

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

FORMATO DE INFORME FINAL

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial -PUIDI-

Estimación de carbono azul del componente suelo en el ecosistema de manglar Las Lisas-La Barrona en el Pacífico de Guatemala.

nombre del proyecto de investigación

B3CU2021

código del proyecto de investigación

Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas -IIH-, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Coordinador: Pedro Julio García Chacón

Investigador: Jorge Antonio Morales Aguilar

Auxiliar de investigación I: Daniel Paiz González

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala 25 de marzo del 2022

Contraportada

Autoridades

Dr. Hugo Pérez Noriega

Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán

Coordinadora del Programa de Investigación

Autores

Coordinador del proyecto: Pedro Julio García Chacón

Investigadora: Irene Franco Arenales

Investigador: Jorge Antonio Morales Aguilar

Auxiliar de investigación I: Daniel Paiz Gonzáles

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código B3CU2021 en el Programa Universitario de Investigación de Investigación en Desarrollo Industrial -PUIDI-.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Índice general

1.	Resumen	6
2.	Abstract and keyword	7
3.	Introducción	8
4.	Planteamiento del problema	10
5.	Delimitación en tiempo y espacio	12
6.	Marco teórico	12
7.	Estado del arte	15
8.	Objetivos	20
9.	Materiales y métodos	20
10.	Resultados y discusión	25
11.	Referencias	48
12.	Vinculación	52
13.	Estrategias de difusión y divulgación	52
14.	Aporte de la investigación a los ODS	52
15.	Declaración del Coordinador del proyecto de investigación	53
16.	Aval de la Directora del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-	53
17.	Visado de la Dirección General de Investigación -Digi-	54

Índice de tablas

Tabla 1.	Parámetros promedio de propiedades del suelo entre sitios	37
Tabla 2.	Análisis de correlación entre propiedades del suelo	38
Tabla 3.	Análisis de correlación entre propiedades del suelo	40
Tabla 4.	Valores promedio en porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo de los tres sitios evaluados	41
Tabla 5.	Análisis de varianza de un factor para porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo de los tres sitios evaluados.	41
Tabla 6.	Prueba de medias de Tukey	42
Tabla 7.	Análisis de similaridad de sitios para captura de COS	42
Tabla 8.	Captura de Carbono Orgánico o Carbono Azul, en tres sitios de muestreo diferenciados por la especie de mangle presente	44

Índice de figuras

Figura 1.	Diagrama de flujo	23
Figura 2.	Delimitación espacial del área de estudio	25
Figura 3.	Cobertura de manglar por especie en el área de estudio	26
Figura 4.	Ortomosaico del sitio Los Macizos, dominado por mangle negro	27
Figura 5.	<i>Avicennia germinans (L.)L.</i>	28
Figura 6.	Ortomosaico del sitio Mangle Blanco, dominado por mangle blanco	28
Figura 7.	<i>Laguncularia racemosa (L.)Gaertn. F.</i>	29
Figura 8.	Ortomosaico del sitio La Barrona, dominado por mangle rojo	30
Figura 9.	<i>Rhizophora mangle L.</i>	31
Figura 10.	Secado de las muestras	31
Figura 11.	Procesamiento de las muestras en el laboratorio	32
Figura 12.	Aspecto de las muestras de suelo, obtenida con nucleadores de acero inoxidable	32
Figura 13.	Densidad del suelo de los sitios de muestreo para determinación de Carbono Orgánico del suelo COS	33
Figura 14.	Comparación del pH del suelo entre sitios y a diferentes profundidades	34
Figura 15.	Tendencia del fósforo entre sitios y profundidad	35
Figura 16.	Comparación de la concentración de sodio entre profundidad y sitios	35
Figura 17.	Comparación de la concentración de Nitrógeno entre sitios	36
Figura 18.	Comparación de la relación Carbono/Nitrógeno	37
Figura 19.	Comparación de la materia orgánica MO en %, entre sitios a diferentes profundidades	39
Figura 20.	Comparación del CO en %, entre sitios a diferentes profundidades	40
Figura 21.	Análisis de similaridad de sitios basado en los parámetros de calidad del suelo	43

1. Resumen y palabras claves

Los manglares son bosques halófitos facultativos que protegen a las zonas costeras de múltiples amenazas tanto naturales como humanas. Sin embargo, su cobertura ha disminuido de forma alarmante con altas tasas de deforestación, cada año a nivel mundial. Al perderse se libera el carbono que ha sido capturado durante muchos años.

El carbono azul capturado, ha sido poco investigado, es por ello por lo que, en esta investigación sobre las reservas de CO en tres sitios de muestreo se pretende contribuir al conocimiento de este importante tema a nivel de manglares en el suroriente del Pacífico de Guatemala, determinando la composición y propiedades del sedimento, cuantificación de acuerdo a las diferentes especies presentes en el área y las áreas con mayor reserva de carbono orgánico.

Para lo anterior se cubrió un área de aproximadamente 2235.52 ha de manglar, y se utilizaron nucleadores tipo Hoffer para la extracción de muestras de los perfiles, analizando propiedades fisicoquímicas, y principalmente el porcentaje de Carbono Orgánico mediante la metodología de Walkley & Black modificado.

Luego de haber determinado la cobertura total de mangle, la cual fue de 2,235.52 ha se determinó que existe un total de 675,392.16 Mg de COS de los cuales el sitio Mangle rojo fue el mayor con un COS fue de 569,220.60 Mg, mangle negro un COS fue de 104,081.84 Mg y por último mangle blanco un COS de 2,089.72 Mg. Con lo anterior se capitaliza la captura de Carbono Azul para el suroriente del Pacífico de Guatemala y se contribuye al escaso conocimiento sobre el mismo a nivel nacional e internacional.

Palabras clave: carbono azul, ecosistema de manglar, propiedades del suelo, reservas de carbono orgánico.

2. Abstract and keyword

3. Introducción

Las zonas marino-costeras son estratégicas para la biodiversidad ya que proporciona una serie de servicios ecosistémicos de los que dependen las comunidades costeras para su sobrevivencia, entre estos servicios están la provisión de alimentos, refugio para la vida silvestre, zonas de cría para especies amenazadas, reciclaje de nutrientes, protección contra tormentas, entre otros. Los ecosistemas marino-costeros son de los más amenazados a nivel mundial, algunos autores han estimado que se pierden entre 340,000 y 980,000 ha cada año (Sifleet, S. et al., 2011). En general se considera una pérdida de hasta del 67% de la distribución histórica mundial de los manglares (Pendleton et al., 2012).

Recientemente los ecosistemas costeros han sido reconocidos porque juegan un papel trascendental en la captura de carbono, además de que potencialmente son fuentes de emisiones de carbono cuando se degradan. Los ecosistemas de manglar en particular son reconocidos además por su rol en la adaptación y mitigación de los impactos del cambio climático, por su alta capacidad de secuestro y almacenamiento de carbono azul considerado crítico para la mitigación (Cifuentes-Jaraet al., 2018).

El concepto de carbono azul se refiere al carbono acumulado en el suelo, la biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (hojarasca y madera seca) de manglares, marismas y pastos marinos (Mcleod et al., 2011). Se ha estimado que el carbono azul queda secuestrado en la biomasa vegetal viviente por periodos relativamente cortos, por años hasta décadas, sin embargo, en los suelos queda atrapado por periodos muy largo hasta miles de años, lo que da lugar a grandes sumideros de carbono (Duarte et al., 2005; Lo Iacono et al., 2008).

Publicaciones recientes han resaltado la importancia de los ecosistemas costeros y marinos en su función de secuestro y almacenamiento de carbono. Se hace énfasis en que el C secuestrado especialmente por lo manglares y otros ecosistemas costeros es mucho mayor que en los ecosistemas terrestres, en parte debido a su eficiencia en la captura de materia suspendida y orgánicos asociados, por lo tanto, es un argumento suficiente para su conservación, protección y restauración, pero se hace necesario generar conocimiento para comprender los mecanismos subyacentes del secuestro de C en estos ambientes (Mcleod et al., 2011).

Para Guatemala una de las áreas más emblemáticas de este ecosistema es el humedal Las Lisas-La Barrona, que ha sido propuesta como área de conservación con categoría de usos múltiples, a través del Proyecto de Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y está ubicada en los municipios de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa y Pasaco, del departamento de Jutiapa (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018).

Esta zona es reconocida por su importancia natural y cultural, porque posee sitios de alta significancia para la productividad de los ecosistemas marinos y costeros que son utilizados como refugio de especies en peligro de extinción y en estado crítico de conservación. Sus características particulares hacen de esta zona un sitio importante para el desarrollo socioeconómico tanto de las comunidades costeras por sus prácticas artesanales locales, como de otra variedad de sectores productivos (PNUD, 2018). Sin embargo, es un área bajo presiones de origen antropogénico, especialmente por el cambio en el uso del suelo, por actividades agropecuarias como, cultivo caña de azúcar, camaronicultura, infraestructura turística, contaminación por descargas de aguas residuales, desechos sólidos, entre otros, que han traído como consecuencia pérdida de cobertura y conectividad del ecosistema.

El proyecto de investigación fue desarrollado en esta área denominada Las Lisas-La Barrona, ubicada en el Pacífico sur oriente de Guatemala y los resultados generados contribuyen al conocimiento de las reservas de carbono azul almacenado en el componente suelo del ecosistema de manglar para los cual se establecieron sitios de muestreo, los cuales se determinarán de acuerdo con criterios relacionadas principalmente con la dominancia de especies de manglar. Los principales resultados obtenidos, establecen la cuantificación del Corg del suelo, la determinación de las diferencias de almacenamiento de carbono en el suelo de acuerdo con las especies y el establecimiento del área con mayor reserva. La finalidad de este proyecto de investigación fue generar información que se traduzca en un aporte a las estrategias de protección, conservación y restauración de este importante ecosistema.

4. Planteamiento del problema

Los manglares son ecosistemas costeros de suma importancia para la biodiversidad marino-costera, ya que proporcionan un hábitat crítico para especies terrestres, marinas y costeras, son zonas de cría para muchas, además de que en ellos ocurren una serie de procesos ecológicos (Instituto Nacional de Bosques [INAB] & PNUD, 2018). Por otro lado, los bienes y servicios ecosistémicos vitales de los que son proveedores para la sobrevivencia de las poblaciones humanas.

Algunos estudios científicos han resaltado la importancia de los bosques de manglar en la regulación del ciclo biogeoquímico del carbono y otros nutrientes en los ecosistemas costeros, considerando que de esta función depende también del grado de desarrollo y conservación del bosque, lo que a su vez influye en la composición y propiedades de sus suelos (Otero et al., 2017).

Por otro lado, desde el año 2001 el Panel Intergubernamental de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en la evaluación que realizan sobre las tendencias en el incremento de dióxido de carbono, indicó que la captura y almacenamiento de las emisiones de CO² por las plantas puede ser una de las alternativas menos costosas para la reducción de dichas emisiones. En este sentido los humedales costeros representan una oportunidad significativa para su almacenamiento, entre ellos los ecosistemas de manglar (Moreno et al., 2002).

Estudios que se han realizado en diferentes partes del mundo, reconocen a los manglares como uno de los principales sumideros de carbono azul (Herrera Silveira et al., 2016). Por lo tanto, se ha empezado a valorar y reconocer como un ecosistema con altas capacidad de secuestro y acumulación de carbono orgánico, el cual es crítico para la mitigación de los efectos del cambio climático. La cuantificación de lo que se conoce como “carbono azul” se refiere a las existencias de carbono que se encuentran en manglares, marismas saladas y pastos marinos, que pueden llegar a ser hasta cinco veces mayores que las que comúnmente se encuentran en los bosques tropicales terrestres (Donato et al., 2011).

