.3.1 Soporte

Los manglares son sitio de anidamiento de aves costeras, así como hábitat de reptiles y mamíferos. (Domínguez & Martínez, 2019)

Según Badillo et al., 2020, muchas especies viven en los manglares durante alguna etapa de su vida y funcionan como zonas de crianza y refugio para una gran variedad de especies de importancia comercial.

El 75% de todas las especies comerciales de peces pasan parte de sus vidas en los manglares, donde encuentran zonas de cría, refugio y alimentación. (Cifuentes-Jara, 2020)

El ecosistema manglar, como soporte, brinda hábitats para especies residentes y migratorias; forman parte del equilibrio ecológico que permite el mantenimiento de especies para uso alimentario o de valor comercial. (Pérez de Madrid, López, Padilla, Ramírez, & Montes de Oca, 2018).

3.3.2 Provisión

Según Domínguez & Martínez (2019), El manglar proporciona alimento a numerosas especies de importancia ecológica y económica. La materia orgánica que proviene de las hojas del manglar, así como los detritos y las bacterias que en ellos crecen son consumidos por camarones, peces, ostiones, tortugas, entre otros, lo que genera una pesquería productiva dentro y fuera de las lagunas y ríos donde se desarrolla el manglar.

El principal servicio ecosistémico evaluado y estudiado a nivel mundial es el relacionado con las pesquerías, numéricamente esto representa en $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, 539 de mariscos y 146 de camarones. (Carvajal, Herrera, Valdéz, & Campos, 2019)

Según Badillo et al., 2020, los ecosistemas manglares proporcionan un importante recurso forestal, ya que sus hojas se emplean como forraje, se extrae leña, madera, taninos para el curtido de pieles, tinción y son fuentes de medicina natural.

La madera de las especies de mangle tiene valor principalmente de autoconsumo entre los pobladores de la zona costera, ya que se aprovecha para elaborar vigas. Para 31.28% de los productores de mangles o dueños de terreno con manglar, este tiene un valor económico significativo debido al aprovechamiento de la madera, ya que provee diversos materiales comercializables, como vigas, horcones, puntales, tijeras, postes y pilotes para construir viviendas y cercas. (Domínguez & Martínez, 2019)

3.3.3 Cultural

El ecosistema manglar tiene valor escénico y cultural, ya que favorece el desarrollo de actividades recreativas, turísticas y religiosas. (Badillo et al., 2020)

El manglar es fuente de inspiración del arte y la religión desde el punto de vista estético en la apreciación del paisaje natural. En el aspecto recreativo da oportunidad para el turismo y las actividades deportivas y en el educativo, da oportunidad para el aprendizaje y la capacitación. (Domínguez & Martínez, 2019)

3.3.4 Regulación

Según Domínguez & Martínez (2019), el manglar contribuye a la mitigación de riesgos naturales en el control de inundación y protección contra tormentas. Protege de vientos, tormentas tropicales y huracanes a comunidades de animales, vegetales y de personas, ya que sirven como doble resguardo o amortiguamiento.

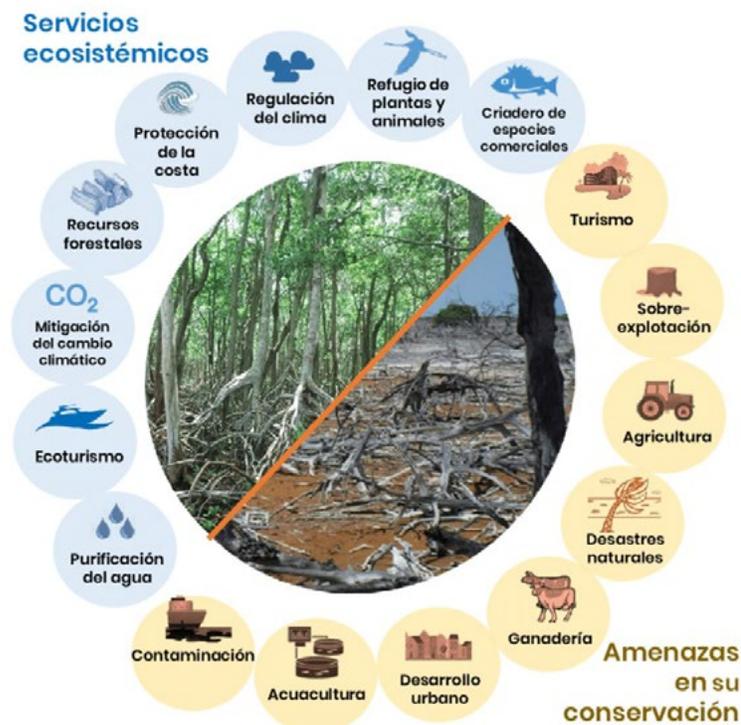
A través de su función hidrológica, los humedales costeros contribuyen a regular el flujo de sedimentos y el agua, purificarla y enfrentar las amenazas naturales. A través de su función de estabilización costera reducen la exposición de las comunidades ante las amenazas generadas por eventos hidrometeorológicos. A través de su función de regulación del clima generan beneficios del microclima. (Pérez de Madrid, López, Padilla, Ramírez, & Montes de Oca, 2018)

Las especies de manglar forman áreas terrestres al atrapar sedimentos con sus raíces; asimismo, detienen la carga sedimentaria que procede del área terrestre adyacente e impiden la erosión causada por corrientes, mareas y vientos para proteger la línea de costa. (Domínguez & Martínez, 2019)

Además, los manglares tienen una enorme capacidad de secuestro de carbono, contribuyen a la mitigación del cambio climático, y, por ende, al mantenimiento de las capacidades de adaptación. (Pérez de Madrid, López, Padilla, Ramírez, & Montes de Oca, 2018)

Según Rodríguez y Ramírez (2018), los manglares contribuyen a la mitigación del cambio climático debido a su alta capacidad de captura y almacenamiento de carbono. El servicio ecosistémico más importante y menos estudiado de los manglares, es precisamente su papel como sumidero de carbono. Las reservas de carbono en los manglares y otros ecosistemas marino-costeros (conocidas como "carbono azul") son de las más grandes que se han encontrado en cualquier tipo de bosque.

Figura 6. Servicios ecosistémicos de los manglares y las amenazas que enfrentan.



Nota: Teutli, Herrera, Cisneros, & Román, 2020.

3.4 Cambio climático

Es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. (ONU, 1992)

Según Benavides & León (2007) el cambio climático es, en parte, producto del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, existe una diferencia entre variabilidad climática y cambio climático. La variabilidad climática se presenta cuando con cierta frecuencia un fenómeno genera un comportamiento anormal del clima, pero es un fenómeno temporal y transitorio. El cambio climático, por otra parte, denota un proceso que no es temporal y que puede verificarse en el tiempo revisando datos climáticos.

Los factores que afectan los cambios de temperatura media de la tierra y el cambio climático son los cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono, gas metano, hidratos de metano. (Díaz, 2012)

3.4.1 Calentamiento global

El calentamiento global se puede entender en forma simplificada como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de Efecto Invernadero - GEI) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales. (Benavides & León, 2007)

3.4.2 Gases de efecto invernadero

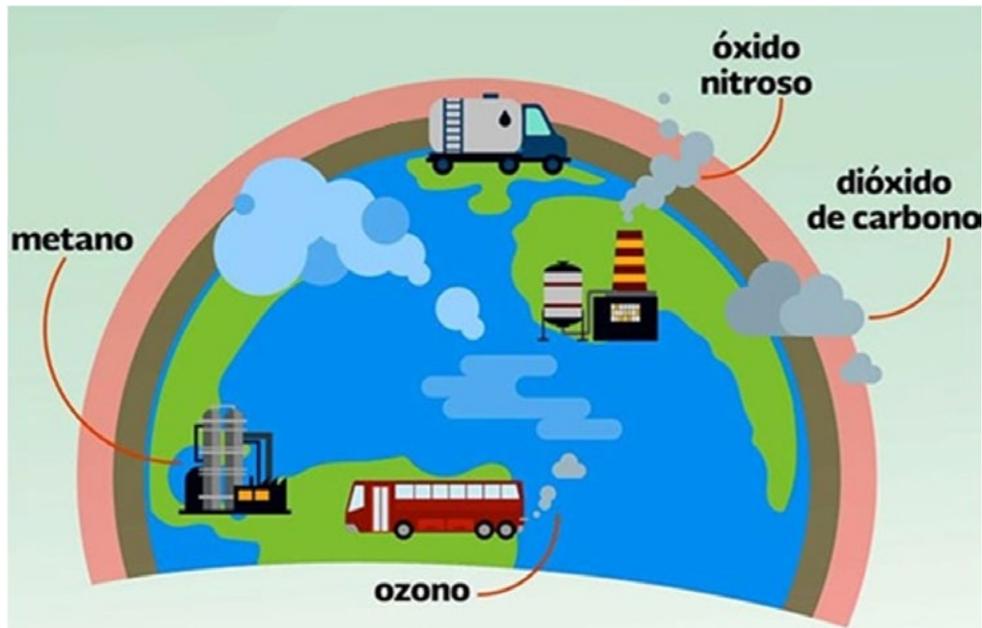
La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera. Esta absorción por los gases traza, calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga. Parte de esta radiación es liberada al espacio y otra parte es irradiada nuevamente a la superficie de la Tierra. (Benavides & León, 2007)

La superficie terrestre absorbe naturalmente el 70% de la radiación solar mientras que el resto es reflejado de vuelta al espacio por reverberación. La radiación solar absorbida se transforma en radiación infrarroja y regresa a la atmósfera. Parte de esta radiación infrarroja es entonces reflejada de vuelta al espacio, mientras que la otra parte es retenida por los gases de efecto invernadero en la atmósfera, incrementando la temperatura global del planeta. Esto es el efecto invernadero. (Garrett, 2022)

Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son directamente devueltas a la superficie, suministrando una fuente de energía adicional a la radiación solar directa. El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene más energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la Tierra no tuviera atmósfera, consecuentemente, la temperatura es más alta, del orden de 33°C más. Este proceso es conocido como el efecto de invernadero natural. Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie sería aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta no sería posible. (Benavides & León, 2007)

Según Garrett (2022), los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son gases presentes de forma natural en la atmósfera. Absorben algunos de los rayos del sol y luego los redistribuyen en forma de radiación. Su creciente concentración en la atmósfera, debido a las actividades humanas, contribuye al calentamiento global. Como su nombre lo indica, estos gases son la principal causa del efecto invernadero.

