

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León
Facultad de Ciencias y Tecnología
Departamento de Biología



Análisis de la biomasa y carbono azul almacenado en el ecosistema de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado mediante teledetección durante el año 2021

Trabajo monográfico para optar al título de Licenciada en Biología

Autor

- **Br. María Dominga Amador Paz**
- **Br. Issamar Daniela Quiroz Mena**

Tutor

PhD. Oscar González Quiroz

León, Nicaragua 2022

“A LA LIBERTAD POR LA UNIVERSIDAD”

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, el más grande agradecimiento es para Dios quien nos ha brindado la vida, la fuerza, sabiduría, perseverancia y la oportunidad de cumplir nuestras metas en este recorrido a pesar de las diferentes adversidades de la vida.

A nuestros familiares y seres queridos por su amor incondicional.

A los maestros del Departamento de Biología que nos acompañaron en nuestra formación, en especial a PhD. Oscar González Quiroz, tutor nuestro que nos ha brindado su apoyo, correcciones, paciencia, tiempo y conocimiento incondicional, además de capacitarnos en terreno de campo difíciles como son los manglares y en como encontrar la manera de desatorarse y salir del fango a pesar del agotamiento extremo para no hundirse más, enseñándonos también que en la vida tampoco se debe dar por vencido.

Agradeciendo también a la casa Comanejo de la Reserva Natural Isla Juan Venado, a PhD. Adalila Molina directora del Centro de Información Geográfica de la UNAN León por prestarnos el equipo para realizar nuestra investigación en campo.

A la Universidad por el fondo brindado por Pequeñas Ayudas a la Investigación (PAI) para nuestra investigación.

A los comunitarios de las Peñitas y Salinas Grandes por su hospitalidad.

A los estudiantes de Biología de la generación 2017-2021 (grupo de prácticas profesionales) por su apoyo en el acompañamiento en levantamiento de datos en campo en especial a Eleazar Blanco Fino, Carlos Solís, Marling Pérez Hernández y Cesar Rojas que nos acompañaron hasta el final.

María D. Amador Paz

Issamar D. Quiroz Mena

DEDICATORIA

A Dios ante todo por la vida, protección y salud. Por haberme concedido la fortaleza y sabiduría, permitiéndome lograr llegar hasta el final y coronar mi carrera. Por nunca abandonarme, sosteniéndome en los momentos que pensé que no podía más. Le dedico todos mis logros, ya que gracias a él logre llegar hasta donde estoy ahora.

A mi familia y seres queridos.

A mis padres Pedro Amador y Gregoria Paz por todo su apoyo y esfuerzo en la vida para sacarme adelante a pesar de las limitaciones económicas, para mi todo lo que me han brindado es más que valioso.

A mis hermanas por todo su amor a Danelia, Gema y Hazel. A Danelia por su apoyo y consejos en la vida. A Gema por todas sus correcciones y apoyo incondicional, por ser como una segunda madre, por trabajar duro y apoyarme en mi educación desde la infancia y a mi hermana menor Hazel que más que hermana es amiga y compañera.

A mi abuela † Fca. Rufina Catín que especialmente también le dedico este trabajo, por hacer de mí una persona de bien, por todas sus correcciones y consejos que siempre recordare, especialmente cuando me decía: “Échale ganas Mariíta para que lo logres, yo quiero ver a mi muchachita que salga a delante”. Y por razones de la vida te perdí este mismo año, y aunque tus ojos no hayan podido ver, hoy solo puedo decir que cada día estoy más cerca. Tus palabras siempre las llevare en mi mente y corazón. Gracias por todo lo que me enseñaste.

Y a mi amado, Norvin Meza por todo su amor, comprensión y apoyo incondicional brindado. Gracias por estar a mi lado aún en los momentos más difíciles.

María Dominga Amador Paz

DEDICATORIA

Le doy gracias a Dios primeramente por darme la oportunidad de luchar en la carrera, seguir adelante y superar los obstáculos.

La dedico a mis padres Silvio José Quiroz Zepeda y María Bertha Mena, por este esfuerzo que logre con la ayuda de ellos en estos momentos difíciles.

A mis hermanos Dania y Abelardo por confiar en mí y motivarme para seguir adelante.