Se han hecho estimaciones que indican que los manglares en el trópico pueden almacenar hasta 1,123 MgC·ha⁻¹ en promedio; de los cuales entre el 50 y 90% del almacén total de carbono está en el suelo, mientras que en los pastos marinos y marismas suele ser mayor al 90% (Donato et al., 2011). Al ser

perturbados por el cambio de uso del suelo y la deforestación liberan CO₂ y otros gases de efecto invernadero como metano y óxido nitroso que contribuyen al cambio climático (Kauffman et al., 2013) (Romero-Berny et al., 2016).

En la actualidad los manglares son ecosistema de “gran interés para las estrategias de mitigación al cambio climático como REDD+ (Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y degradación) y el aumento de las reservas forestales de carbono” (p. 3). Debido a su capacidad significativamente alta de almacenamiento de carbono, los manglares son considerados ecosistemas clave en este tipo de estrategias que han despertado mucho interés a nivel mundial (Kauffman et al., 2013).

Uno de los servicios ecosistémicos de suma importancia del ecosistema de manglar y que ha sido poco estudiado en Guatemala, es su rol en la captura y almacenamiento de carbono orgánico. Existen algunos esfuerzos de investigación que se han realizado en el Pacífico, sin embargo, los vacíos de información referente a la cuantificación de carbono azul, almacenado en los ecosistemas de manglar, aún representa un reto para que se establezcan medidas efectivas de conservación y restauración de este ecosistema estratégico para la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático en las zonas marino-costeras.

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

Este proyecto tuvo una duración de 11 meses, iniciando el 01 de febrero y finalizando el 31 de diciembre del 2021. Se realizó un muestreo por sitio, para un total de cinco muestreos en el periodo de ejecución del proyecto.

5.2 Delimitación espacial

El proyecto de investigación se llevó a cabo en el área de conservación Las Lisas-La Barrona, en el Pacífico sur oriente de Guatemala, tiene una extensión aproximada de 104,059 hectáreas (ha), de las cuales 101, 847.61 ha son en el área marina y 2,211.88 ha terrestres (PNUD, 2018). Esta área está ubicada entre el municipio de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa y los municipios de Pasaco y Moyuta del departamento de Jutiapa. Es un humedal costero que se encuentra localizado en la parte baja de la cuenca del río Paz y del río Los Esclavos, en el litoral del Pacífico. Ambos departamentos Santa Rosa y Jutiapa tiene una cobertura de manglar de aproximadamente 6,053.72 ha (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], 2013). De las cuales se ha considerado como zona de conservación estricta de mangle 967.42 ha (PNUD, 2018).

6. Marco teórico

6.1 Ecosistema de manglar

Los manglares forman parte de la vegetación arbórea y arbustiva de la zona de mareas en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, y se consideran plantas halófilas facultativas. Además, son considerados uno de los ecosistemas más importantes por su alta productividad que se ha estimado alcanza más de 25 toneladas de peso seco por hectárea cada año. Este ecosistema se encuentra localizado en el ecotono entre los ambientes marino y terrestre, lo que le permite crecer a diferentes salinidades desde ambientes de agua dulce hasta hipersalinos, pero se ha establecido que alcanzan su máximo desarrollo en condiciones salobres (Agráz-Hernández et al., 2006).

Los manglares dependen de las aguas terrestres o de mareas para su nutrimento y de los suelos costeros y los depósitos de sedimentos provenientes de la erosión de tierras arriba como sub-estrato para establecerse. Las mareas nutren al bosque y los sedimentos ricos en minerales arrastrados por los

ríos enriquecen las marismas. En conclusión, los manglares obtienen su forma y naturaleza tanto de influencias terrestres como marinas (Food and Agriculture Organization [FAO], 1994).

La ubicación estratégica de estos humedales en la interfase tierra-mar conectan e interrelacionan el ambiente marino-costero con el paisaje terrestre-costero, desde un punto de vista ecológico, pero también de impactos ambientales. Aun cuando los manglares predominan en zonas de mayor influencia de sedimentos de origen terrestre (deltas fluviales, lagunas costeras y estuarios), también pueden ser encontrados en la línea de costa, con limitada o nula influencia de drenaje de aguas continentales de tipo superficial. Esta heterogeneidad de hábitats y contrastes hidrológicos, fisiográficos y geomorfológicos da como que los ecosistemas de manglar sean tan particulares, cada uno con características específicas de estructura y función (ribereño, de borde, de cuenca o enanos) (Yáñez, et al., 1999).

Estos humedales se caracterizan por tener suelos de tipo hidromorfo, por el efecto de la saturación del agua. En general pueden ser de dos tipos: orgánicos y minerales. Éste último es muy compacto, de color gris y con manchas rojizas o amarillas, debido a los procesos químicos que ocurren en suelos inundados. Por otro lado, los suelos orgánicos, presentan una capa con altos porcentajes de materia orgánica, la cual está conformada por todos los restos de plantas y animales acumulados y en proceso de descomposición, presentan muchos espacios entre las partículas de suelo y son de color café oscuro. Todos los poros que existen entre las partículas de suelo orgánico están llenos de agua. “El suelo del humedal puede contener hasta nueve veces su peso en agua” (p. 30) (Moreno-Casasola & Infante Mata, 2016).

6.2 Carbono azul

Se reconoce como el carbono orgánico almacenado en los ecosistemas marinos y costeros como lo son manglares, marismas y pastos marinos, los que secuestran y almacenan grandes cantidades de carbono azul. Los hábitats costeros representan aproximadamente la mitad del carbono total secuestrado en los sedimentos oceánicos, según la Iniciativa Internacional del Carbono Azul.

Se encuentra acumulado en el suelo, la biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (por ejemplo, hojarasca y madera seca) de manglares, marismas y pastos marinos (McLeod et al., 2011). El carbono azul queda secuestrado en la biomasa vegetal viviente por períodos relativamente cortos (desde años hasta décadas) y el carbono secuestrado en los suelos costeros puede ser considerable y puede quedar atrapado por períodos muy largos (desde siglos hasta miles de años) (Duarte et al., 2005; Lo Iacono et al., 2008).

En los sistemas de carbono azul, el suelo está saturado con agua que lo mantiene en un estado anaeróbico (bajo nivel de oxígeno o sin oxígeno) y aumenta constantemente en forma vertical a gran velocidad, lo que da lugar a una acumulación continua de carbono a través del tiempo (Chmura et al., 2003).

El carbono que se encuentra en los ecosistemas de carbono azul puede clasificarse como autóctono o alóctono. El de origen autóctono se produce y se deposita en el mismo lugar mientras que el alóctono se produce en un lugar y se deposita en otro.

Los ecosistemas de carbono azul se presentan en entornos hidrodinámicamente muy activos, a merced constante de olas, mareas y corrientes costeras que transportan sedimentos y el carbono orgánico asociado de los ecosistemas adyacentes (lejos de la orilla o terrestres). La vegetación que se encuentra en estos sistemas cuenta con complejas estructuras radiculares y dodeles eficientes para la captura de sedimentos a medida que estos se desplazan a través del sistema, lo que suma, como resultado, a la reserva local de carbono. (Howard et al., 2018, p. 19).

La proporción de carbono que se origina dentro del ecosistema en comparación con el que se capta de fuentes externas varía entre los sistemas de carbono azul. En las praderas de pastos marinos, se estima que el 50 % del carbono acumulado en el suelo puede ser de origen externo (alóctono) (Kennedy et al., 2010), mientras que la mayor parte del carbono secuestrado en sistemas de manglares y marismas es producido directamente por las plantas dentro del sistema (autóctono) (Middleton & McKee, 2001). No obstante, en algunas circunstancias existen importantes aportes de origen alóctono en manglares y

marismas, derivados de ecosistemas adyacentes terrestres o marinos (Adame et al., 2012; Bouillon et al., 2003; Middelburg et al., 1997).

6.3 Inventario de carbono azul en manglares y selección de los sitios de muestreo según el Manual Centroamericano para la medición de carbono azul en manglares del Programa Regional de Cambio Climático, CATIE.

Para la medición de carbono azul en manglares se deben considerar los siguientes pasos:

1. Definir los límites espaciales y temporales de un proyecto
2. Delimitar los objetivos y el ámbito de las inferencias.
3. Definir la estratificación del área para controlar la variación en los datos recopilados. La resolución y el detalle de la estratificación son relativos a la escala y los objetivos del estudio.
4. Decidir cuáles depósitos de carbono del ecosistema deben ser medidos y monitoreados.
5. Diseñar un inventario que permita definir el tipo, número y ubicación de las unidades muestrales.
6. Determinar la frecuencia de las mediciones.
7. Ejecutar el trabajo de campo.
8. Preparar las muestras y realizar los análisis de laboratorio.
9. Calcular las existencias de carbono y realizar inferencias espaciales y temporales.

7. Estado del arte

En Guatemala, los manglares se ubican en las costas del Caribe, Pacífico y en el departamento de Petén (zona interna del continente), estos bosques se caracterizan por crecer en áreas inundadas por las aguas que aportan los océanos y ríos. Se contabilizan aproximadamente 25,089 hectáreas (ha), 90.73% de las cuales se encuentran frente al Océano Pacífico, distribuidas en los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa; en el Atlántico el único departamento con cobertura de manglar es Izabal, con 2,324 ha que representan el 9.26% restante (Zacarías-Coxic, C. J., 2019).

En el país el bosque de manglar está compuesto por seis especies: *Avicennia bicolor* Standl, *Avicennia germinans* (L.) L., *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa* (L.) CFGaertn., *Rhizophora*

mangle L., *Rhizophora racemosa* G. Mey (Zacarías-Coxic, C. J., 2019). La principal es el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mientras que el mangle blanco (*Laguncularia racemosa* L. Gaertn.f.) es el segundo más común. Siguen los manglares negros (*Avicennia germinans* L.) y botoncillo (*Conocarpus erectus* L.) que ocupan áreas menores (INAB & PNUD, 2018).

Se ha documentado que el ecosistema de manglar provee una serie de servicios ambientales importantes para la biodiversidad y el bienestar y sobrevivencia de las comunidades costeras; uno de ellos es el secuestro y almacenamiento de carbono orgánico. Por lo tanto, a través de diferentes investigaciones se ha evidenciado la importancia que tienen los manglares como sumideros de carbono azul.

La Iniciativa Internacional del Carbono Azul, es un programa integrado por UNESCO, Conservación Internacional (CI) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), enfocado en mitigar los efectos del cambio climático global a través de la conservación y restauración de los ecosistemas costeros y marino. Según esta iniciativa los hábitats costeros representan la mitad del total de carbono secuestrado en los sedimentos oceánicos. Por ejemplo, solo los manglares pueden almacenar más carbono por área que los bosques terrestres.

En la zona oeste del estado de Tabasco, México se realizó un estudio para cuantificar la reserva de carbono, hacer una caracterización fisicoquímica y clasificar taxonómicamente los suelos orgánicos con presencia de mangle, considerando que el manejo forestal y de humedales representa una oportunidad para el almacenamiento de carbono. Se define que, en los suelos orgánicos en manglares, los promedios de descomposición son bajos y tiene un alto potencial de almacenamiento de carbono, por lo que representan una alternativa para el secuestro de carbono. En esta investigación la cuantificación de carbono orgánico fue en el bosque de *Rhizophora mangle* L. y *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, obteniendo como resultado que el contenido de carbono fluctúa entre 47 kg C m⁻² y 82 kg C m⁻², demostrando el potencial de este ecosistema como reservorio de carbono azul (Moreno Cáliz et al., 2002).

En un estudio publicado en el 2011, en una amplia área de la región Indo-Pacífico, se cuantificó todo el stock de carbono contenido en los árboles, biomasa muerta y en el suelo, de veinticinco diferentes

bosques de manglar abarcando 30° de latitud y 73° de longitud, donde el área de manglar y la diversidad era mayor. Los datos generados indican que los manglares se encuentran entre los bosques más ricos en carbono en los trópicos, que contiene en promedio 1,023 Mg de carbono por hectárea. Los suelos ricos en materia orgánica oscilaron entre 0.5 m y más de 3 m de profundidad y representaron el 49-98% del almacenamiento de carbono en estos sistemas. Al combinar la información generada por este estudio con otra información publicada, los autores estimaron que la deforestación de manglares genera emisiones de 0.02-0.12 Pg de carbono por año, tanto como el 10% de las emisiones por la deforestación global, a pesar de cubrir un área solamente del 0.7% de los bosques tropicales (Donato et al., 2011).