Figura 7. Gases de efecto invernadero.



Nota: Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad, 2022.

Los gases responsables del efecto invernadero son los siguientes:

- Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)
- Ozono (O_3)
- Dióxido de carbono (CO_2)

Las actividades humanas, como la cría de ganado que emite metano o el uso de vehículos que funcionan con combustibles fósiles, emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero y afectan a la composición química de la atmósfera. Por lo tanto, conducen a la aparición de un efecto invernadero adicional que aumenta la temperatura media del planeta. (Garrett, 2022)

3.4.2.1 Metano. El metano (CH_4) es un hidrocarburo, componente principal del gas natural. Es también un “gas de efecto invernadero” (GHG, por sus siglas en inglés), lo que significa que su presencia en la atmósfera afecta la temperatura y el sistema climatológico de la Tierra. (methanetomarkets.org, 2008)

Dentro del ciclo biogeoquímico del metano, existen tres tipos de orígenes de las emisiones de metano a la atmósfera: biogénico, pirogénico y termogénico, que, además, pueden darse como resultado de actividades humanas o de procesos naturales. (Manrique, 2015)

Según la Universidad de Granada (2020), el metano es uno de los gases de efecto invernadero que más influye sobre el clima, luego del dióxido de carbono. La concentración del metano en la atmósfera, casi se ha triplicado en los últimos 150 años. Este compuesto también es conocido como “gas natural” y actualmente es una importante fuente de energía. No obstante, solo parte del metano existente en la atmósfera es producido por las actividades industriales relacionadas con la producción y uso de energía, de hecho, la fuente más importante de metano, es la biogénica, por ejemplo, el cultivo de arroz y el incremento de los rumiantes domésticos debido al crecimiento de la población mundial.

3.4.2.2 Óxido nítrico. El óxido nítrico es un gas volátil, incoloro, con un olor dulce y ligeramente tóxico. Su estructura molecular es N_2O , y está formada por la unión de dos moléculas de nitrógeno y una de oxígeno. Químicamente es un gas estable, que no reacciona con otros elementos o compuestos. (European Chemicals Agency, 2021)

Figura 8. Aguas residuales y vertederos, fuentes de metano y óxido nítrico.

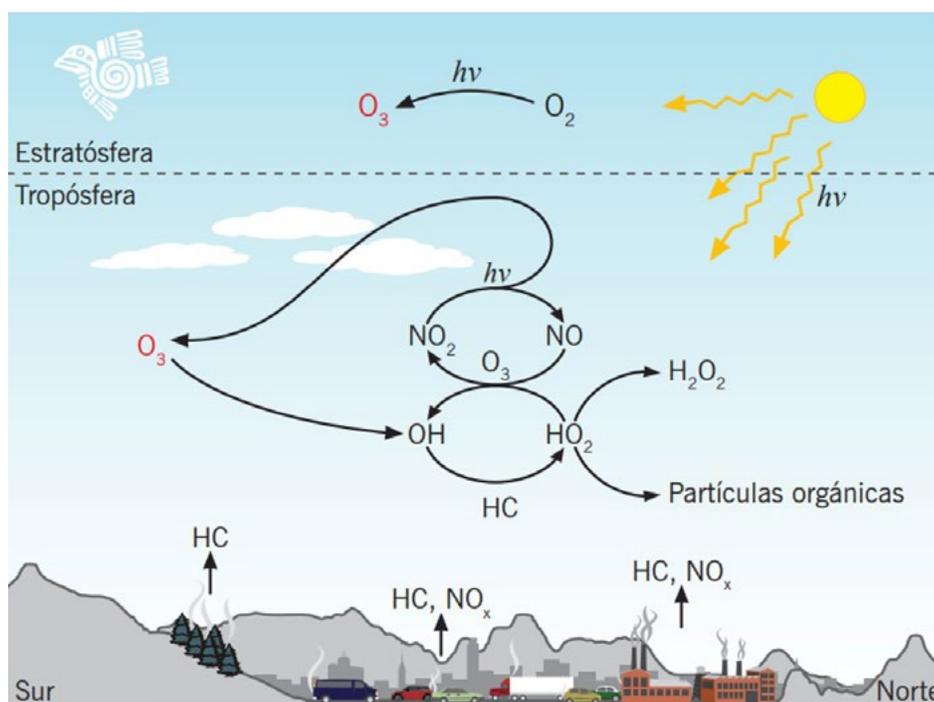


Nota: Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá, 2021.

Según Benavides & León (2007), la fuente más importante de óxido nitroso son las emisiones generadas por suelos agrícolas y en menor grado por el consumo de combustibles fósiles para generar energía y las emitidas por descomposición de proteínas de aguas residuales domésticas. Las emisiones de óxido nitroso generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes.

3.4.2.3 Ozono. El ozono (O_3) es una molécula triatómica formada por átomos de oxígeno. Es un alótropo del oxígeno mucho más reactivo que el oxígeno diatómico (O_2). El ozono es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones y es vital para la vida. (Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016)

Figura 9. Formación del ozono.



Nota: Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016.

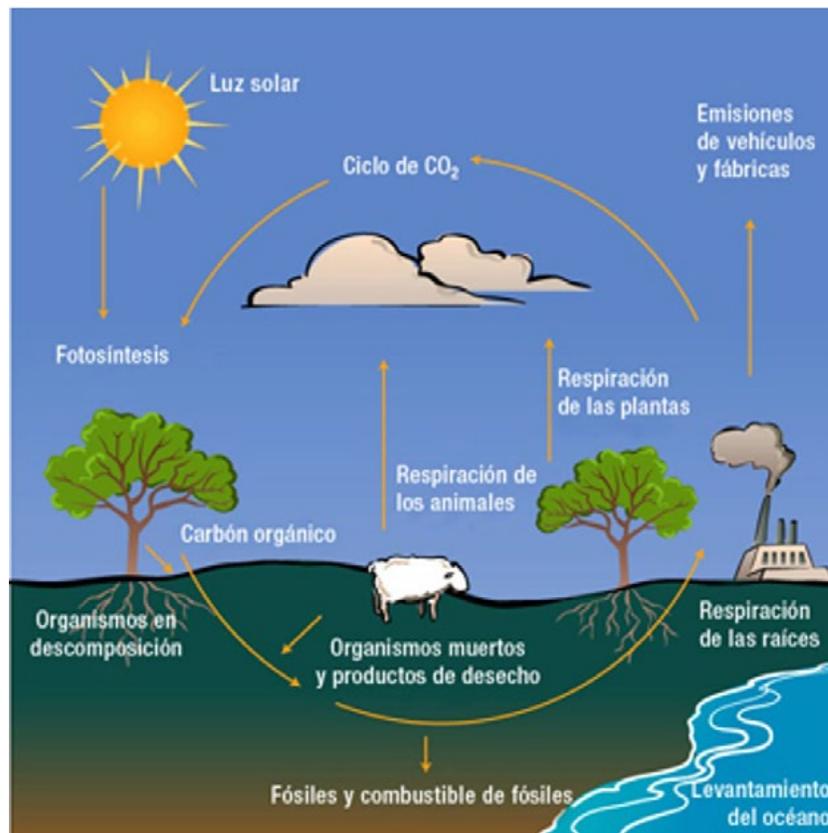
El ozono está presente en la estratosfera superior, donde protege la Tierra de niveles perjudiciales de radiación ultravioleta y en concentraciones más bajas en la troposfera, donde es el componente principal del smog fotoquímico antropogénico. Durante las últimas tres décadas, las emisiones antropogénicas de halocarbonos que contienen cloro y bromo, tal como los CFC's han disminuido las concentraciones estratosféricas de ozono. Esta pérdida de ozono en la estratosfera ha tenido como resultado un forzamiento radiactivo negativo, debido a que el ozono es un importante GEI. (Benavides & León, 2007)

3.4.2.4 Dióxido de carbono. El dióxido de carbono es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. (Benavides & León, 2007)

Las plantas superiores adquieren el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico por difusión a través de pequeños poros de las hojas conocidos como estomas, y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Cierta cantidad de este CO_2 regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB). (Jaramillo, 2007)

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero que atrapa al calor que hay dentro de la atmósfera. Sin este y otros gases, la Tierra sería un lugar helado. Pero los seres humanos han quemado tanto combustible que hay aproximadamente 30% más dióxido de carbono en el aire, actualmente, que hace 150 años. De acuerdo a la información obtenida de las capas de hielo, la atmósfera no había contenido una cantidad tal de carbono desde hace aproximadamente 420,000 años. El reciente aumento en los gases de invernadero en nuestra atmósfera, como el dióxido de carbono, está haciendo que el planeta tenga temperaturas más altas de lo normal, lo que se conoce como calentamiento global. (Johnson, 2010)

Figura 10. Ciclo del dióxido de carbono.