Y mi sobrino Jacob Mateo Quiroz, por ser el brillo de mis ojos.

Al tutor PhD. Oscar. D González Quiroz, por apoyarme siempre y confiar en mí, por brindarme sus conocimientos en estos 4 años.

Y mis amistades más cercanas por haber confiado en mí, y motivarme con sus valiosos consejos.

A futuras generaciones que les servirá este esfuerzo para sus investigaciones.

Issamar Daniela Quiroz Mena

Resumen

Los manglares son ecosistemas con una alta tasa de almacenamiento de carbono Azul. Aún así, constantemente están amenazados por factores antrópicos. Esta investigación se realizó en la Reserva Natural Isla Juan Venado (RNIJV) con el objetivo de evaluar la biomasa y el carbono almacenado en el ecosistema de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado mediante teledetección. Se seleccionaron 50 parcelas (10 x 20 m) al azar, donde se evaluaron las variables de abundancia, altura total, diámetro a la altura de pecho, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), biomasa aérea, biomasa subterránea y Carbono Azul. Se descargaron imágenes satelitales de sensor Sentinel-2 de la página <http://earthexplorer.usgs.gov/>, con un tamaño de píxel de 10 x 10 m. Las imágenes fueron procesadas con el software QGIS 3.2 (acceso libre). Para la determinación de biomasa aérea (AGB) y biomasa subterránea (BGB), se utilizaron ecuaciones alométricas. Para estimar la vigorosidad de la vegetación se calculó el índice de Vegetación de diferencia Normalizada (NDVI). Se realizó una regresión entre biomasa y los valores del NDVI para calcular la biomasa total del área protegida. Se elaboró el mapa de carbono, multiplicando el total de la biomasa por el factor de conversión 0.475. Los análisis descriptivo y estadísticos fueron realizado con el software R. La especie con mayor densidad fue *Avicennia germinans* seguido de *Rhizophora spp* y *Laguncularia racemosa*. En cuanto al diámetro los promedios más altos se encontraron en *Rhizophora spp* seguido de *Avicennia germinans*. En altura predomina *Rhizophora spp* y *Laguncularia racemosa* con promedio de 7.3 y 7.2 m respectivamente. Encontrándose la Reserva dentro de los manglares neotropicales, con un promedios en biomasa de 155.9 (Mg ha⁻¹) y 74.0 Mg C ha⁻¹ en reserva de carbono azul. El ecosistema de manglar de la RNIJV representa un importante sumidero de carbono que contribuye a la reducción de los gases del efecto invernadero y aumenta la resiliencia ante el cambio climático.

Palabras claves: sumidero de carbono, manglar, NDVI, Biomasa aérea, Biomasa subterránea.

Índice de contenido

I.	Introducción	1
II.	Objetivos	3
III.	Marco teórico.....	4
IV.	Diseño Metodológico.....	20
4.1.	Tipo de estudio	20
4.2.	Área de estudio.....	20
4.3.	Población	21
4.4.	Muestra.....	21
4.5.	Colecta de datos.....	22
4.6.	Análisis de datos.....	27
V.	Resultado y discusión.....	28
VI.	Conclusiones.....	41
VII.	Recomendaciones.....	42
VIII.	Bibliografía	43
IX.	Anexos	52

Índice de tablas

Tabla 1. Densidad poblacional(ind/ha) de las especies de manglar en Reserva Natural Isla Juan Venado del año 2021.	28
Tabla 2. Comparacion de los estudios realizados en cuatro momentos en la Reserva Natural Isla Juan Venado del año 2021.....	29
Tabla 3. Promedios registrados de altura total en las especies muestreadas en el bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado del año 2021.	31
Tabla 4. Promedios del Diámetro a la altura de pecho(DAP) de las especies del bosque de manglar de la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021.....	32
Tabla 5. Categorización de los valores del Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI) encontrados en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboracion propia).	35
Tabla 6. Biomasa (aérea y subterránea) y Carbono acumulado en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021.	39