Según un estudio realizado en la Península de Yucatán, México, los humedales costeros pueden tener reservas de carbono excepcionalmente grandes por lo que su conservación y restauración es vital para la mitigación de los efectos del cambio climático. Por lo tanto, es necesaria la cuantificación de estas reservas para calcular emisiones y el secuestro en el tiempo. Este estudio obtuvo como resultado la cuantificación de C de humedales costeros en la Reserva de Biósfera Ka'an, para ello se estratificó el área de acuerdo con el tipo de vegetación (manglares altos, medianos y enanos) y pantanos, y se examinaron la relación entre las variables ambientales con los stocks de C. En 9 sitios dentro de la Reserva, se cuantificó los stocks de C en el ecosistema, en el componente aéreo y subterráneo, así como en la biomasa aérea muerta y el suelo. Además, se midió nitrógeno, fósforo del suelo y salinidad intersticial. Los resultados reflejaron que los manglares altos tuvieron las mayores reservas de C ($987 \pm 338 \text{ Mg ha}^{-1}$) seguidos por manglares medianos ($623 \pm 41 \text{ Mg ha}^{-1}$), manglares enanos ($381 \pm 52 \text{ Mg ha}^{-1}$) y pantanos ($177 \pm 73 \text{ Mg ha}^{-1}$). En todos los sitios, el suelo comprendió el mayor stock de C del ecosistema del 78 al 99%, además se determinó que, en esta Reserva, los humedales costeros, principalmente los manglares representan importantes reservas de C y pueden almacenar de 43.2 a 58.0 millones de Mg de C (Adame et al., 2013).

En la Reserva de Biósfera La Encrucijada localizada en la costa del Pacífico de México, se realizaron mediciones de las reservas de carbono y las tasas de secuestro con el objetivo de incorporar los humedales en programas de conservación y restauración para prevenir las emisiones de carbono. En este estudio se evaluó el carbono en diferentes componentes, biomasa aérea viva, biomasa aérea

muerta y el carbono en el suelo. De acuerdo con los resultados obtenidos, los humedales ribereños mostraron grandes reservas de C con una media de $784.5 \pm 73.5 \text{ MgC ha}^{-1}$, para manglares, $722.2 \pm 83.4 \text{ MgC ha}^{-1}$, y para pantanos de turba $336.5 \pm 38.3 \text{ MgC ha}^{-1}$. Los stocks de C y de N en el suelo fueron en general más grandes para las tierras altas ($833.0 \pm 7.2 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $26.4 \pm 0.5 \text{ Mg N ha}^{-1}$) comparado con los manglares de tierras bajas ($659.5 \pm 18.6 \text{ MgC ha}^{-1}$; $13.8 \pm 2.0 \text{ MgN ha}^{-1}$) (Adame et al., 2015).

Según estudios realizados en México, los mayores almacenes de C_{org} total se localizan en el Golfo de México y en los manglares tipo ribereño ($>1200 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Existe menos información sobre flujos de C_{org} , dominando los relacionados con la caída de hojarasca. Observándose los valores más altos en la zona del Pacífico Sur y en el manglar ribereño (Herrera Silveira et al., 2016).

En el Caribe Colombiano, en un área marina protegida, se llevó a cabo una investigación, con el objetivo de estimar a través de ecuaciones alométricas el contenido de carbono en la biomasa aérea de las especies *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. Se estudiaron 30 individuos de cada especie y se construyó un modelo alométrico para estimar el C en la biomasa aérea. El resultado de biomasa aérea en el bosque de manglar fue de $129.69 \pm 20.24 \text{ Mg/ha}$ equivalente a $64.85 \pm 10.12 \text{ MgC/ha}$. El área protegida tiene un área de 8570.9 ha de manglares y se estimó que el potencial total almacenado era de aproximadamente 555,795.93 Mg C. Por último, las ecuaciones generadas en este estudio se consideran una alternativa para evaluar las reservas de carbono en biomasa aérea en otras zonas de manglares en Colombia (Yepes et al., 2016).

En un estudio desarrollado en la costa de Venezuela, se realizó un muestreo intensivo para caracterizar los suelos del manglar en diferentes ambientes (laguna y golfo) y vegetación (especies de manglar- y manglar muerto). Para comprender mejor la heterogeneidad espacial de la composición y características del suelo fueron analizados una gama amplia de atributos del suelo. Los resultados obtenidos indicaron que los suelos en general eran anóxicos, con un pH neutro y baja concentración de metales tóxicos, sin embargo, los parámetros de calidad como, por ejemplo, contenido de arcilla, carbono orgánico total, Fe, Al, y metales traza tóxicos variaron ampliamente en el suelo. Se resalta que los manglares presentaron un bajo contenido de Fe pirita debido a una limitación en los contenidos

de oxihidróxido de Fe, especialmente en suelos con mayor contenido de C orgánico (TOC > 15%). Finalmente, el manglar muerto mostró cantidades significativamente menores de TOC y fibras (en comparación con el bosque de manglar bien conservado), por lo tanto, se infiere que el stock de C en los suelos de manglar es muy sensible también al impacto natural, como ENSO (Otero et al., 2017). En un estudio realizado en el noreste de Brasil, se cuantificó la densidad de C orgánico del suelo en los manglares semiáridos tropicales comparado con otras unidades vegetales con el objetivo de comprender mejor el papel de los manglares semiáridos en el secuestro de C. La densidad del C orgánico en el suelo se cuantificó a una profundidad de suelo de 40 cm. De acuerdo con este estudio los manglares pueden considerarse el principal sumidero de C orgánico en el ambiente tropical semiárido, almacenando el doble de C orgánico por área que las otras unidades vegetales semiáridas, al considerar que, en la capa superior del suelo de 40 cm, hay casi 6 veces más C orgánico por área. Además, se determinó que los impactos antropogénicos en los manglares estudiados disminuyeron la densidad del C orgánico en el suelo resultando en una emisión de CO² de 4.94 ± 0.74 Tg, equivalente al 5.2% de la emisión anual de CO² de Brasil por combustibles fósiles. Comparado los manglares de las regiones tropicales húmedas, la densidad del C_{org} en el suelo en manglares tropicales semiáridos es considerablemente más bajo (Nóbrega et al., 2019).

En Guatemala han sido pocos los estudios documentados y publicados con respecto a las reservas de carbono en los ecosistemas marino-costeros, en particular en el manglar. En el año 2017 se realizó un estudio en el área de conservación Sipacate-Naranjo, en el Pacífico de Guatemala, que representa el 9.52% del área total de manglares en el Pacífico. Este trabajo consistió en estimar el carbono en el componente aéreo (biomasa de árboles vivos, madera caída y regeneración) y subterráneo (sedimento) del ecosistema de manglar. Los principales resultados estiman que la cantidad de carbono aéreo fue de 66.08 ± 3.39 MgC·ha⁻¹, mientras que la existencia subterránea hasta 200 cm de profundidad fue de 422.1 ± 68.51 MgC·ha⁻¹. A nivel de ecosistema, en el área de conservación Sipacate-Naranjo, las existencias de carbono son de 488.1 ± 71.90 MgC·ha⁻¹ (Rodríguez Hernández, 2017).

8. Objetivos

8.1 Objetivo general

- Contribuir al conocimiento de las reservas de carbono azul almacenado en el componente suelo del ecosistema de manglar en el área de conservación Las Lisas-La Barrona en el Pacífico de Guatemala, como forma de reconocer la importancia de su conservación.

8.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición y propiedades del suelo y su relación con las reservas de carbono azul
- Cuantificar la reserva de carbono orgánico almacenado en el componente suelo del ecosistema de manglar en el área de estudio como medida de carbono azul
- Determinar si existe diferencia en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de acuerdo con las especies de manglar establecidas en el área de estudio.
- Establecer las áreas con mayor reserva de carbono orgánico en el suelo dentro del área de conservación las Lisas-La Barrona.

9. Materiales y métodos

9.1 Enfoque de la investigación

Esta propuesta de investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que se estimó la cantidad de carbono orgánico almacenado en el componente suelo del ecosistema de manglar. Además, se describen las características del suelo y se establece la relación que existe entre los sitios de muestreo debido a la predominancia de las diferentes especies de manglar en relación con el almacenamiento de carbono en el área de estudio.

9.2 Método

El método que se aplicó fue el de estratificación y sondeo de perfiles a profundidad para la determinación de la captura de carbono azul y otras variables fisicoquímicas en suelos de manglares, mediante la utilización de nucleadores (barrenas tubo tipo Hoffer). Para la cuantificación de COS

(Carbono Orgánico del Suelo) se utilizó el método de Combustión Húmeda de Walkley & Black modificado. Para nitrógeno y carbono se utilizará un test normalizado para spectroquant. Estratificación del área de estudio: El área de estudio abarcó aproximadamente 2235.52 ha de manglar, por lo tanto, fue necesario dividir el área en estratos de acuerdo con la homogeneidad o heterogeneidad en términos de cobertura de mangle.

- Selección de los sitios de muestreo: Se establecieron 3 sitios de muestreo de acuerdo con la dominancia de las especies de manglar presentes en el área.
- Estimación de la muestra: Por cada sitio de muestreo se extrajeron 5 núcleos de muestra ubicados al azar de acuerdo con los siguientes criterios: influencia de la marea y dominancia de las especies de manglar del área.
- Frecuencia del muestreo: Se realizaron dos muestreos por sitio, debido a la dinámica propia de la captura de carbono en estos ecosistemas.

9.3 Recolección de información

9.3.1 Análisis geoespacial

Se realizó un estudio de carácter geográfico, de tipo analítico-cuantitativo en base a los resultados de los datos levantados en campo por sensores remoto con tecnología de DRON, acompañado de otros sensores de alta resolución espacial como lo son imágenes Planet, datos de campo con tecnología GPS, que sirvieron para ubicar los sitios de muestreos de suelos y generar los mapas necesarios para la interpretación espacial.

Se identificaron y localizaron los 3 sitios de muestreo:

- ✓ Sitio La Barrona: presenta dominancia de mangle rojo *Rhizophora mangle* L., además de tener influencia de la barra del mismo nombre. Localizado en las coordenadas geográficas 13°46'46.04" N – 90°12'7.81" W.
- ✓ Sitio Mangle blanco: con dominancia de *Laguncularia racemosa* (L.), y corresponde a un pequeño parche de esta especie ubicado en el área de playa. Localizado en las coordenadas 13°46'39.40" N – 90°12'25.55" W.
- ✓ Sitio Los Macizos: con dominancia de mangle negro *Avicennia germinans* (L.)L., y tiene influencia de asentamientos humanos y actividad agropecuaria. Localizado en las coordenadas 13°49'36.34" N – 90°18'42.74" W.

Se generó además un mapa de cobertura del bosque de manglar para la zona de estudio, que correspondió a 3 km hacia adentro de la costa y 20 km lineales desde el sitio Los Macizos a La Barrona, para correlacionar el potencial de carbono almacenado en el suelo por la cobertura de las especies de mangle presentes en el área de estudio.