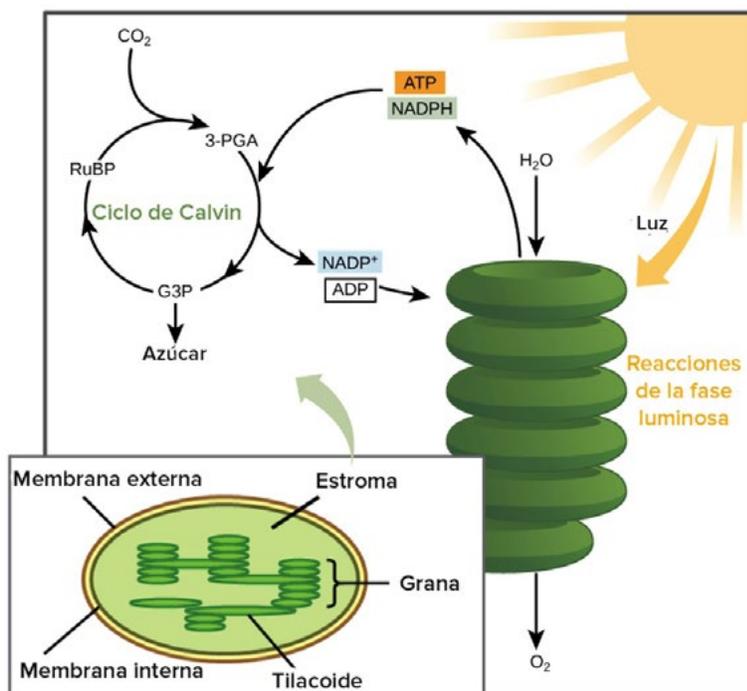


Nota: Johnson R., 2010.

3.4.2.1.1 Captura y almacenamiento de CO₂. El dióxido de carbono secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. (Carvajal M., 2020)

En las plantas, el dióxido de carbono entra al interior de las hojas a través de unos poros llamados estomas y se difunde hacia el estroma del cloroplasto, el sitio en el cual se producen las reacciones del ciclo de Calvin, donde se sintetiza el azúcar. En el ciclo de Calvin, los átomos de carbono del CO₂ se fijan (se incorporan a moléculas orgánicas) y se utilizan para formar azúcares de tres carbonos. (Fowler, Roush, & Wise, 2013)

Figura 11. Ciclo de Calvin.



Nota: Fowler, Roush , & Wise, 2013.

3.4.2.1.2 Carbono azul. El carbono azul es el carbono acumulado en el suelo de ecosistemas costeros y el que es capturado por los manglares, marismas y pastos marinos, almacenado como biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos), biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (por ejemplo, hojarasca y madera seca). (Fourqurean et al., 2010)

Los ecosistemas costeros son fundamentales para mantener el bienestar humano y la biodiversidad global. En especial, los manglares, las marismas y los pastos marinos, ya que ofrecen numerosos beneficios y servicios que contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático. Mediante el secuestro y almacenaje de cantidades importantes de carbono, denominado carbono azul. (Fourqurean et al., 2010)

Los ecosistemas de carbono azul cubren menos del 0.5% de la superficie marina mundial, pero captan carbono a una tasa anual de dos a cuatro veces mayor que la de los bosques tropicales maduros, y almacenan entre tres y cinco veces más carbono por área. Asimismo, representan más de 50% del total de carbono contenido en sedimentos oceánicos, y en un año secuestran una cantidad de carbono equivalente a casi la mitad de las emisiones generadas por el transporte a escala mundial. (SEMARNAT, 2017)

3.5 Carbono azul en el ecosistema manglar de países vecinos

3.5.1 México

Según Paz-Pellat et al. (2019), México posee 775,555 hectáreas de manglar representando la 4ª extensión más grande a nivel global. Luego de varias décadas durante las cuales su extensión se redujo, en los últimos años la tendencia se estabilizó e incluso se registra una incipiente recuperación. Esta recuperación no es homogénea, algunas regiones siguen registrando pérdida de manglares, lo que invita a seguir impulsando los esfuerzos de restauración.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático -INECC- (2017), entre el componente aéreo y subterráneo del ecosistema manglar de México, almacenan un total de 1,646 Mg de CO₂ equivalente por hectárea. Debido a la importancia de este ecosistema para mitigar el cambio climático, se reconoce como uno de los tres ecosistemas de carbono azul -ECA- identificados en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático -CMNUCC- (Paz-Pellat, Hernández-Ayón, Sosa, & Velásquez, 2019).

3.5.2 El Salvador

En El Salvador hay aproximadamente 36,000 hectáreas de manglar, de las cuales aproximadamente un 60% se encuentran en la zona de Bajo Lempa. Existe un profundo reconocimiento por parte de la población sobre la importancia de los bienes y servicios que proveen esos manglares, lo cual ha resultado en procesos de construcción de gobernanza local y uso sostenible que incentivan la restauración de manglares en la zona. (Cifuentes, Rivera, Magaña, Mazariegos, & Gómez, 2018)

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (2019), existen 39,796 hectáreas de bosque salado, las cuales almacenan en su totalidad 65,833.731 toneladas de CO₂, representando un 11.21% de las reservas de carbono del país.

3.5.3 Honduras

Los manglares en Honduras son una barrera contra mareas y huracanes, amortiguan la erosión costera y son la fuente principal para la generación de alimentos, obtención de recursos maderables y no maderables, actividades sociales, culturales y recreativas. Son soluciones basadas en naturaleza para acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático global. (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, 2021)

Según el Instituto de Conservación Forestal -ICF- (2021), los ecosistemas manglares de Honduras, en promedio almacenan 346.6 toneladas de carbono por hectárea en sus diferentes depósitos (aéreo, subterráneo, necromasa, hojarasca y suelo). De este porcentaje, el 80.3% se concentra en los suelos de este tipo de ecosistemas.

3.6 Instrumentos económicos para la protección del ecosistema manglar en Guatemala

3.6.1 Incentivo forestal

Es una medida de estímulo que otorga el Estado para promover la reforestación con el objeto de crear bosques que en una gestión sostenida aseguren a la nación la protección forestal de los terrenos y aguas y la fuente de materia prima para sustentar una industria sobre bases sólidas, que aseguren su desarrollo como fuente de ingresos y lugares de trabajo. (Congreso de la República de Guatemala, 1996)

3.6.1.1 Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- En 1996, con la creación de la nueva Ley Forestal de Guatemala mediante el Decreto Legislativo No. 101-96, se conformó el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), el cual está impulsando el fomento de la producción forestal sostenible en el país a través de la inversión en las actividades de forestación, reforestación y manejo sostenible de bosques naturales. El PINFOR es una herramienta de la Política Nacional Forestal a largo plazo que inició en 1997 y tiene vigencia hasta el año 2016. (Larrazábal, Oliva, Ibrahim, & Detlefsen, 2009)

3.6.1.2 Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala -PROBOSQUE- Es un instrumento legal, que da continuidad a los incentivos forestales y para cumplir con el mandato de la Ley enunciada es necesario un reglamento para su aplicación, propiciando el manejo sostenible del bosque, incrementando la cobertura forestal, la producción de bienes y servicios ecosistémicos y ambientales con el propósito de contribuir a garantizar el medio de vida y el bienestar de la población guatemalteca, así también coadyuvar con el desarrollo económico del país. (Congreso de la República de Guatemala, 2015)