Índice de Figuras

Fig 1. Mapa de las zonas costeras de Las Peñitas y Salinas Grandes. Fuente: González (2016).	20
Fig 2. Localización de los puntos muestreados en el ecosistema de manglar en la RNIJV. (Elaboración propia)	21
Fig 3. Esquema de metodología en campo y teledetección. (Elaboración propia)	26
Fig 4. Promedios registrados de altura total en las especies muestreadas en el bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).	31
Fig 5. Media de Diámetro a la Altura de Pecho (DAP) de las especies de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).	32
Fig 6. Regeneración natural de las especies del bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado. (Elaboración propia)	33
Fig 7. Índice de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).....	35
Fig 8. Distribución Espacial de Biomasa Aérea en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).....	36
Fig 9. Distribución Espacial subterránea en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración Propia).....	37
Fig 10. Biomasa total (Biomasa aérea y Biomasa subterránea) en la Reserva Natural Isla Juan Venado. (Elaboración propia).....	38
Fig 11. Carbono Azul Total en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).	39
Figura 12. Formato datos de campo.....	52
Figura 13. Estudiantes de prácticas profesionales y Voluntarios (Biología)	52
Figura 14. Estero de la isla Juan Venado.....	52
Figura 15. Medición del DAP en <i>Rhizophora spp</i>	52

Figura 16. Medición del DAP	53
Figura 17. Toma de datos.....	53
Figura 18. Delimitación de la parcela	53
Figura 19. Bosque ribereño joven.....	54
Figura 20. Zona degradada del ecosistema de manglar	54
Figura 21. Puntos vulnerables del bosque de manglar.....	54
Figura 22. Vegetación moderada del manglar.....	55
Figura 23. <i>Avicennia germinans</i> (palo de sal).....	55
Figura 24. Regeneración Natural.....	55
Figura 25. Salitrales de la RNIJV.....	56
Figura 26. Bosque homogéneo de <i>Rhizophora</i> spp.	56

Indices de abreviaturas

AGB: (*Above Ground forest Biomass*) Biomasa Aérea

BGB: (*Below Ground Biomass*) Biomasa Subterránea

CO₂: Dióxido de Carbono

CCG: Los Cambios Climáticos Globales

DAP: Diámetro a la altura de pecho

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

NDVI: (Normalized Difference Vegetation Index) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR: Infrarrojo Cercano

SE : Servicios de los ecosistemas

ρ : Densidad maderable.

PSA: Los pagos por los servicios ambientales

RNIJV: Reserva Natural Isla Juan Venado

I. Introducción

Los bosques de manglares se encuentran en la zona intermareal a lo largo de las costas tropicales y subtropicales, desempeñando un papel vital en la zona costera, ya que proporcionan diferentes servicios ecosistémicos a las poblaciones costeras (Pham et al., 2019).

Los manglares crecen aproximadamente a lo largo de un 30 por ciento de la costa nicaragüense, distribuyéndose en proporciones casi iguales entre los litorales del Pacífico y del Caribe (Córdoba & Martínez, 2020; Løyche, 2005). Estas poblaciones del caribe tienden a una degradación menor respecto a la que afecta la costa del Pacífico (Løyche, 2005).

En el Pacífico de Nicaragua, los manglares están concentrados en dos zonas como: el Estero Real, que desemboca en el Golfo de Fonseca (departamento de Chinandega) que alberga 18,500 ha, y la costa pacífica norte (departamento de León y Chinandega), que cuenta con 19,700 ha (Carvajal & Soto, 2006).

Uno de los espacios relevantes en la conservación del bosque de manglar en el Pacífico de Nicaragua es la Isla Juan Venado, la cual cuenta con siete especies de mangle *Avicennia germinans* (L) L; *Avicennia bicolor* Standl; *Laguncularia racemosa* (L). CF. Gaerth, *Conocarpus erectus* L, *Rhizophora harrisonii* Leechm, *Rhizophora mangle* (L), *Rhizophora racemosa* G. Mey. Estas brindan importantes servicios ecosistémicos a las comunidades locales.

Los manglares están sujetos a fuertes presiones, principalmente el cambio de uso de suelo, impulsado por diferentes factores socioeconómicos.(Mesoam, 2006). A pesar de la gran importancia que tienen estos ecosistemas se encuentran entre los entornos naturales más amenazados y con una rápida desaparición en el mundo (Siikamäki et al., 2013).