9.3.2 Colecta de muestras de suelo

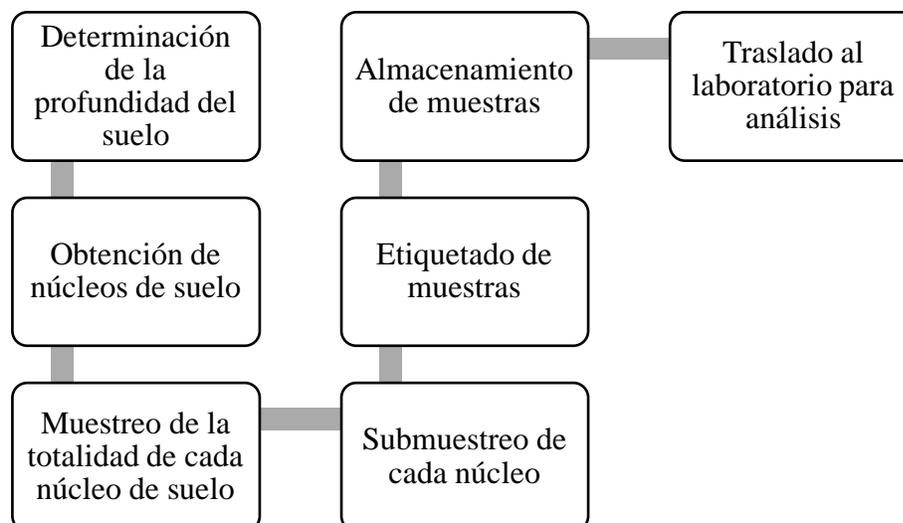
Para la colecta de muestras se utilizaron nucleadores (barrenas tubo tipo Hoffer) elaborados de acero inoxidable para evitar la alteración de la muestra. Por cada sitio de muestreo se extrajeron de 3 a 5 núcleos localizados al azar, cumpliendo con las siguientes condicionantes: que se ubicaran dentro del área de manglar, áreas no inundadas y libres de raíces, para hacer la extracción completa de los núcleos.

De cada núcleo se sacaron submuestras a distintas profundidades de acuerdo con lo recomendado por Kauffman y colaboradores (2011) y Donato y colaboradores (2011), obteniendo muestras de suelos a rangos de profundidad de 0–15 cm, 15–30 cm, 30–50 cm, 50–100 cm y >100 cm si fuera el caso y dependiendo de las condiciones del sitio. Para manglares estos intervalos de muestreo se consideran adecuados ya que el contenido de carbono por lo general cambia lentamente con la profundidad.

Cada muestra fue etiquetada identificando el sitio de muestreo, el número de núcleo y la profundidad de la muestra. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo



Nota. Adaptado de “Carbono azul costero: Métodos para evaluar las reservas de carbono y los factores de emisión en manglares, marismas de marea y praderas de pastos marinos” (Howard, et., 2014).

9.4 Técnicas e instrumentos

Para determinar la densidad aparente del suelo, se tomaron dos muestras no disturbadas por sitio, de volumen conocido a 30 cm de profundidad, que suele ser la profundidad de desarrollo radicular del mangle.

Para la obtención de las muestras que se enviaron al laboratorio para los diferentes análisis fisicoquímicos se procedió a extraer un kilogramo de muestra por estrato de cada uno de los 3 a 5 núcleos por sitio, mismas que fueron embaladas, etiquetadas y transportadas en menos de 24 horas a las instalaciones del laboratorio.

Análisis de laboratorio

Para manglares el método recomendado por Cifuentes-Jara y colaboradores (2018), es la combustión seca total. Este método permite determinar el porcentaje de concentración de carbono orgánico total sin tener que disponer de desechos líquidos, tóxicos o corrosivos. La muestra que se recibe en el laboratorio es de aproximadamente 100 g de muestra fresca, la cual se codifica para el ingreso a la cadena de custodia e inicio del proceso de análisis. La muestra se seca en horno a 40 °C, hasta que al agitarla ligeramente desprenda polvo. Una vez seca, se morteriza y se tamiza. Después de que la muestra se homogeniza y tamiza por malla de 2 mm se debe tomar una alícuota para tamizarla por una

malla de 0,250 mm (ASTM 60) antes de ser analizada. Esta submuestra debe morterizarse hasta que pase toda por el tamiz de 0,250 mm. Las muestras tamizadas por 0,250 mm se secan a 60 °C por al menos 24 horas y se conservan secas antes del análisis

En el método de combustión total consiste en oxidar la muestra en un reactor de alta temperatura en presencia de gas oxígeno de alta pureza. Los productos de dicha oxidación son gases y agua. Con una corriente de arrastre de helio los productos de oxidación pasan por un catalítico que remueve halógenos y óxidos de azufre. Luego pasan por un reactor-reductor que elimina el exceso de oxígeno. El exceso de agua es retenido con un absorbente antes de pasar por la columna cromatográfica que separa el CO₂ y N₂. Los gases son detectados por un diferencial de microcorrientes usando un detector de conductividad térmica y reportados como carbono y nitrógeno (Cifuentes-Jara et al., 2018). Para nitrógeno y fósforo se utilizó la prueba normalizada para spectroquant. Sin embargo, en el presente trabajo para la determinación de Carbono Orgánico se aplicó el Combustión Húmeda de Walkley & Black modificado.

9.5 Procesamiento y análisis de la información

El método general de análisis fue de tipo descriptivo, procediendo para ello a aplicar análisis estadístico en el siguiente orden:

- Codificación de las variables: Sitio-núcleo-muestra-carbono orgánico de suelo, código SIN1M1COS (SITIO1-NÚCLEO1-MUESTRA1-CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO).
- Corrida de las pruebas estadísticas:
 - ✓ Análisis de tendencia central y dispersión
 - ✓ Análisis de correlación entre variables
 - ✓ Análisis de similaridad de sitios o análisis clúster aplicando el índice euclidiano de distancias:

Para la generación de salidas de interpretación, tablas y figuras se utilizaron los programas past 4.03, Excel, Quantum GIS y ArcGis.

10. Resultados y discusión

10.1 Resultados

10.1.1 Descripción y cuantificación del área de estudio por sitio y por especie de mangle

- ✓ Área general del estudio: 5499.16 ha

Figura 2

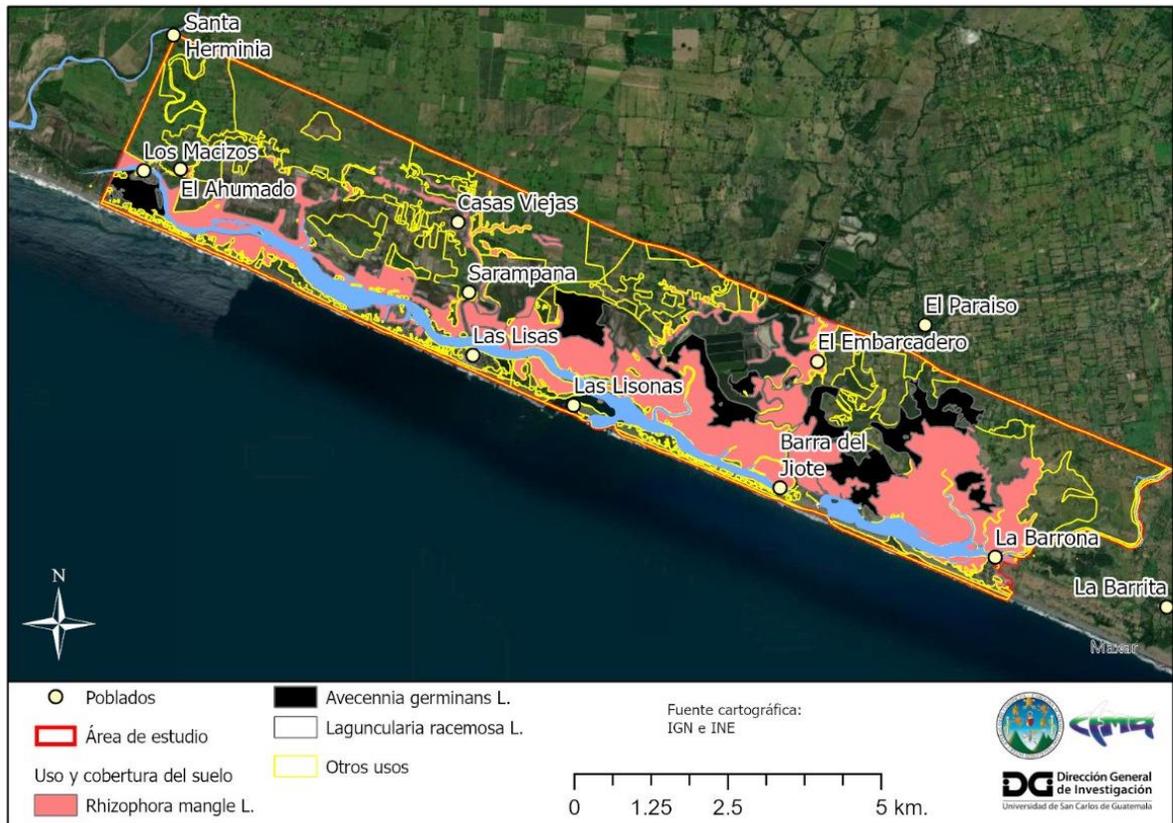
Delimitación espacial del área de estudio



- ✓ Área ocupada por manglares: 2235.52 ha

Figura 3

Cobertura de manglar por especie en el área de estudio

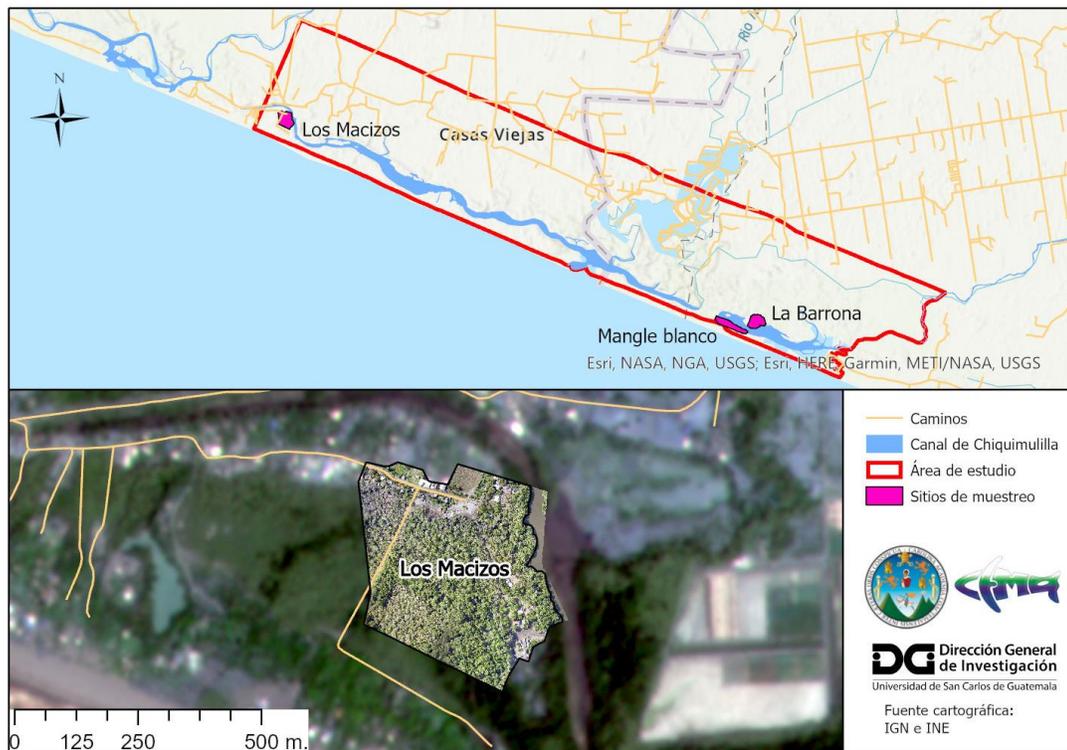


✓ Área por sitio de muestreo

- Sitio Los Macizos

Figura 4

Ortomosaico del sitio Los Macizos, dominado por mangle negro



Área del sitio, cubierta por el ortomosaico: 13.38 ha

Especie predominante: *Avicennia germinans* (L.)L. (mangle negro)