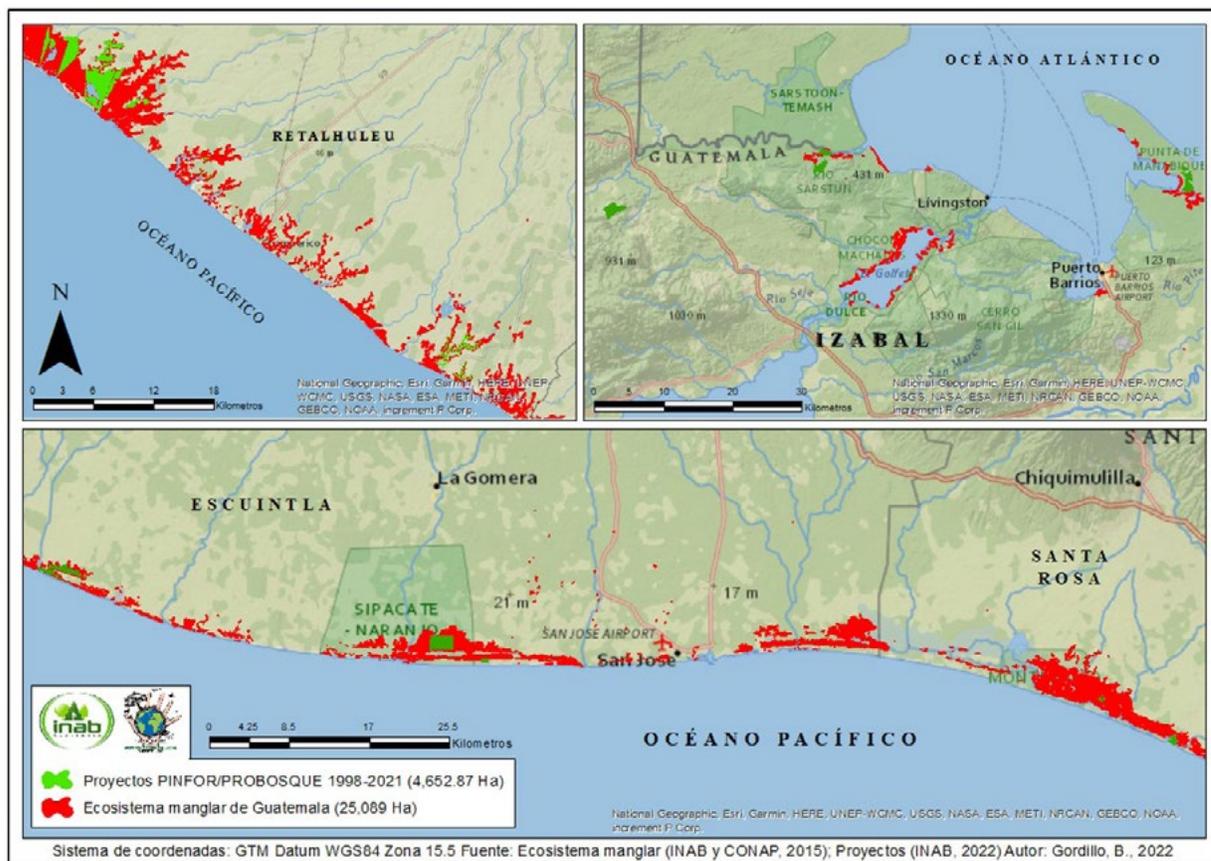
IV. Metodología y resultados

4.1 Metodología

4.1.1 Revisión de la topología (1998-2021) de proyectos de incentivos forestales

Fue necesario llevar a cabo una revisión de la topología de los proyectos bajo incentivos forestales, para identificar las áreas incentivadas que se encuentran dentro de los ecosistemas manglares en las costas del pacífico y el atlántico del país. La topología que se menciona es un conjunto de polígonos, los cuales se encuentran en un archivo en formato de paquete de capas, que fue elaborado por el departamento de Sistemas de Información Geográfica -SIG- del INAB, el cual fue ejecutado con el software ArcMap de esri®, para su respectivo análisis.

Figura 12. Mapa de los proyectos bajo incentivos forestales dentro del ecosistema manglar del país.



Nota: Modificado por Gordillo, 2022. Obtenido de: INAB y CONAP, 2015 e INAB, 2022.

Para generar el mapa que se muestra en la Figura 12., se identificaron dichos proyectos y se seleccionaron, en la tabla de atributos, cada uno de ellos, para generar un archivo *shapefile* de las áreas incentivadas, dentro del ecosistema en estudio. La topología también brinda la información general de cada proyecto, entre la cual se encuentra el número de expediente, ubicación y área, información que ha servido para sistematizar todos los proyectos y realizar los cálculos que han permitido la cuantificación de carbono azul en estos ecosistemas.

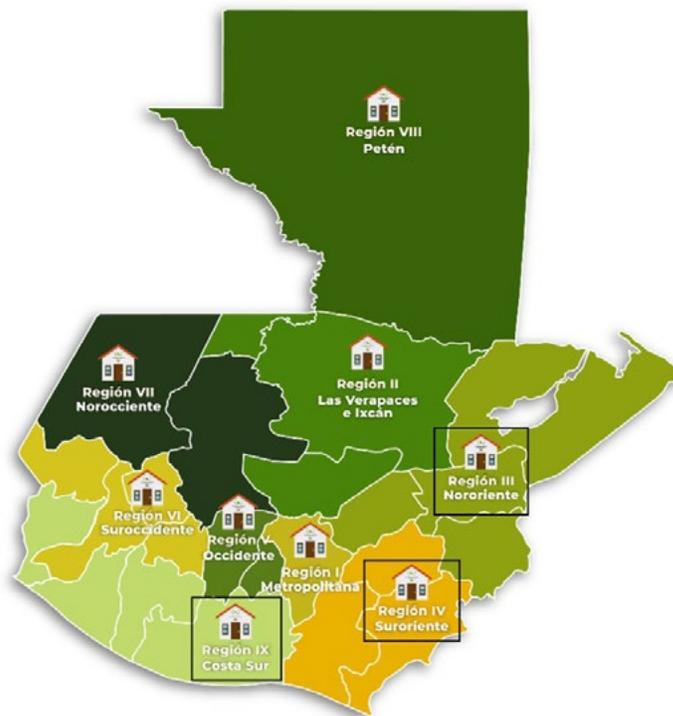
Al finalizar el mapa, los proyectos fueron identificados, por lo tanto, se procedió a solicitar información detallada de los mismos, en cada una de las regiones que están a cargo de la jurisdicción en la cual se encuentran dichos proyectos.

4.1.2 Recopilación de información

Para llevar a cabo este estudio, fue necesario recopilar algunos datos de cada uno de los proyectos identificados, dentro de los mismos, lo que figura con mayor importancia, son los inventarios forestales, ya que estos, brindan información específica sobre el componente arbóreo, que es indispensable para el cálculo de carbono azul, que se pretende en esta investigación.

Se solicitó una copia de los inventarios forestales de estos proyectos a las oficinas regionales que se encuentran dentro de la jurisdicción del área estudiada, en este caso, la Región IX, Costa Sur (Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla); Región IV, Suroriente (Santa Rosa y Jutiapa) y la Región III, Nororiente (Izabal), que se encuentran en las costas del Pacífico y Atlántico del país, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Oficinas regionales del Instituto Nacional de Bosques.



Nota: Modificado por Gordillo, 2022. Obtenido de: INAB, 2022.

4.1.3 Sistematización y análisis de datos

Una vez recolectados todos los expedientes de manera digital, se procedió a sistematizar los inventarios forestales de cada uno de ellos, en una base de datos elaborada en una hoja de cálculo, haciendo uso del software Microsoft Excel ®. En esta información, lo que figura con más importancia, son las variables dasométricas de los árboles, ya que son indispensables para la cuantificación del carbono azul contenido en cada proyecto, lo cual es el objetivo del trabajo realizado.

En la base de datos que se menciona, se tabularon todos los inventarios forestales, extrayendo los siguientes datos:

- Número de expediente
- Tamaño en hectáreas del proyecto
- Tamaño en hectáreas del área de muestreo en el que fue realizado el inventario forestal
- Número de parcelas de muestreo
- Municipio
- Departamento
- Número correlativo de parcela
- Año de instalación y de medición
- Tamaño de parcela
- Número de árbol
- Estado
- Nombre común
- Especie
- Tipo de bosque
- Diámetro normalizado
- Altura total

Los datos extraídos proporcionan información importante de cada proyecto, como su ubicación, la diversidad de especies manglares y especies forestales asociadas, variables dasométricas, información de las parcelas y el año en el que cada proyecto ha sido establecido, datos que son indispensables para cumplir con el objetivo general de este informe.

Las variables dasométricas que se encuentran en los inventarios forestales de los expedientes, específicamente el diámetro de cada individuo, permitió clasificar a cada árbol según su clase diamétrica (Tabla 1) correspondiente. Asimismo, gracias a estas variables, es posible estimar otros datos como área basal, volumen, biomasa aérea y subterránea. Con ello es posible saber la cantidad de carbono almacenado en este tipo de bosques.

Tabla 1. Clases diamétricas utilizadas por el INAB para la clasificación de los árboles de mangle según su diámetro.

Clases diamétricas		
5-9.99 cm	35-39.99 cm	65-69.99 cm
10-14.99 cm	40-44.99 cm	70-74.99 cm
15-19.99 cm	45-49.99 cm	75-79.99 cm
20-24.99 cm	50-54.99 cm	80-84.99 cm
25-29.99 cm	55-59.99 cm	85-89.99 cm
30-34.99 cm	60-64.99 cm	90-94.99 cm

Nota: Instituto Nacional de Bosques, 2011.

Para la cuantificación de biomasa total del componente arbóreo del ecosistema manglar en estudio, se utilizaron las ecuaciones generadas por Komiyama, Pongparn & Kato (2005), en el artículo "Ecuaciones alométricas comunes para estimar el peso del árbol de manglares" de la revista *Journal of Tropical Ecology* (Ver Tabla 2). En el caso de especies latifoliadas asociadas a este ecosistema, se utilizaron las ecuaciones obtenidas del artículo *Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes*, generadas por Mokany, Raison y Prokushkin (2006), para la revista *Global Change Biology*.

Tabla 2. Ecuaciones para el cálculo de biomasa aérea y subterránea.

Especies	Biomasa aérea	Biomasa subterránea
<i>Rhizophora mangle</i> L.	$0.178 \times \text{DAP}^{2.47}$	$0.199 \times (0.86^{0.899}) \times (\text{DAP}^{2.22})$
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn. f.	$0.1023 \times \text{DAP}^{2.50}$	$0.199 \times (0.86^{0.899}) \times (\text{DAP}^{2.22})$
<i>Avicennia germinans</i> L.	$0.14 \times \text{DAP}^{2.4}$	$0.199 \times (0.86^{0.899}) \times (\text{DAP}^{2.22})$
<i>Conocarpus erectus</i> L.	$0.1023 \times \text{DAP}^{2.50}$	$0.199 \times (0.86^{0.899}) \times (\text{DAP}^{2.22})$
Especies latifoliadas	$0.13657 \times \text{DAP}^{2.38351}$	$(0.489 \times (\text{BGB}^{0.899}))$

Nota: Komiyama, Pongparn y Kato, 2005; Okani, Raison y Prokushkin, 2006. Se utilizó la misma ecuación de *Laguncularia racemosa* en *Conocarpus erectus* al no existir una ecuación específica para dicha especie.