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (2007) los manglares serán uno de los ecosistemas especialmente afectados por el cambio climático.

Estos bosques lamentablemente a nivel mundial son fuertemente degradados, debido principalmente a actividades como son: agrícolas, de expansión urbana, desarrollo costero y fenómenos inducidos como el aumento del nivel del mar (Perea et al., 2021).

Se reconoce que la deforestación y la degradación de los bosques es la segunda fuente más grande de emisiones de carbono después de la provocada por el uso de combustibles fósiles (Saade et al., 2022)

En algunos espacios de Nicaragua las pérdidas de manglar superan el 40%, p. ej. Reserva Natural Estero Real (Uriarte & Orozco, 2019). Por lo tanto la Reserva Natural Isla Juan Venado no está exenta de pérdidas grandes en sus ecosistemas de manglar, mas que todo por la explotación de sus poblaciones aledañas. La degradación de estos bosques da como resultado una reducción del carbono capturado y conducen a la liberación del carbono almacenado a la atmósfera por el CO₂ emitidos (Senger et al., 2021).

Además, según Kuenzer et al., (2011) se considera que los manglares se comportan como una barrera natural contra la dinámica del océano a lo largo de la costa. Teniendo la capacidad de mantener la calidad del agua actuando como filtros biológicos, ayudar a prevenir los procesos de erosión en las costas separando sedimentos y nutrientes en áreas costeras contaminadas, sustentando las cadenas alimentarias acuáticas y formando hábitats para la fauna marina y terrestre. Entre sus raíces atrapan sedimento y hojarasca para rellenar y recobrar terreno (Chow, 2019; Córdoba & Martínez, 2020).

El carbono azul ofrece hoy en día la posibilidad de movilizar fondos e ingresos adicionales al combinar las mejores prácticas de gestión costera con los objetivos y las necesidades de la mitigación del cambio climático (Fourqurean et al., 2014).

Los motivos que nos llevaron a investigar sobre la biomasa y el carbono azul almacenado en el bosque de manglar se centran en la falta de información o estudios a escala local sobre este importante servicio ecosistémico del manglar. Conocer las cantidades de carbono almacenado hoy en día por el bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado es de suma importancia no solo a escala local, sino regional y global porque contrarresta las consecuencias de los gases de efectos invernaderos.

II. Objetivos

Objetivo general

- ✚ Evaluar la biomasa y carbono almacenado en el ecosistema de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado mediante teledetección durante el año 2021.

Objetivos específicos

- ✚ Analizar la densidad poblacional y biometría de las especies del ecosistema de manglar.
- ✚ Determinar Biomasa aérea y subterránea del bosque de manglar.
- ✚ Estimar la masa de carbono azul almacenado en el ecosistema de manglar.

III. Marco teórico

3.1. Ecosistemas de manglares

El ecosistema de manglar tiene importancia económica y ecológicamente, porque ofrece bienes y servicios que son vitales para el bienestar, la seguridad alimentaria y la protección de las comunidades costeras en todo el mundo (Van et al., 2012). Es el principal requisito para asegurar la productividad sostenida y la estabilidad del medio ambiente caracterizado por cierta diversidad taxonómica y el grado de desarrollo del rodal (Rodríguez et al., 2012). Según Friess et al. (2019) los bosques de manglares se encuentran a lo largo de las costas tropicales, subtropicales y algunas zonas templadas y en áreas con altas densidades poblacionales.

La composición arbórea del bosque indica cuales son las especies presentes y que se determinan, tanto por los factores ambientales, por la dinámica del ecosistema y la ecología de sus especies, que permite caracterizar las comunidades en términos de familias, géneros y especies presentes (Guadamuz & Bloomfields, 2019). Las especies de manglar se pueden agrupar y distribuir de diferentes maneras dentro de su hábitat por la salinidad y el tipo de suelo, por la cual hay especies que ocupan tierras bajas que dan hacia el mar y otras especies viven en zonas más elevadas lejos del agua, a esto se le puede conocer como zonación (Mejía et al., 2014).