Figura 5

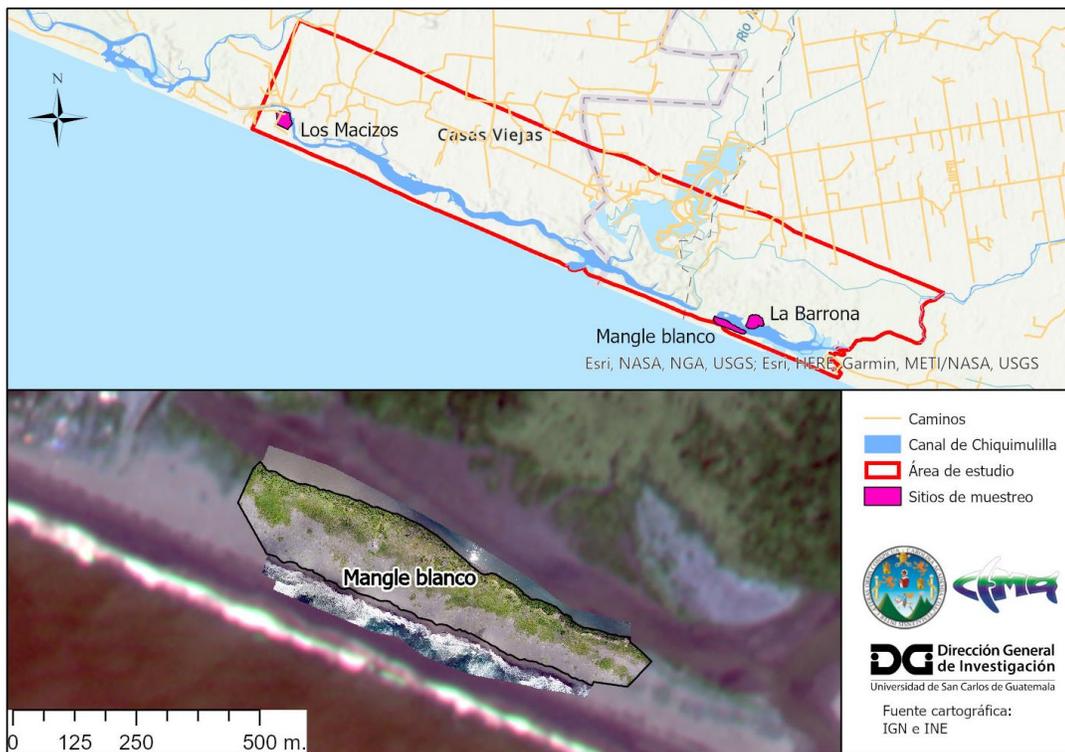
Avicennia germinans (L.)L.



- Sitio Mangle Blanco

Figura 6

Ortomosaico del sitio Mangle Blanco, dominado por mangle blanco



Área del sitio, cubierta por el ortomosaico: 2.47 ha.

Especie predominante: *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. (mangle blanco)

Figura 7

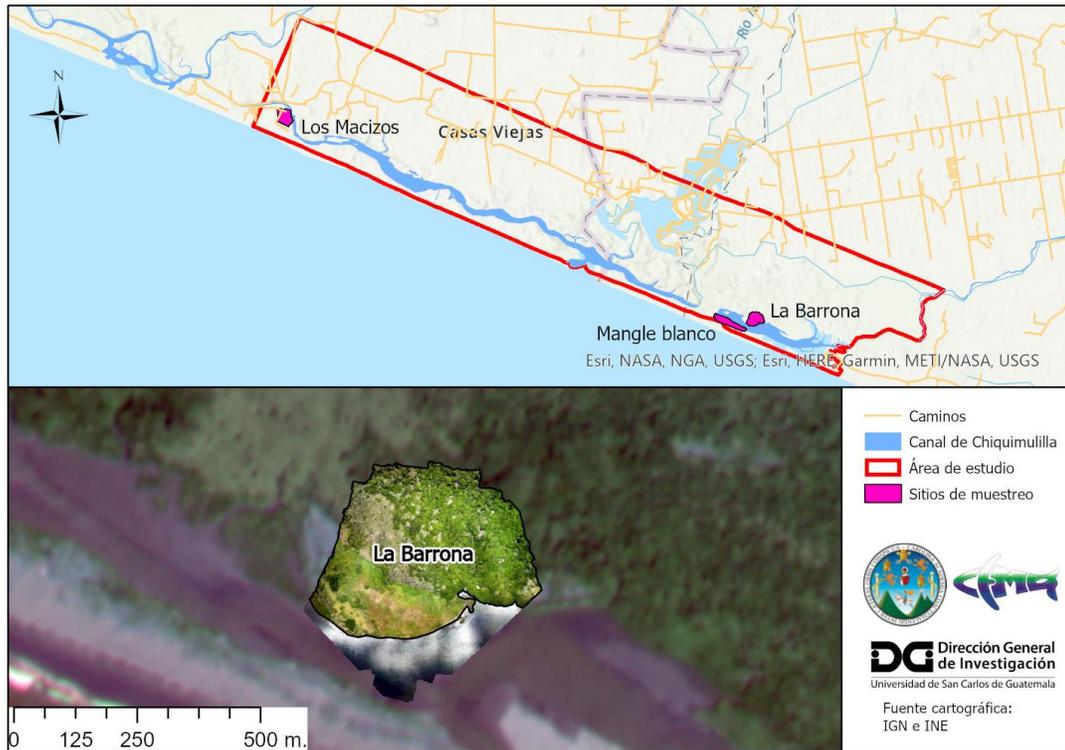
Laguncularia racemosa (L.) Gaertn. F.



- Sitio La Barrona

Figura 8

Ortomosaico del sitio La Barrona, dominado por mangle rojo



Área del sitio, cubierta por el ortomosaico: 11.83ha.

Especie predominante: *Rhizophora mangle L.* (mangle rojo)

Figura 9

Rhizophora mangle L.



10.1.2 Análisis de suelos

Luego de extraídas las muestras en campo se procesaron siguiendo las metodologías correspondientes con el secado, desagregado con mortero, tamizado y pesado.

Figura 10

Secado de las muestras



Figura 11

Procesamiento de las muestras en el laboratorio



- **Aspecto de las muestras de sedimento**

Como se observa en la figura 12, el aspecto de las muestras de sedimento corresponde a suelos sedimentarios de zonas costeras, que en el caso del Pacífico de Guatemala corresponde a sedimentos muchas veces sobre suelos fósiles o suelos los cuales se han ido diferenciando en su perfil, no tanto por evolución sino por deposiciones y dinámica de paleodunas que son la expresión de la dinámica mareal.

Las muestras en su mayoría con texturas francas y francoarenosas expresan el típico comportamiento de suelos inundados.

Figura 12

Aspecto de las muestras de suelo, obtenida con nucleadores de acero inoxidable



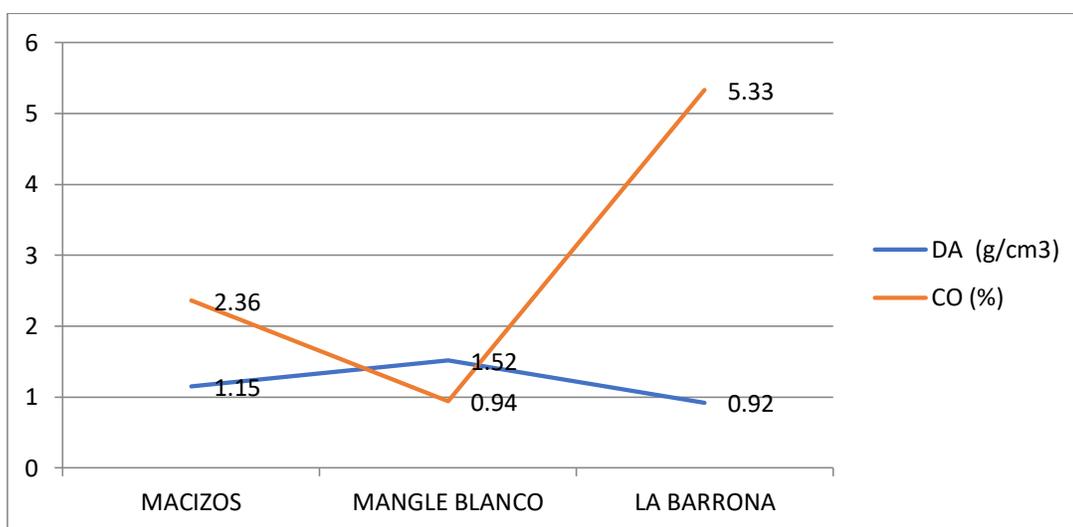
10.1.3 Características fisicoquímicas del sedimento

- Densidad del sedimento

La densidad del sedimento es una característica relevante, ya que permite dimensionar la relación peso/volumen. Esta propiedad es la base para el cálculo total del Carbono Orgánico del Suelo COS y en el presente caso del sedimento. Como puede apreciarse en la figura 13. La mayor densidad se encontró en el sitio conocido como Mangle Blanco 1.52 g/cm³ y la menor densidad en el sitio La Barrona con 0.92g/cm³.

Figura 13

Densidad del suelo de los sitios de muestreo para determinación de Carbono Orgánico del suelo COS.

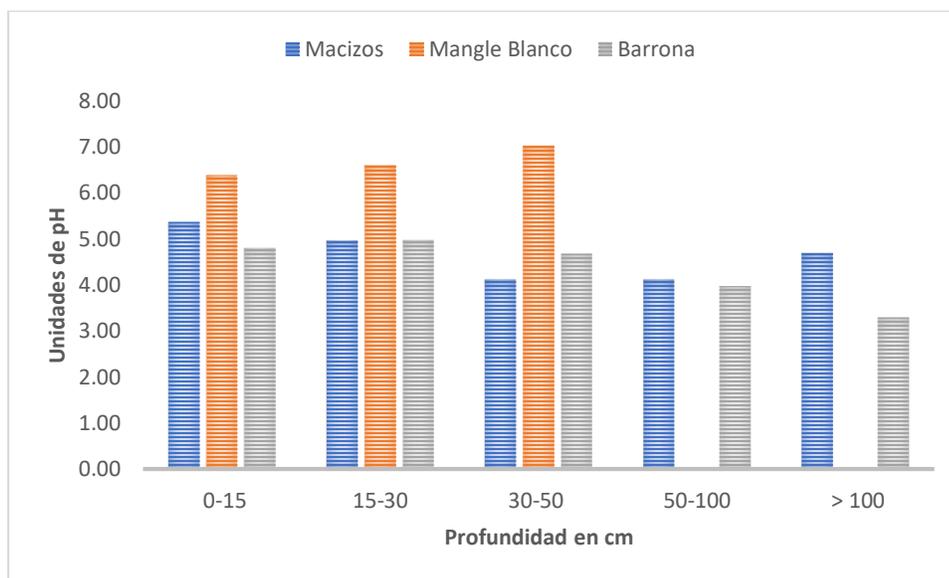


- pH suelo seco

Como puede observarse en la figura 14, el pH del suelo estuvo en rangos desde 3.84 hasta 6.82 en algunos casos, observándose una disminución de este en todos los sitios con la profundidad del perfil.