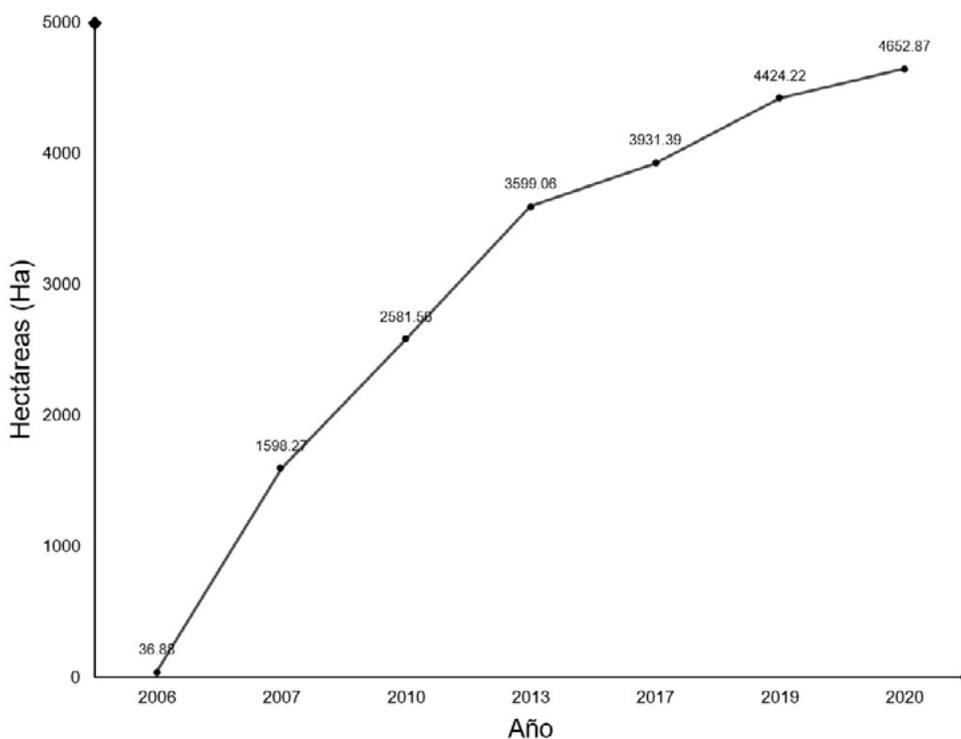
El Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC- (por sus siglas en inglés), en *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Volumen 4, 2006), sugiere utilizar la fracción de 0.45 a 0.50, como factor para calcular el carbono de la biomasa total. En este caso, para el cálculo del carbono almacenado en los árboles, se multiplicó la cantidad de biomasa total, en toneladas métricas, por el promedio de la fracción de carbono sugerida (0.47).

Una vez realizado el cálculo del carbono azul contenido en los manglares de estos proyectos, se han obtenido los resultados que muestran la importancia de estos ecosistemas para la mitigación del cambio climático.

4.2 Resultados

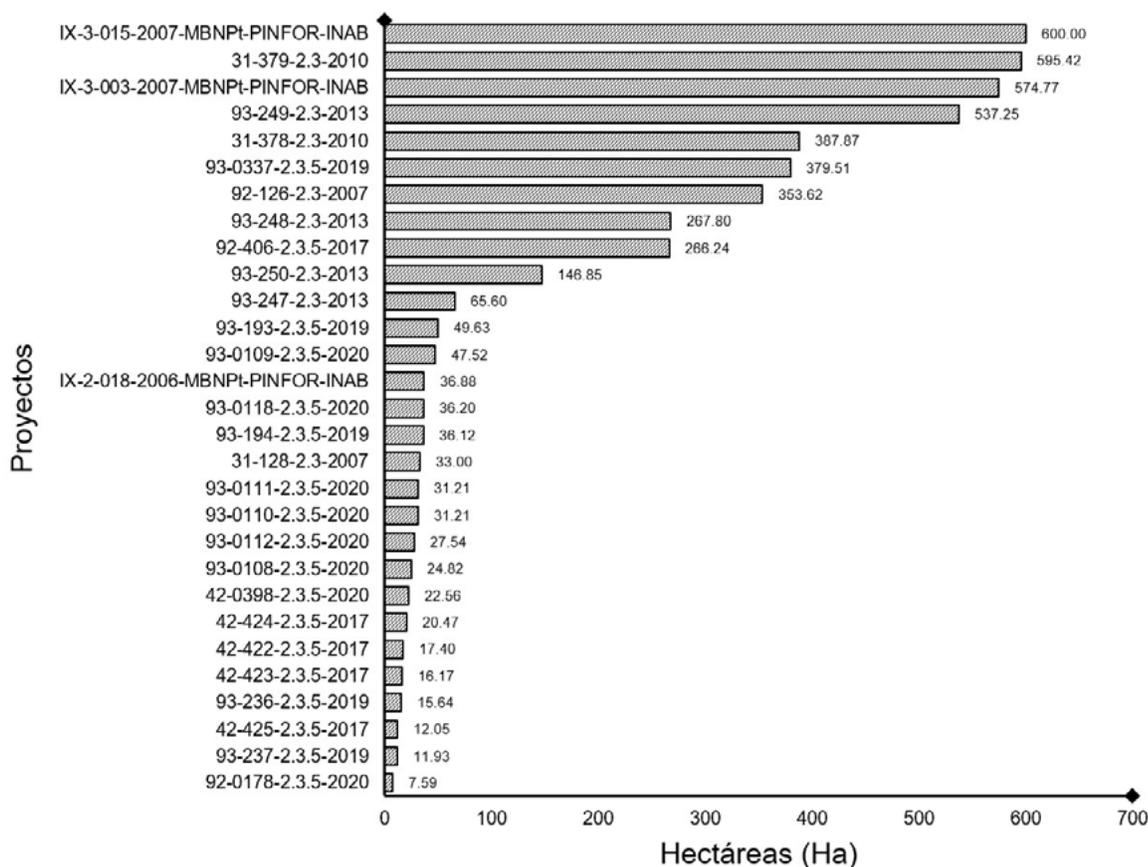
Es importante observar que, desde el primer proyecto aprobado, en el año 2006, se han sumado 28 proyectos más, que representan un 18.54% del ecosistema manglar del país. La inversión realizada por el Estado en dichos proyectos, garantiza su protección y conservación, por ende, los diversos servicios ecosistémicos que estos bosques aportan. La gráfica que se presenta a continuación, muestra el crecimiento de la extensión territorial, que se encuentra protegida gracias a dicho instrumento económico.

Figura 14. Superficie acumulada por proyectos bajo incentivos forestales en el ecosistema manglar desde el año 2006 al 2020.



Nota: Gráfico generado con base en la información solicitada, la cual se menciona en el inciso 4.1.2 de este documento.

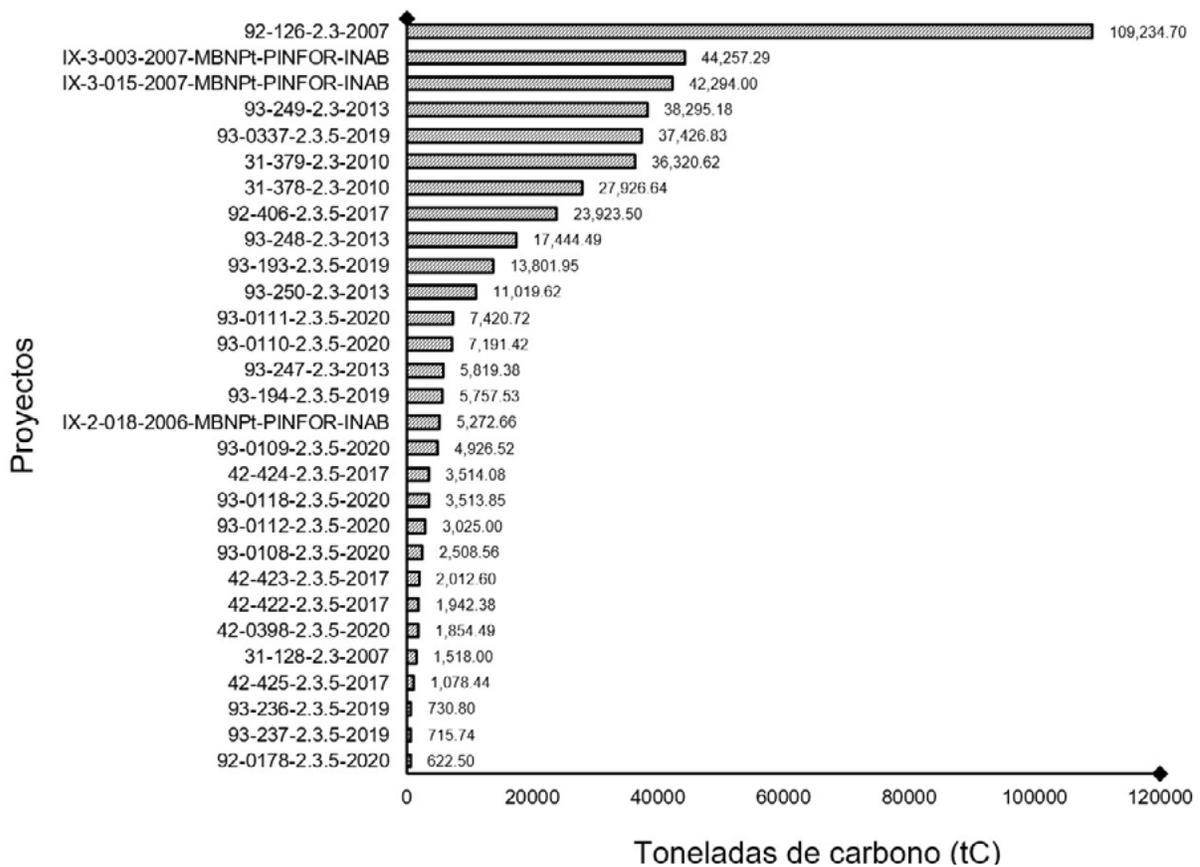
Figura 15. Superficie ocupada por cada proyecto bajo incentivos forestales dentro del ecosistema manglar del país.