Según Acuña et al. (2018) la vegetación que se encuentran en los humedales sobresale los manglares que son ecosistemas dominados por un grupo de especies vegetales arbóreas que se han adaptado a nivel fisiológico, reproductivo y estructural, para su desarrollo en condiciones extremas y resistentes a la salinidad. Posteriormente los manglares constituyen una de las mejores opciones dentro de los humedales costeros, en la captura de carbono para reducir los efectos que induce la ruptura de la capa atmosférica de ozono y el efecto invernadero sobre el planeta (Moreno et al., 2010).

3.1.1. Servicios ambientales de los manglares

Los servicios de los ecosistemas se proporcionan en sistemas socio-ecológicos complejos e interconectados, que se caracterizan por tener factores determinantes biofísicos y sociales que interactúan entre sí (Carvajal et al., 2020).

Según De la Peña et al. (2010) los manglares, prestan un servicio ambiental al planeta con respecto a los llamados Gases con Efecto Invernadero (GEI). Debido a que a partir de un proceso complejo absorben el CO₂ mediante la fotosíntesis, fijando el carbono en su biomasa y liberando el oxígeno a través de un ciclo natural, donde también se benefician animales descomponedores que digieren los carbohidratos presentes en las hojas caídas, devolviendo parte del CO₂ presente en estas al aire.

De acuerdo con Botero (2015) la importancia, de la adaptación al cambio climático en los países de América Latina se presentan de forma amplia y no describen las actividades o acciones específicas, se hace evidente a las necesidades de contar con planes de acción que identifiquen y describan acciones específicas a seguir en cada país, las iniciativas dirigidas a la conservación de recursos hídricos y forestales se presentan en proporciones similares en países de América Latina.

Los manglares son un sistemas diversos, complejos y dinámicos; por lo que la gestión de estos bosques se debe analizar desde la perspectiva multidimensional, temporal se recomienda además contar con apoyo de modelos de sostenibilidad como las evaluaciones de los servicios de los ecosistemas (SE), los cuales comprenden todos los bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas naturales que benefician, sostienen, apoyan el bienestar humano y evalúa la manera de utilizarlos medidamente, por lo que la protección hacia este recurso no solo tiene repercusiones locales sino regionales y globales (Carvajal et al., 2020).

Los pagos por los servicios ambientales(PSA) es un mecanismo que ofrece pagar por el manejo forestal para el desarrollo sostenible y contribuir en alguna medida a enfrentar los Cambios Climáticos Globales (CCG), los servicios que produce un cambio desde el control de las actividades de manejo forestal hacia la valorización de los servicios ambientales para las personas, los sistemas de PSA son instrumentos reales que incorporan el valor como una necesidad ecológica, económica y social que aplica a la realidad de estos tiempos, es necesario la participación comunitaria, así como la capacitación en todo sentido, incluyendo a las legislaciones que amparan el reconocimiento jurídico de dichos servicios ecosistémicos (Lozano et al., 2019).

3.1.2. Problemas que afectan el bosque de manglar

- Gases de efecto de invernadero

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son aquellos gases presentes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, son de origen natural y antropogénico resultado de la actividad humana, el proceso por el que la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los gases presentes e irradiada en todas las direcciones (CEPSA, 2015).

Los gases de efecto invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Benavides & León, 2007).

Según los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) y además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos siendo éstos los compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono, actuando como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera (Junca, 2018).

La pérdida del ecosistema de manglar afecta a los servicios ecosistémicos, la eliminación de la biomasa o carbono y a su vez cambios en los patrones hidrológicos que presentan los suelos a la atmósfera ocasionando su oxidación, liberando CO₂ y otros gases de efecto invernadero (Perdomo, 2020).

- Cambio climático

De acuerdo con la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se entiende como 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, por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la

variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (Benavides & León, 2007.)

Según Robinson (2020) considerando los estudios de impacto no exclusivo del cambio del enfoque en el aumento del nivel del mar, las lluvias y precipitaciones siguieron siendo de interés, para obtener mayor atención a las temperaturas del aire y de la superficie de mar, la erosión, las inundaciones, las sequías y las marejadas ciclónicas.

El calentamiento global es uno de los ejes principales del paradigma del cambio climático, el cual está causado mayoritariamente por el aumento de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera terrestre (López, 2017).