Figura 14

Comparación del pH del suelo entre sitios y a diferentes profundidades

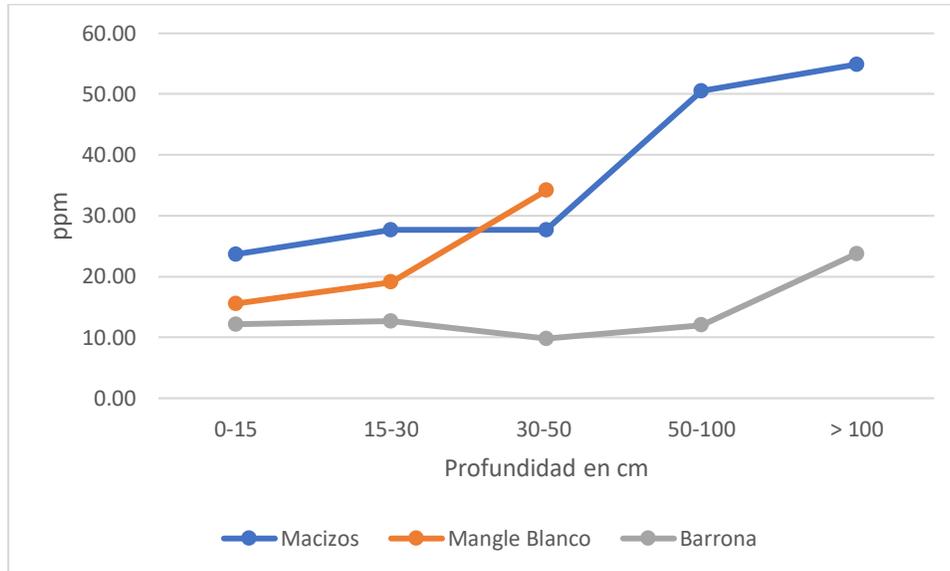


- Fósforo (P)

El fósforo que es un elemento muy importante en los suelos y en los sedimentos, y que además juega un papel importante en el transporte activo en la planta, tuvo valores que van desde las 9 ppm, hasta las 54 ppm en el caso del horizonte mayor de 100 cm en el sitio los macizos (figura 15).

Figura 15

Tendencia del fósforo entre sitios y profundidad

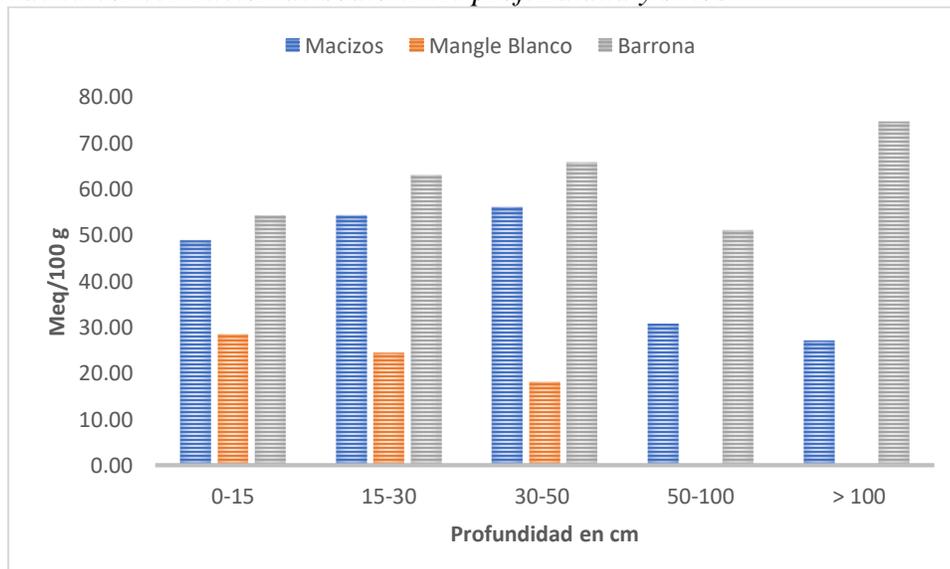


- Sodio (Na)

Como se aprecia en la figura 16 el sodio estuvo más alto en el sitio la Barrona en el cual hay predominancia de mangle rojo, principalmente después de los 100 cm. sin embargo es el sitio que tiene mayor dinámica mareal.

Figura 16

Comparación de la concentración de sodio entre profundidad y sitios

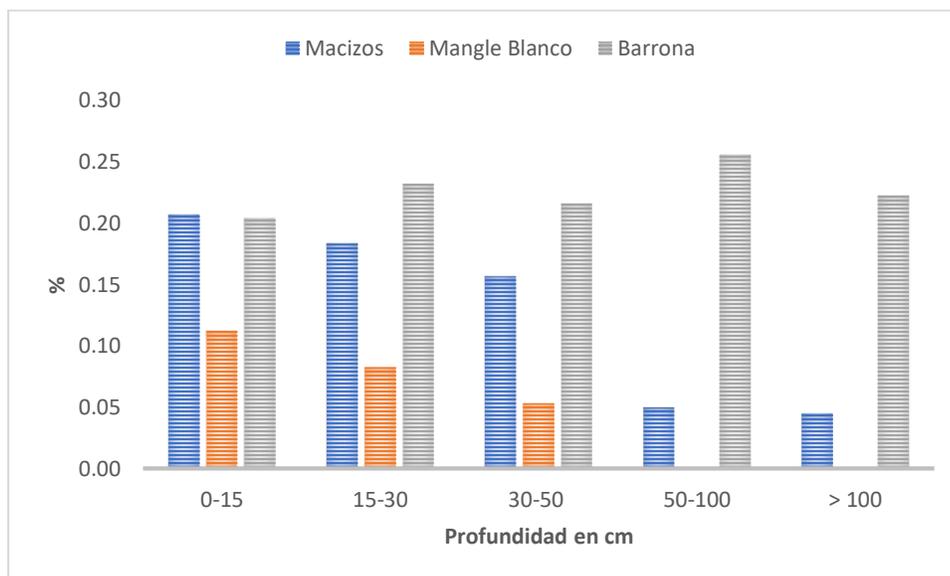


- Nitrógeno (N)

El nitrógeno, importante para el desarrollo de la planta, se mantuvo constante de 0.20 a 0.26% con la profundidad en el sitio la Barrona, que como se dijo anteriormente es el sitio con mayor dinámica mareal, por estar cerca de la bocabarra del mismo nombre. Similar situación se observa en el sitio Barra del Jote (figura 17).

Figura 17

Comparación de la concentración de Nitrógeno entre sitios

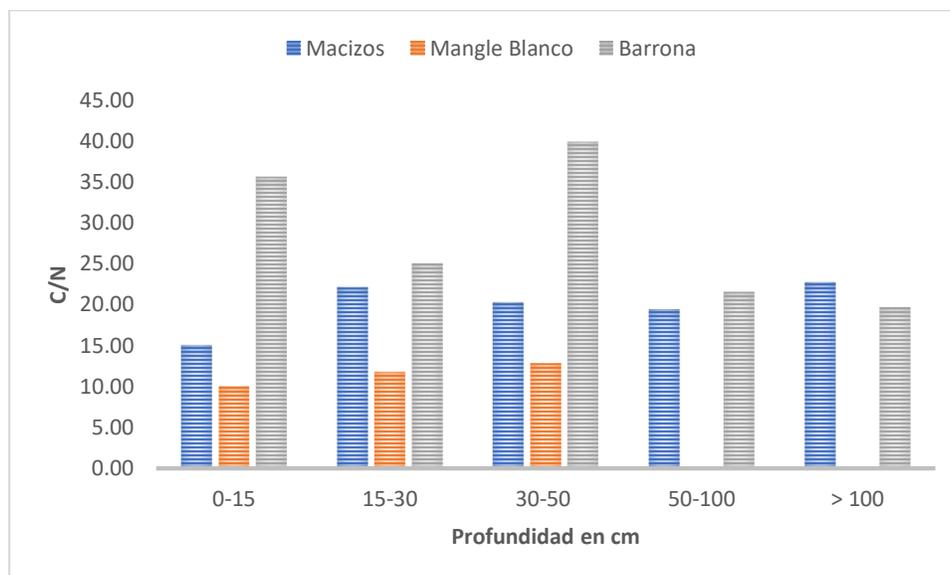


- Relación C/N

La relación C/N fue mayor en el sitio la Barrona, estando desde 19.68 a 39.9 y se mantuvo constante en todos los sitios (figura 18).

Figura 18

Comparación de la relación Carbono/Nitrógeno



10.1.4 Parámetros promedio de características del suelo

Como puede observarse en la tabla 1, el sitio con mayores concentraciones de fósforo P, es el sitio conocido como macizos, estas altas concentraciones pueden deberse a la mayor actividad agropecuaria en ese lugar, por otro lado, el sitio La Barrona presentó mayores porcentajes de materia orgánica, lo cual era de esperarse por ser este sitio con predominancia de mangle rojo, el que mayor desarrollo vegetativo presenta. Por otra parte, sus mayores concentraciones de calcio Ca y nitrógeno N, también favorecen un mejor desarrollo y ciclos más cortos de renovación del bosque. En relación con los valores de carbono orgánico es evidente que el sitio la Barrona también presenta los valores más altos de captura.

Tabla 1.

Parámetros promedio de propiedades del suelo entre sitios

Sitio	CO (%)	MO (%)	pH	P	Ca	Na	N	C/N
Macizos	2.36	4.61	4.66	36.87	4.87	43.48	0.13	19.87
Mangle Blanco	0.94	6.35	6.67	22.94	2.86	23.70	0.08	11.50
La Barrona	5.33	9.19	4.35	14.07	7.88	61.80	0.23	28.37

10.1.5 Análisis de correlación entre parámetros del suelo

Al realizar el análisis de correlación entre las propiedades del sedimento en cuatros sitios de muestreo se encontraron los siguientes coeficientes de correlación.

Se pudo establecer que existe alta relación positiva en los siguientes casos, CO, MO, Ca, Na, N y relación C/N. por otra parte existe correlación negativa entre el CO y el pH, así como del pH con la MO. También se estableció que el pH tiene una correlación negativa con N y C/N. por otra parte el C obtuvo alta correlación positiva con N y C/N (tabla 2).

Tabla 2.

Análisis de correlación entre propiedades del suelo

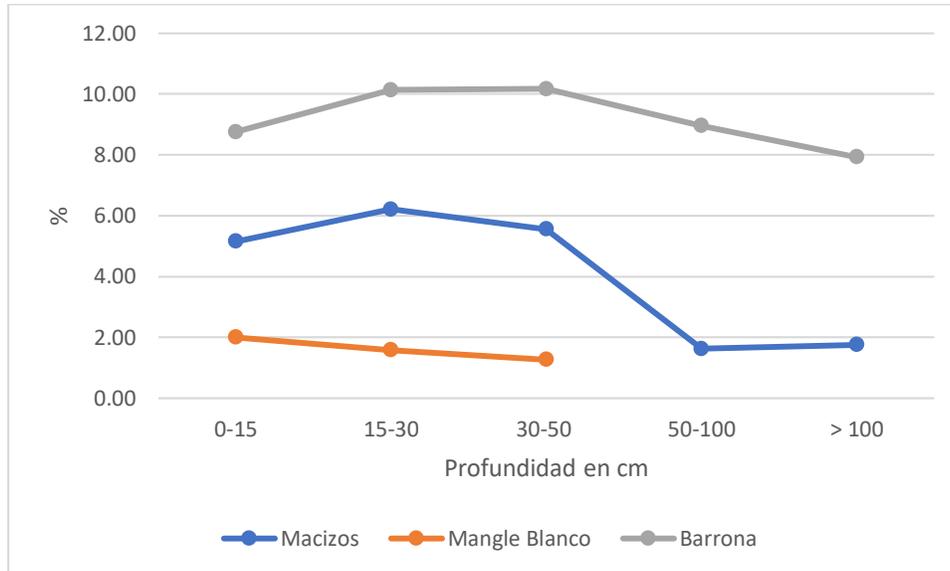
	CO	MO	pH	P	Ca	Na	N	C/N
CO	1							
MO	0,99912747	1						
pH	-0,74380996	-0,72557176	1					
P	-0,55680705	-0,54058842	0,18857632	1				
Ca	0,97605364	0,98343942	-0,6876629	-0,40551213	1			
Na	0,78606983	0,80882893	-0,48074986	-0,03708113	0,89861911	1		
N	0,99156562	0,9945941	-0,72408548	-0,47985068	0,9881321	0,84767032	1	
C/N	0,97950567	0,98009243	-0,79193326	-0,42183978	0,97987889	0,82210725	0,97218424	1

10.1.6 Materia orgánica del suelo

Como puede apreciarse en la figura 18, la materia orgánica tuvo un comportamiento muy distante entre sitios, lo cual se corresponde con mayores aportes en el sitio la Barrona donde hay predominancia de mangle rojo, disminuyendo hacia el sitio Los Macizos donde tenemos predominancia de mangle negro y por último porcentajes muy bajos en el sitio mangle blanco donde predomina esta especie.