Nota: Gráfico generado con base en la información solicitada, la cual se menciona en el inciso 4.1.2 de este documento.

El total de toneladas de carbono (tC) contenidas en el ecosistema manglar, asciende a 461,369.48, almacenadas en 4,652.87 hectáreas (Ha) de superficie, esto significa que, en promedio, cada hectárea almacena 99.16 tC. Tomando en cuenta este promedio, se puede inferir que, en todo el ecosistema manglar de Guatemala (25,089 Ha) se encuentra capturado un total de 2,487,825.24 tC, almacenadas en forma de biomasa, en la estructura aérea y subterránea de estos árboles.

Figura 16. Carbono azul contenido en el componente arbóreo de cada proyecto.



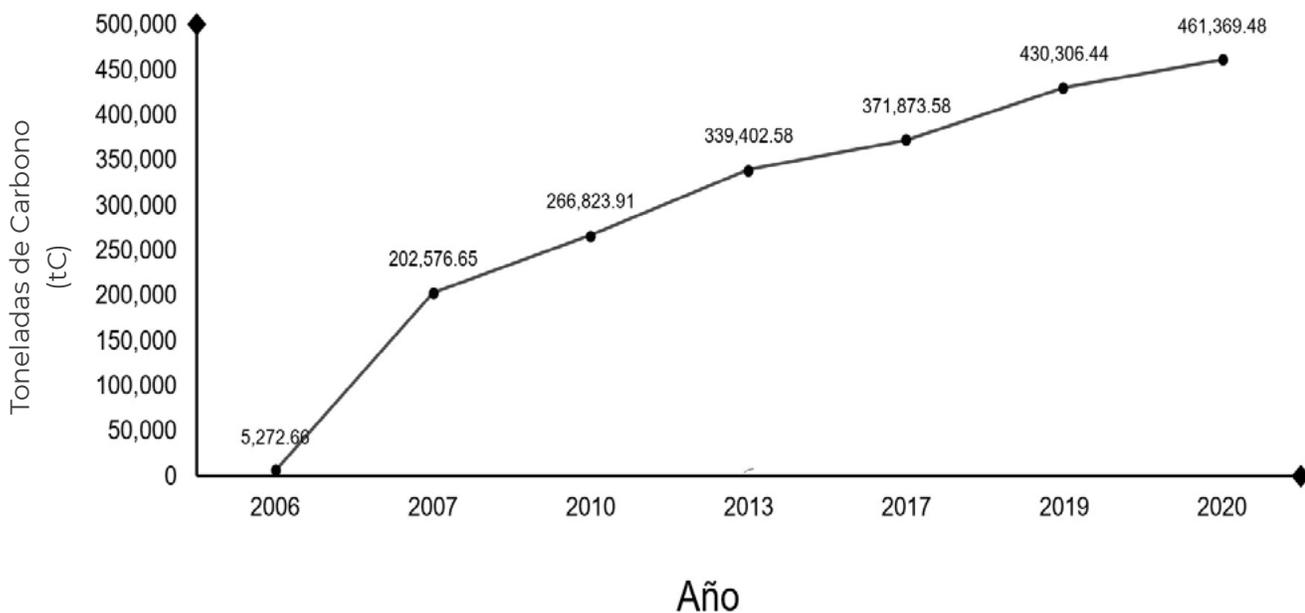
Nota: Gráfico generado con base en la información solicitada, la cual se menciona en el inciso 4.1.2 de este documento.

Cada año, se suman más proyectos a los programas de incentivos forestales que se otorgan para la protección de los manglares en el país, con esto se contribuye a mantener los servicios ecosistémicos de estos bosques.

Desde la aprobación del primer proyecto dentro del ecosistema manglar, en el año de 2006, el carbono azul contenido en el componente arbóreo, ha incrementado de manera proporcional con la superficie que ocupan las áreas bajo incentivos forestales, los cuales están protegidos gracias a este instrumento económico.

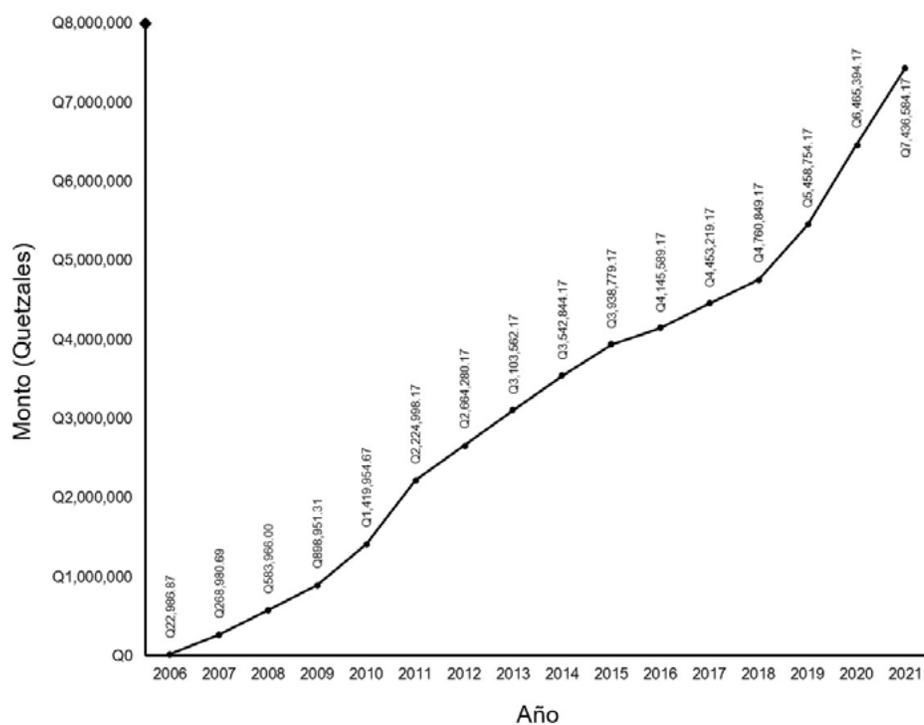
A continuación, se presenta la gráfica que muestra el incremento de carbono almacenado como biomasa, en el ecosistema manglar del país, a lo largo de los años, en proyectos que cuentan con incentivos forestales:

Figura 17. Acumulado de toneladas de carbono azul contenido en el ecosistema manglar bajo incentivos forestales (2006-2020).



Nota: Gráfico generado con base en la información solicitada, la cual se menciona en el inciso 4.1.2 de este documento.

Figura 18. Monto desembolsado por el Estado en incentivos forestales con fines de protección para proyectos que se encuentran dentro del ecosistema manglar (2006-2021).



Nota: Gráfico generado con base en la información solicitada, la cual se menciona en el inciso 4.1.2 de este documento.

Para preservar este tipo de ecosistemas y tan importante servicio ecosistémico, como lo es la captura de carbono, el Estado ha invertido alrededor de \$ 950,000 (7,4 millones de quetzales), desde el año 2006 hasta el desembolso más reciente en 2021, en 29 proyectos, para proteger un 18.54% del ecosistema manglar (4652.87 Ha.), lo cual, si se divide entre la cantidad de toneladas de carbono almacenadas en todos los proyectos, da un costo de \$ 2.05 (Q 16.12) por tonelada de carbono almacenado en el componente arbóreo de dichos proyectos. Este resultado, comparado con el costo de \$5/tC (Q 39.23), que se menciona en el comunicado de prensa del Banco Mundial (2021), indica que Guatemala, realiza una inversión eficiente, para la protección de las reservas de carbono, que se encuentran en los manglares del país.

V. Conclusiones

Los manglares representan uno de los más importantes sumideros de carbono para Guatemala, dada su gran capacidad de almacenamiento de dicho elemento, como una alternativa para la mitigación al cambio climático.

Desde su implementación en 1998 hasta la fecha, los incentivos forestales han servido como un estímulo económico para los propietarios de tierras forestales, que realizan un manejo sostenible de las mismas, por consiguiente, la protección y conservación de los servicios ecosistémicos, que los bosques dentro de estos proyectos aportan. Dentro del ecosistema manglar, se identificaron 29 proyectos incentivados, donde la inversión acumulada asciende a 7,4 millones de quetzales aproximadamente.