Figura 19

Comparación de la materia orgánica MO en %, entre sitios a diferentes profundidades

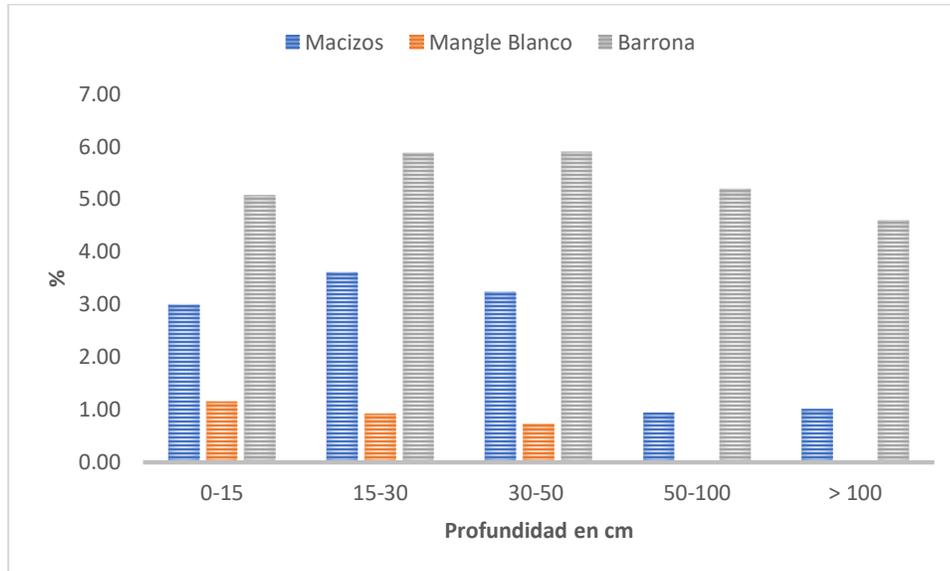


10.1.7 Carbono Orgánico del suelo

Como era de esperarse el sitio la Barrona presentó los más altos porcentajes de Carbono Orgánico CO con valores entre 4.6 y 5.9 %, mientras que el sitio Macizos estuvo más bajo que el sitio La Barrona con valores desde 0.94 hasta 3.6%. por último y con porcentajes más bajos tenemos al sitio Mangle Blanco con valores desde 0.73 a 1.16% y a poca profundidad (figura 20).

Figura 20

Comparación del CO en %, entre sitios a diferentes profundidades



Correlación CO, MO y pH

Tabla 3.

Análisis de correlación entre propiedades del suelo

	CO (%)	MO (%)	pH 0 15
CO (%)	1		
MO (%)	0,999999205	1	
pH	-0,824590821	-0,823876958	1

$r^2 = 0.67$

- Análisis de varianza de un factor para porcentaje de Carbono Orgánico en el sedimento de los tres sitios evaluados.

En la tabla 4 se puede observar que, al realizar el respectivo análisis de varianza para un factor, con un nivel de confiabilidad del 94% y una significancia del 5%, el valor F calculada es mayor que el valor crítico de F, en tal sentido existe diferencia en el porcentaje de Carbono Orgánico CO, entre los sitios.

Tabla 4.

Valores promedio en porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo de los tres sitios evaluados.

	Macizos	Mangle Blanco	La Barrona
r1	3.38	1.77	2.93
r2	2.47	0.57	7.70
r3	3.12	1.06	7.51
r4	4.39	0.80	3.12
r5	2.99	0.50	6.34
r6	3.43	0.99	8.71
Promedio	3.30	0.95	6.05

Tabla 5.

Análisis de varianza de un factor para porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo de los tres sitios evaluados.

Origen de las variables	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	78.29741111	2	39.14870556	17.572652	0.000117208	3.682320344
Error	33.4173	15	2.22782			
Total	111.7147111	17				

- Prueba de medias de Tukey para porcentaje de Carbono Orgánico en el sedimento de los tres sitios evaluados.

Al realizar la prueba de medias de Tukey para establecer la diferencia entre las medias de los sitios evaluados en relación con captura de carbono, se encontró que los tres sitios son diferentes, con valores de 3.3% para el sitio Macizos, 0.95% para el sitio Mangle Blanco 6.95 % para el sitio La Barrona. Basado en estos promedios y la prueba realizada se estableció que los tres sitios son diferentes (tabla 6).

Tabla 6.

Prueba de medias de Tukey

Tabla Tukey	3.67			
Error	2.22782			
N	6.00			
	gl			
Para tabla de Tukey	3	para tratamientos	en fila	
	15	para el error	en columna	
	Comparador			
Resultados Tukey	2.236			
Diferencias		Sitio Macizos	Sitio Mangle Blanco	Sitio La Barrona
		3.3	0.95	6.05
Sitio Macizos	3.3	0	2.35	-2.75
Sitio Mangle Blanco	0.95		0	-5.1
Sitio La Barrona	6.05			0

- **Análisis de similaridad de sitios para Captura de Carbono Orgánico del suelo (COS) y los parámetros de calidad del sedimento.**

Luego de haber realizado el análisis de similaridad de sitios, siguiendo el algoritmo de grupos pareados con índice de similaridad euclidiana, se encontró que el sitio Mangle blanco se separa totalmente como grupo, dejando al sitio La Barrona y el sitio Macizos en un grupo un tanto distante entre sí (tabla 7).

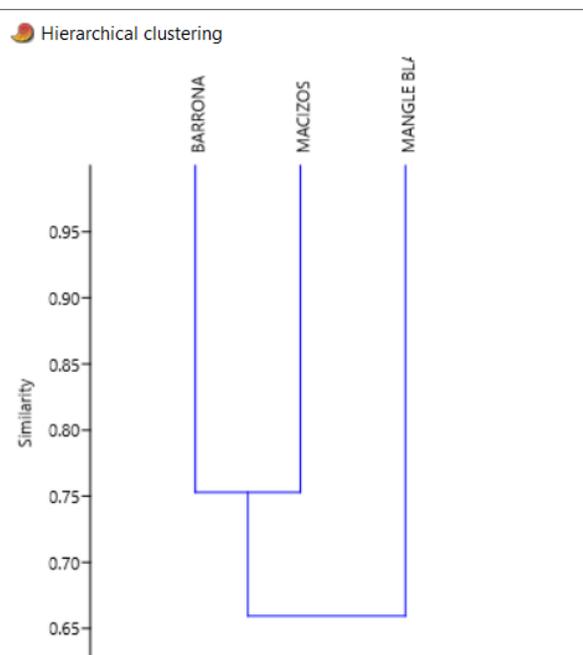
Tabla 7.

Análisis de similaridad de sitios para captura de COS

Sitio	CO (%)	MO (%)	pH	P	Ca	Na	N	C/N
Macizos	2.360000	4.060000	4.660000	36.870000	4.870000	43.480000	0.130000	19.850000
Mangle Blanco	0.940000	1.620000	6.670000	22.940000	2.860000	23.700000	0.080000	11.500000
La Barrona	5.330000	9.190000	4.350000	14.070000	7.880000	61.800000	0.230000	28.370000

Figura 21

Análisis de similitud de sitios basado en los parámetros de calidad del suelo



10.1.8 Captura de Carbono Orgánico del suelo (COS)

Como puede apreciarse en la tabla 8, la captura de CO en el sedimento tuvo su mayor valor en el sitio La Barrona, el cual tiene predominancia de mangle rojo *Rizophora mangle* con 490.36 Mg h⁻¹, seguido de Macizos, el cual tiene predominancia de mangle negro *Avicennia germinans* con 271.4 Mg h⁻¹ y el sitio con el menor valor fue el Mangle Blanco en el cual predomina *Laguncularia racemosa*, con un valor de 142.88 Mg h⁻¹.

Como se puede apreciar en la tabla 8, los Mg h⁻¹ de COS, se catalogan entre alto y muy alto, de acuerdo con Vela (2009) citado por Cifuentes (2018). Dicho resultado muestra que el sitio La Barrona con presencia de mangle rojo tiene mayores capturas en los primeros 30 cm de sedimento disminuyendo hacia el interior del núcleo.

Tabla 8.

Captura de Carbono Orgánico o Carbono Azul, en tres sitios de muestreo diferenciados por la especie de mangle presente

Sitio	COS (Mg ha-1)	Nivel
Macizos	271.40	Muy alto
Mangle Blanco	142.88	Alto
La Barrona	490.36	Muy alto

Luego de los análisis y de obtener los promedios de COS y el área ocupada por las diferentes especies dentro de la cobertura total de mangle, las cuales fueron de 2,235.52 ha se determinó un total de 675,392.16 Mg. En relación con el COS total por especie, en el caso mangle rojo el total de COS fue de 569,220.60 Mg, en el caso de mangle negro el total de COS fue de 104,081.84 Mg y por último mangle blanco el cual ocupa la menor captura, la cual fue de 2,089.72 Mg.

10.2 Discusión de resultados

Los manglares como ecosistemas costeros formadores de vida, son ecosistemas que cada día se ven presionados por las múltiples actividades que se desarrollan cuenca arriba y en los mismos ecosistemas, a nivel local.

El cambio climático global está impactando estos ecosistemas y lo hará con mayor fuerza en el futuro, Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2002), es necesario que se genere más información de la que ya existe, para mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento general de estos ecosistemas y en ello juega un papel sumamente importante la cuantificación del Carbono Orgánico o Carbono Azul.

La información existente y la que se pueda generar en el futuro sobre la distribución espacial de Carbono Orgánico y su inventario, son claves para la formulación de políticas de mitigación de gases de efecto de invernadero.

Los suelos y sedimentos costeros son conformaciones dinámicas que se forman y evolucionan de acuerdo con los aportes que reciben de los deltas de los ríos y la frecuencia mareal característica de la zona. Otro aspecto importante es el micro relieve presente en cada sitio.

A manera de iniciar la discusión de los resultados ,diremos que, el área de estudio ubicada en el sur oriente del Pacífico de Guatemala presenta variaciones en especies de cobertura mono específica de mangle, regularmente asociadas a la presencia de Sodio y la dinámica mareal, de esa cuenta encontramos las especies de mangle negro *Avicennia germinans* en el sitio los macizos, el cual se encuentra en suelos más secos y con concentraciones de Na, en Meq/100g en el núcleo de 1 metro se sedimentó fue menor 43.47 ± 19.25 Meq/100g, por otro lado sitio Mangle Blanco cuya especie dominante es precisamente Mangle Blanco situado en zona de playa con deposiciones de arena y con concentraciones de sodio menores que las otras dos especies 23.34 ± 13.33 Meq/100g y por último el sitio la Barrona , 61.975 ± 11.185 Meq/100g en relación a Na y que presenta una mayor dinámica de mareas.

Uno de los parámetros de gran importancia en la cuantificación del carbono azul, es la densidad aparente del sedimento, la cual fue mayor en el sitio Mangle Blanco, situado en zona de playa y menor en el sitio La Barrona, el cual se encuentra al interior del canal mareal de Chiquimulilla, esta propiedad está relacionada con el contenido de carbono en el sedimento ya que se pudo demostrar que, a menor densidad, el porcentaje de Carbono Orgánico aumenta $r^2 = 0.89$.

Por otro lado, como era de esperarse, en la medida que se profundizó en el sedimento, el pH descendió, condición que se manifestó en todos los sitios y que tiene relación negativa con la concentración de materia orgánica MO y carbono orgánico CO, $r^2 = 0.67$.

En el caso del fósforo P, fue más elevado en el sitio Macizos 25.67 ± 7.04 ppm, superando al sitio Mangle blanco 17.32 ± 8.21 ppm y al sitio la Barrona 12.41 ± 3.46 ppm, que fue el sitio con menor desviación estándar. El fósforo aumentó con la profundidad en todos los sitios, condición que desfavorece la formación vegetativa y por ende los aportes de materia orgánica en el sitio, al quedar fuera del alcance de las raíces del mangle, las cuales suelen ser superficiales.