Mediante el estudio realizado, se cuantificó un total de 461,369.48 tC, almacenadas en el componente arbóreo que se encuentra distribuido en las 4,652.87 Ha., de superficie que ocupan los proyectos identificados.

Cada uno de estos proyectos, en promedio contiene 99.16 tC/Ha, en el componente arbóreo, tomando en cuenta que existen proyectos que ocupan hasta 600 Ha., es importante que el Estado continúe invirtiendo en la conservación del bosque manglar.

Actualmente, el área bajo incentivos de protección representa un 18.54% del área total del ecosistema manglar, por lo que Guatemala tiene el potencial de invertir en nuevos proyectos bajo la modalidad de protección, que contribuye a mantener el carbono almacenado.

VI. Referencias

- Avila, M. P. (2005). *Positividad de la legislación guatemalteca con relación a la conservación del bosque salado o manglar*. Recuperado el 15 de abril de 2019, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_6156.pdf
- Badillo, M., Calderón, C., Garnica, A., Salazar, C., Arceo, D., Robles, J., . . . Gallardo, A. (2020). *Guía de los Servicios ecosistémicos del manglar*. Yucatán: UNAM.
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y Cambio Climático*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Carvajal, M., Herrera, Á., Valdéz, B., & Campos, R. (2019). Manglares y sus Servicios Ecosistémicos: hacia un Desarrollo Sostenible. *Gestión y Ambiente*, 278-286.
- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. (27 de Marzo de 2019). *Conexión Cinvestav*. Obtenido de Manglares ayudan a mitigar cambio climático: <https://conexion.cinvestav.mx/COVID-19/Contenido-COVID-19/manglares-ayudan-a-mitigar-cambio-clim225tico#:~:text=En%20esta%20din%C3%A1mica%2C%20los%20manglares,de%20convertirse%20en%20CO2>.
- Cifuentes, M., Rivera, C., Magaña, J., Mazariegos, S., & Gómez, D. (2018). *Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador*. Turrialba: CATIE.
- Cifuentes-Jara, M. (28 de Julio de 2020). Contexto regional y nacional de los manglares, la importancia del uso sostenible para la prestación de servicios ecosistémicos desde lo global hasta lo local. Turrialba, Cartago, Costa Rica.
- Congreso de la República de Guatemala. (1996). *Ley Forestal*. Guatemala: Diario Oficial.
- Congreso de la República de Guatemala. (2015). *Ley PROBOSQUE*. Guatemala: Diario Oficial.

- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 227-240.
- Díaz, J. (2011). Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. *Ra Ximhai*, 355-369.
- Domínguez, M., & Martínez, P. (2019). Beneficios ambientales, usos forestales maderables y no maderables del manglar en la planicie costera. En A. Cruz, J. Medina, J. Valero, F. Rodríguez, E. Melgarejo, E. Mata, & D. Palma, *La biodiversidad en Tabasco: Estudio de Estado* (págs. 243-247). México D.F.: CONABIO.
- Flores, P. (10 de Mayo de 2022). El mangle: un aliado contra el cambio climático. *Plaza Pública*, págs. Versión digital: <https://www.plazapublica.com.gt/content/el-mangle-un-aliado-contra-el-cambio-climatico#:~:text=El%20mangle%20almacena%20hasta%20el,que%20genera%20el%20cambio%20clim%C3%Altico>.
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J., Kennedy, H., Megonigal, J., Rahman, A., . . . Simard, M. (2010). *Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos*. Estados Unidos: The Blue Carbon Initiative.
- Garrett, C. (25 de Marzo de 2022). *Selectra climate*. Obtenido de Efecto invernadero: causas y consecuencias en el clima: <https://climate.selectra.com/es/que-es/efecto-invernadero>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., . . . Duke, N. (2010). Estado y distribución de los bosques de manglares usando los datos de observación satelital de la Tierra. En A. Bates, M. Dornelas, & R. Field, *Ecología global y biogeografía* (págs. 154-159). New Jersey: Wiley - Blackwell.
- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J., & Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: Origen y consecuencias. *Ciencia UANL*, 377-386.
- INAB. (2019). *Especies Arbóreas en los ecosistemas de manglar de Guatemala*. Guatemala.
- INECC-PNUD. (2017). *Estudio para la identificación, caracterización y evaluación del balance entre las emisiones de GEIs y las zonas de captura y almacenamiento de carbono en zonas de ecosistemas costero/marinos del Pacífico, Golfo de México y la Península de Yucatán*. Ciudad de México: Programa Nacional del Carbono.

- Instituto Nacional de Bosques. (2011). *Base de datos de PPMF del ecosistema manglar del país*. Guatemala: INAB.
- Instituto Nacional de Bosques. (16 de Febrero de 2022). *INAB*. Obtenido de Acerca del INAB: <https://www.inab.gob.gt/index.php/quienes-somos>
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. (2021). *Actual ecosistema manglar en Honduras*. Tegucigalpa: ICF.
- Jaramillo, V. (2007). *El ciclo global del carbono*. Ciudad de México: INECC.
- Johnson, R. (7 de Noviembre de 2010). *Ventanas al Universo*. Obtenido de Ciclo del Carbono: https://www.windows2universe.org/earth/Water/co2_cycle.html&lang=sp
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of. *Journal of Tropical Ecology*, 471-477.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. (4 de Septiembre de 2019). *Blue Carbon Event*. Obtenido de Carbono Azul en El Salvador: Avances y perspectivas: <https://www2.cifor.org/wp-content/uploads/blue-carbon-event/Day2/4.%20El%20Salvador%20Carbono%20Azul.pdf>
- Mongabay Latam. (5 de Mayo de 2020). *Mongabay*. Obtenido de Guatemala: la estrategia que sostiene la conservación de los manglares: <https://es.mongabay.com/2020/05/guatemala-conservacion-de-manglares/>
- ONU. (1992). *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. New York: Secretaría General de las Naciones Unidas.
- Organismo Ejecutivo de Guatemala. (2019). *Reglamento para el manejo sostenible del recurso forestal del ecosistema Manglar*. Guatemala: INAB.

- Organización de Alimentos y Agricultura de Estados Unidos. (2007). *Los manglares del mundo*. Estados Unidos: FAO.
- Paz-Pellat, F., Hernández-Ayón, J., Sosa, R., & Velásquez, A. (2019). *Estado del ciclo del carbono en México: Agenda azul y verde*. Ciudad de México: Programa Mexicano del Carbono.
- Pérez de Madrid, M., López, D., Padilla, A., Ramírez, O., & Montes de Oca, J. (2018). *Protección, conservación y gestión de los manglares*. San José, C.R.: UICN.
- Rodríguez, C., & Ramírez, M. (2018). Dinámica de la cobertura de manglar y del carbono asociado en Sipacate-Naranjo, Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático*, 17-26.
- Sanchez, M. S. (1992). *Determinación de la edad y tasa de crecimiento de Rhizophora mangle L. por medio del estudio anatómico de la madera en los esteros de San José Chiquirin, Mazatenango, Suchitepéquez*. Recuperado el 16 de abril de 2019, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1467.pdf
- SEMARNAT. (2017). *La importancia del carbono azul*. Ciudad de México: Gobierno de México.
- SIFGUA. (22 de Mayo de 2022). *Sistema de Información Forestal de Guatemala*. Obtenido de Ecosistema manglar: <https://www.sifgua.org.gt/SIFGUAData/PaginasEstadisticas/Recursos-forestales/mangle.aspx>
- Villalba, J. (2006). *Los manglares en el mundo y en Colombia: Estudio descriptivo básico*. Cauca: Sociedad Geográfica de Colombia.
- von Prael, H. (1989). *Manglares*. Bogotá: Banco de Occidente.
- Wetlands International Panamá. (13 de Enero de 2017). *La Importancia de los Manglares para el Cambio Climático*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=FfQgq8RwPcQ>
- Zacarías, C. (s.f.). Fotografía. *Manchón Guamuchal*. INAB, Retalhuleu.

VII. Anexos

Tabla 3. Resumen de la cuantificación de carbono contenido en el componente arbóreo de cada proyecto.

Departamento/proyecto/especie	Diámetro promedio	Altura promedio	Densidad (Arb/Ha)	tC/Ha/proyecto
Escuintla	11.38	9.99	124,960.00	623.83
92-0178-2.3.5-2020	7.28	8.95	28,600.00	82.02
<i>Laguncularia racemosa (L.) Gaertn f.*</i>	7.28	8.95	28,440.00	81.54
<i>Lonchocarpus costarricensis</i>	5.00	7.00	20.00	0.02
<i>Pithecellobium dulce</i>	7.83	8.83	120.00	0.33
<i>Sapindus saponaria L.</i>	12.00	11.00	20.00	0.13
92-126-2.3-2007	14.74	17.95	36,040.00	308.99
<i>Avicennia germinans (L.)*</i>	16.29	14.81	800.00	6.24
<i>Laguncularia racemosa (L.) Gaertn f.*</i>	15.44	19.12	1,960.00	15.00
<i>Rhizophora mangle L.*</i>	14.66	17.96	33,280.00	287.76
92-406-2.3.5-2017	9.85	6.15	18,620.00	89.86
<i>Coccoloba belizensis</i>	15.33	4.00	60.00	0.29
<i>Guazuma ulmifolia</i>	14.00	8.00	20.00	0.08
<i>Laguncularia racemosa (L.) Gaertn f.*</i>	7.74	4.58	14,660.00	24.30
<i>No especificada</i>	9.88	5.63	320.00	0.60
<i>Pachira aquatica</i>	15.33	11.42	1,620.00	13.81
<i>Rhizophora mangle L.*</i>	21.02	13.73	1,940.00	50.78
IX-2-018-2006-MBNPt-PINFOR-INAB	11.98	5.54	41,700.00	142.97
<i>Laguncularia racemosa (L.) Gaertn f.*</i>	11.98	5.54	41,700.00	142.97
Retalhuleu	16.53	12.47	266,736.25	1,624.75
93-0108-2.3.5-2020	93-0108-2.3.5-2020	13.08	14,240.00	101.07
<i>Annona glabra</i>	14.09	11.60	200.00	0.84
<i>Avicennia germinans (L.)*</i>	15.34	17.57	280.00	2.09
<i>Conocarpus erectus L.</i>	22.05	16.22	180.00	4.56
<i>Laguncularia racemosa (L.) Gaertn f.*</i>	13.66	13.86	8,020.00	45.91
<i>Pachira aquatica</i>	19.57	12.23	1,460.00	14.85
<i>Rhizophora mangle L.*</i>	13.78	11.47	4,100.00	32.82

93-0109-2.3.5-2020	16.52	11.19	10,100.00	103.67
<i>Annona glabra</i>	17.63	11.58	240.00	1.76
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	17.00	10.86	1,140.00	12.42
<i>Coccoloba belizensis</i>	18.87	10.89	180.00	1.68
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	16.32	10.64	280.00	2.21
<i>Ficus insípida</i>	22.73	10.00	140.00	1.91
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	15.35	11.70	3,940.00	30.86
<i>Lonchocarpus costarricensis</i>	19.78	10.00	120.00	1.14
No especificada	28.00	13.00	20.00	0.38
<i>Pachira aquatica</i>	18.47	12.13	320.00	2.77
<i>Pithecellobium dulce</i>	15.23	10.91	440.00	2.20
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	16.62	10.80	2,980.00	42.24
<i>Salix alba</i>	10.80	10.00	20.00	0.04
<i>Sterculia apetala</i>	22.61	10.29	280.00	4.05
93-0110-2.3.5-2020	19.67	13.46	15,380.00	230.42
<i>Annona glabra</i>	15.85	11.81	860.00	4.74
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	28.60	11.50	40.00	1.68
<i>Ceiba pentandra</i>	164.00	23.00	20.00	23.59
<i>Coccoloba belizensis</i>	16.53	11.72	840.00	5.35
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	17.50	12.79	780.00	7.63
<i>Lonchocarpus costarricensis</i>	15.33	12.05	780.00	4.26
<i>Pachira aquatica</i>	22.25	14.36	7,360.00	119.73
<i>Pithecellobium dulce</i>	20.87	11.33	180.00	2.01
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	17.24	13.10	4,240.00	59.86
<i>Schinus molle</i>	15.62	12.21	280.00	1.58
93-0111-2.3.5-2020	20.30	12.65	10,820.00	237.77
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	22.91	12.96	5,220.00	134.63
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	34.80	14.90	580.00	39.20
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	14.69	12.27	3,860.00	25.97
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	19.97	11.38	1,160.00	37.96

93-0112-2.3.5-2020	17.48	14.43	7,660.00	109.84
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	24.44	13.89	1,480.00	38.60
<i>Coccoloba belizensis</i>	13.34	14.75	80.00	0.28
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	15.00	17.47	1,540.00	10.84
<i>Lonchocarpus costarricensis</i>	14.28	14.67	180.00	0.79
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	17.34	13.73	3,460.00	56.71
<i>Sterculia apetala</i>	11.97	12.78	920.00	2.61
93-0118-2.3.5-2020	15.38	14.25	11,940.00	97.07
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	19.41	15.09	1,500.00	13.86
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	14.74	15.03	2,280.00	10.72
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	14.79	13.87	7,860.00	71.39
<i>Sterculia apetala</i>	15.58	14.00	300.00	1.09
93-0337-2.3.5-2019	15.86	18.49	53,620.00	98.62
<i>Annona scleroderma</i>	12.00	5.50	40.00	0.02
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	16.23	19.92	22,600.00	36.73
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	13.55	15.53	18,240.00	19.06
<i>Pachira aquatica</i>	13.23	9.31	1,300.00	0.91
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	19.14	21.46	11,440.00	41.89
93-193-2.3.5-2019	23.96	13.08	12,580.00	278.10
<i>Annona glabra</i>	15.75	11.22	720.00	3.84
<i>Annona scleroderma</i>	14.50	10.50	40.00	0.16
<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	12.70	10.00	20.00	0.06
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	31.52	17.07	280.00	12.78
<i>Castilla elástica</i>	61.00	20.00	20.00	2.32
<i>Coccoloba belizensis</i>	14.25	10.59	680.00	2.95
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	13.80	8.75	160.00	0.80
<i>Diphysa spinosa</i>	12.90	12.00	60.00	0.19
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	56.47	21.83	120.00	18.52
<i>Ficus insípida</i>	22.50	11.50	40.00	0.46
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	17.62	12.35	520.00	5.11
<i>Lonchocarpus costarricensis</i>	19.40	12.73	520.00	5.29
No especificada	30.05	11.38	160.00	6.27
<i>Pachira aquatica</i>	27.07	13.82	7,520.00	194.78
<i>Pithecellobium dulce</i>	20.32	10.70	200.00	2.10
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	17.72	11.65	1,440.00	21.66
<i>Salix alba</i>	20.33	6.50	80.00	0.80

93-194-2.3.5-2019	19.49	12.61	12,020.00	159.40
<i>Albizia adinocephala</i>	26.00	15.00	20.00	0.32
<i>Andira jamaicensis</i>	51.00	16.00	20.00	1.53
<i>Annona scleroderma</i>	15.44	11.91	220.00	1.21
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	25.35	14.00	280.00	9.80
<i>Ceiba pentandra</i>	22.00	8.00	20.00	0.22
<i>Coccoloba belizensis</i>	15.97	11.15	980.00	5.72
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	17.24	11.76	580.00	7.07
<i>Ficus insípida</i>	25.90	12.00	20.00	0.31
<i>Guazuma ulmifolia</i>	14.10	10.00	40.00	0.17
<i>Hevea nitida</i>	15.75	15.00	40.00	0.24
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	16.38	11.97	2,160.00	19.36
<i>Lonchocarpus costarricensis</i>	15.57	11.60	700.00	4.00
<i>Pachira aquatica</i>	22.90	13.78	5,320.00	93.25
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	17.40	11.11	940.00	12.97
<i>Schinus molle</i>	14.68	11.06	680.00	3.24
93-236-2.3.5-2019	14.95	6.85	3,800.00	46.73
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	14.10	6.10	200.00	2.02
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	19.13	7.25	160.00	3.72
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	14.89	6.73	2,880.00	36.49
No especificada	10.00	5.00	40.00	0.12
<i>Pithecellobium dulce</i>	14.69	7.85	520.00	4.38
93-237-2.3.5-2019	15.76	8.78	3,220.00	59.99
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	30.00	10.22	180.00	11.94
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	10.00	6.00	20.00	0.09
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	14.55	8.38	2,560.00	33.35
<i>Pithecellobium dulce</i>	15.75	5.75	80.00	0.81
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	17.47	11.53	380.00	13.80
IX-3-003-2007-MBNPt-PINFOR-INAB	16.15	11.50	111,356.25	102.07
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	21.86	10.49	618.75	0.74
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	15.05	8.09	25,881.25	13.58
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	13.34	9.87	21,393.75	9.11
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	17.49	13.45	63,462.50	78.64

Santa Rosa	19.10	14.03	15,200.00	579.47
42-0398-2.3.5-2020	19.50	10.18	2,540.00	82.20
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	26.86	13.00	140.00	7.49
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	17.43	9.17	1,400.00	27.60
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	21.38	11.20	1,000.00	47.12
42-422-2.3.5-2017	17.02	13.25	4,260.00	111.63
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	17.11	13.28	3,660.00	95.81
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	17.75	14.00	80.00	2.17
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	16.06	12.69	360.00	7.93
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	16.75	13.44	160.00	5.72
42-423-2.3.5-2017	22.34	17.68	2,160.00	124.47
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	22.36	17.68	1,000.00	49.02
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	20.93	17.14	140.00	6.11
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	19.25	16.50	240.00	8.24
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	23.50	18.14	780.00	61.09
42-424-2.3.5-2017	25.24	18.03	2,260.00	171.67
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	25.90	18.20	1,000.00	68.86
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	24.06	17.88	160.00	9.52
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	22.71	17.25	240.00	12.27
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	25.39	18.08	860.00	81.02
42-425-2.3.5-2017	15.83	13.08	3,980.00	89.50
<i>Avicennia germinans</i> (L.)*	16.12	13.21	2,540.00	58.66
<i>Conocarpus erectus</i> L.*	13.95	12.36	220.00	3.51
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn f.*	15.63	13.01	980.00	20.64
<i>Rhizophora mangle</i> L.*	15.38	12.63	240.00	6.69

Nota: Tabla generada con base en la información recopilada. *Especies manglares.



Instituto Nacional de Bosques
Màs bosques. Màs vida

¡Síguenos!



www.inab.gob.gt