Para efectos del objetivo principal del estudio se determinó que la materia orgánica MO en porcentaje fue mayor en el sitio La Barrona $10.135 \pm 2.715\%$, mientras que el sitio con menor porcentaje fue el sitio Mangle blanco $1.795 \pm 0.615\%$, esto coincide con el mayor desarrollo vegetativo que tiene el sitio La Barrona, donde predomina el mangle rojo, con una densidad aparente menor y con una mayor dinámica mareal.

Por otra parte, el carbono orgánico CO o Carbono Azul, al igual que la materia orgánica del sedimento en 30 cm de profundidad, mostró mayor captura en el sitio La Barrona con $5.87 \pm 1.59\%$ y el sitio con menor captura fue Mangle Blanco con $1.04 \pm 0.33\%$, sitio el cual se encuentra en zona de playa con árboles poco desarrollados y con una alta densidad aparente.

Por último, veremos el comportamiento de la captura de carbono orgánico total del sedimento el cual mantiene estrecha relación con la especie de mangle en el sitio, las propiedades del suelo y la dinámica vegetativa y mareal. En el sentido anterior observamos que al comparar los sitios por especie, el bosque de mangle rojo captura más carbono orgánico del suelo COS, encontrándose valores de $490.36 \text{ Mg ha}^{-1}$ en el sitio la Barrona, lo cual de acuerdo con Vela (2009), citado por Cifuentes y otros (2018) se considera muy alto y mayor que los $271.40 \text{ Mg ha}^{-1}$ encontrados en el sitio Macizos dominado por mangle negro, quedando en tercer lugar el sitio Mangle Blanco con 142.88 Mg/ha en un bosque poco desarrollado, con alta densidad aparente y presencia de arenas de playa. Estos valores coinciden con los encontrados por Herrera-Silveira, et al. (2018) para sedimentos de manglares del Área Nacional

Protegida la Encrucijada donde se encontraron valores en estuario inferior de 537 – 115 Mg ha⁻¹. Por otra parte, los datos también coinciden con los encontrados por Adame y colaboradores (2013), quienes encontraron capturas de Carbono en suelos de manglares altos con valores de 987 ± 338 Mg ha⁻¹, manglares medianos 623 ± 41 Mg h⁻¹ y manglares bajos o achaparrados de 381 ± 52 Mg ha⁻¹. Los datos encontrados en el presente estudio están por debajo de los reportados por Donato y colaboradores (2011), en suelos de manglares en el Indo Pacífico, cuyas profundidades oscilaron desde los 0.5 m hasta los 3 metros y donde se reportaron valores de 1,023 Mg ha⁻¹, representando del 49 al 98% del Carbono Orgánico almacenado.

Por otra parte, los datos encontrados en el presente estudio son mayores que los reportados por Paz Pellat y colaboradores (2016). 88.58 Mg ha⁻¹ para manglares tipo de vegetación primaria y 99.00 Mg ha⁻¹ para vegetación secundaria. De cualquier manera, las estimaciones de COS realizadas en la presente investigación dan valor a un recurso natural que hoy por hoy es significativo en el secuestro de Carbono el cual se perdería si llegara a ser removido, aumentando los aportes de gases de efecto de invernadero.

11. Referencias

- Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J.P., Reza, M., Herrera-Silveira, J.A. (2013). Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8(2), Artículo e56569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056569>
- Adame, M. F., Santini, N. S., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., & Castro, L. (2015). Carbon stocks and soil sequestration rates of riverine mangroves and freshwater wetlands. *Biogeosciences Discussions*, 12(2), 1015-1045. <https://doi.org/10.5194/bgd-12-1015-2015>
- Adame, M. F., Wright, S. F., Grinham, A., Lobb, K., Reymond, C. E., & Lovelock, C. E. (2012). Terrestrial-marine connectivity: Patterns of terrestrial soil carbon deposition in coastal sediments determined by analysis of glomalin related soil protein. *Limnology and Oceanography*, 57, 1492.
- Agráz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J., & Jiménez-Zacarías, J. J. (2006). *Guía de campo: Identificación de los manglares en México*. Universidad Autónoma de Campeche.
- Bouillon, S., Dahdouh-Guebas, F., Rao, A., Koedam, N., & Dehairs, F. (2003). Sources of organic carbon in mangrove sediments: Variability and possible ecological implications. *Hydrobiologia*, 495, 33-39. <https://doi.org/10.1023/A:1025411506526>
- Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R., & Lynch, J. C. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4), Artículo 1111.
- Cifuentes-Jara, M., Brenes, C., Leandro, P., Molina, O., Romero, T. E., Torres, D., & Velásquez, S. (2018). *Manual centroamericano para la medición de carbono azul en manglares* (Serie Técnica / Informe Técnico No. 141). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Donato, D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293-294. <https://doi.org/10.1038/NNGEO1123>
- Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2, 1-8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>, 2005.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1994). *Mangrove forest management guidelines* (FAO forestry paper 117).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2002). *Cambio Climático y Biodiversidad* (Documento Técnico No. 5).
- Herrera Silveira, J. A., Camacho R, A., Caamal S, J., Cinco C, S., Morales O, S.M., Ramírez R, J., Zenteno D, K., Pech P, E., Pech C, M., Carrillo B, L., Erosa A, J., Pérez M, O., & Teutli H, C. (2018). Base de datos de almacenamiento de carbono en los manglares de México. *Elementos para Políticas Públicas*, 1(4), 1-12
- Herrera Silveira, J. A., Camacho R., A., Pech, E., Pech, M., Ramírez R., J., & Teutli H., C. (2016). Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 61-72.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M. (Eds). (2014). *Carbono azul: Métodos para evaluar las reservas de carbono y los factores de emisión en manglares, marismas de marea y praderas de pastos marinos*. Conservation International; Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Instituto Nacional de Bosques, & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Sistematización de prácticas de restauración y lineamientos técnicos para el uso sostenible del ecosistema manglar en el litoral del Pacífico de Guatemala: 3. Manual de lineamientos técnicos para el manejo sostenible del recurso forestal del ecosistema manglar de Guatemala*. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Kauffman, J. B., Donato, D. C., & Adame, M. F. (2013). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares* (Documento de Trabajo 117). Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Kauffman, J. B., Heider, C., Cole, T. G., Dwire, K. A., & Donato, D. C. (2011). Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands*, 31, 343-352. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0148-9>.

- Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Holmer, M., Marba, N., Middelburg, J.J. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4), Artículo GB4026. <https://doi.org/10.1029/2010GB003848>.
- Lo Iacono, C., Mateo, M. A., Gracia, E., Guasch, L., Carbonell, R., Serrano, L., Serrano, O., Dañobeitia, J. (2008). Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. *Geophysical Research Letters*, 35(18), Artículo L18601. <https://doi.org/10.1029/2008GL034773>.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. (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(10), 552-560. <https://doi.org/10.1890/110004>.
- Middleton, B., & McKee, K. (2001). Degradation of mangrove tissues and implications for peat formation in Belizean island forests. *Journal of Ecology*, 89, 818-828.
- Middelburg, J., Nieuwenhuize, J., Lubberts, R., & van de Plassche, O. (1997). Organic carbon isotope systematics of coastal marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45(5), 681–687.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Informe técnico: Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala*.
- Moreno Cáliz, E., Guerrero Peña, A., Gutiérrez Castorena, M. del C., Ortiz Solorio, C. A., & Palma López, D. J. (2002). Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques*, 8(Número Especial), 115-128. <https://doi.org/10.21829/myb.2002.801295>
- Moreno-Casasola, P., & Infante Mata, D. M. (2016). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos*. Instituto de Ecología, Organización Internacional de Maderas Tropicales y Comisión Nacional Forestal.
- Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Siqueira Neto, M., Mendonça, E. de S., Romero, R. E., & Otero, X. L. (2019). The importance of blue carbon soil stocks in tropical semiarid mangroves: A case study in Northeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78(12), Artículo 369. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8368-z>
- Otero, X. L., Méndez, A., Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Meléndez, W., & Macías, F. (2017). High heterogeneity in soil composition and quality in different mangrove forests of Venezuela.

- Environmental Monitoring and Assessment*, 189(10), 511. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6228-4>
- Paz Pellat, F., Argumedo Espinoza, J., Cruz Gaistardo, C., Etchevers, J. D., & de Jong, B. (2016). Distribución espacial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 289-310.
- Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marba, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., Baldera, A. (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9), Artículo e43542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Estudio técnico para el área de uso múltiple marino-costera Las Lisas – La Barrona*. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Áreas Protegidas; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre.
- Rodríguez Hernández, C. H. (2017). *Existencias de carbono azul y la dinámica histórica de la cobertura del bosque manglar en el área conservación Sipacate Naranjo, Guatemala, Centroamérica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://icc.org.gt/es/existencias-de-carbono-azul-y-la-dinamica-historica-de-la-cobertura-del-bosque-manglar-en-el-area-conservacion-sipacate-naranjo-guatemala-centroamerica/>
- Romero-Berny, E. I., Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C., Schmook, B., & Gómez-Ortega, R. (2016). Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 153-169. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.7>
- Sifleet, S., Pendleton, L., & Murray, B.C. (2011). State of the science on coastal blue carbon: A summary for policy makers. *Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions Report NIR*.
- Yáñez-Arancibia, A., & Lara-Domínguez, A. L. (Eds.). (1999). *Ecosistemas de manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología.

- Yepes, A., Zapata, M., Bolívar, J., Monsalve, A., Espinosa, S. M., Sierra-Correa, P. C., & Sierra, A. (2016). Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 913-926.
- Zacarías-Coxic, C. J., Sánchez Cruz, M. S., Cifuentes Barrientos, J. G. (2019). *Especies arbóreas en el ecosistema de manglar en Guatemala: Serie Técnica GT-025*. Instituto Nacional de Bosques, Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

12. Vinculación

El proyecto de investigación durante su ejecución tuvo vinculación con el sector gubernamental a través del Instituto Nacional de Bosques, por ser el ente rector del recurso forestal en Guatemala. En el sector académico con la Facultad de Agronomía de la USAC, y con el Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela, España.

13. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Se propone que la difusión y divulgación de los resultados del proyecto de investigación, sea a través de la radio de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y otros medios que se consideren oportunos. Además de una publicación científica en la revista de la Dirección General de Investigación. Por otro lado, al ser aprobado el informe final se divulgará con las autoridades gubernamentales encargadas de la gestión y conservación del ecosistema de manglar y con los COCODES de las Aldeas de Las Lisas y La Barrona.

14. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS

Los resultados que aporta esta investigación contribuyen por un lado al Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 Acción por el Clima, el cual establece que es necesario tomar medidas de manera urgente para responder tanto a los efectos derivados del cambio climático como a la pandemia covid-19. Por lo que una de sus metas está dirigida a fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación, en este caso en particular los aportes para la conservación, manejo y gestión de la biodiversidad marino-costera, específicamente los ecosistemas de manglar.

Y, por otro lado, contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible 14 Vida Submarina, el cual está orientado a conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marino-costeros para el desarrollo sostenible, específicamente apunta a la meta, referida a gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia, y adoptar medidas para restaurarlos.

15. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Dr. Pedro Julio García Chacón	 Firma
Fecha: 25/03/2022	

16. Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe de final del proyecto “Estimación de carbono azul del componente suelo en el ecosistema de manglar Las Lisas-La Barrona en el Pacífico de Guatemala”, en mi calidad de Directora del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Vo.Bo. Dra. Juana Lorena Boix Morán Directora Centro de Estudios del Mar y Acuicultura	Firma
Fecha: 25/03/2022	

17. Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán Coordinadora del Programa de Investigación	Firma
Fecha: dd/mm/año	

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	Firma
Fecha: dd/mm/año	