De acuerdo con Yáñez et al. (2014) el cambio climático global está afectando, no solo ecológica en la evaluación del movimiento de los ecosistemas costeros, sino también socio económico en consideraciones para el manejo costero.

El efecto del cambio climático constituye una amenaza directa en las zonas costeras y su relación con los medios de vidas que se manejan, ligados a los ecosistemas marino-costeros, las comunidades costeras dependen de los ecosistemas marino; sin embargo, estos han sido sobreexplotados en gran manera (Estupiñan, 2022).

De acuerdo con Challenger et al. (2009) puede ascender que el cambio climático antropogénico proyectada actualmente podría ser uno de los factores directos de mayor impacto ambiental en los ecosistemas, los manglares están siendo amenazados relacionados con deforestación y esto reduce áreas importantes de captación de carbono y la pierde la protección que los manglares ofrecen a las comunidades costeras.

3.2. Bosque de Manglar

Es un ecosistema integrado especialmente por especies vegetales leñosas arbóreas denominadas mangles, adaptadas a condiciones fluctuantes de salinidad, y caracterizado por su localización en las zonas mareales, intermareales, estuarinas y ribereñas de las costas tropicales y subtropicales (Martínez & Vera, 2013).

Desde el punto de vista científico Moreno et al. (2010) se considera que el bosque de manglar es importante en el ecosistema costero tropical es el intermediario principal

que alcanza el 80% del balance de materia orgánica total, tiene la capacidad de interacción entre el almacenaje de carbono, existen pocos estudios sobre el almacenamiento de carbono en ecosistemas de manglar, siendo que esta función constituye uno de los principales servicios ambientales que pueden ofrecer.

De acuerdo con Romero et al. (2015) los manglares, son comunidades vegetales asociadas a sistemas costeros, abarcan 137,760 km² de las costas tropicales y subtropicales en el mundo. Tienen un papel fundamental en la estabilidad climática, al ser los sumideros de carbono más eficientes en los trópicos; además, la estructura funcional de los manglares y la diversidad de hábitats que sostiene provee alimento y refugio a gran diversidad de especies y proteger las costas contra fenómenos hidrometeorológicos (Yáñez et al., 1998).

Se caracterizan por ser inundados por las mareas con aguas marinas o estuarinas, sin o con poca influencia del oleaje, por lo que su hábitat se restringe a las orillas de suelos arenosos o limo-arcillosos de bahías, lagunas costeras, canales de mareas, desembocaduras de ríos, bajos y barras de arena o lodo y marismas, abarcando desde una estrecha franja de pocos metros de ancho, de forma continua o discontinua, hasta densos bosques de cientos de hectáreas (Díaz, 2011).

De acuerdo con el artículo 5 de París, firmado en 2016, se establece un marco para la conservación de sumideros de carbono, incluidos los bosques, mediante sistemas como los pagos basados en los resultados y la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques y la función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo (FAO & PNUMA, 2020).

Según Naciones Unidas (1992) los bosques son la fuente principal en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático. Biológicamente es uno de los ecosistemas más diversos del planeta, pero también uno de los más amenazados y vulnerables al cambio climático, que secuestra altos volúmenes de carbono es por ello por lo que se encuentran entre los ecosistemas más valiosos del mundo (Tenorio & Timaná, 2017).

Son importantes por alta productividad y producción de materia orgánica que promueven la biodiversidad, ya que en sus raíces sumergidas proveen hábitat y a la

vez reducen la erosión, la contaminación en las costas y permiten la existencia de los arrecifes de coral, así mismo son los principales reservorios de Biomasa Aérea (BA) y Carbono aéreo en las zonas marino-costeras, tropicales y subtropicales que contribuyen a la mitigación del cambio climático (Blanco et al., 2015; Jiménez & Sauter, 1991).

Suministran una gran diversidad de especies de flora y fauna que realizan otros aportes biológicos, la fijación de contaminantes y su desintoxicación de la cual se realiza por medio de las raíces de los mangles, así como la estabilización de los sedimentos (Báez, 2009).

Es fundamental conocer los patrones de distribución de especies de manglar con relación a variables físico-bióticas como pH, densidad, contenido de raíces, limos y arcillas en el suelo, cobertura de plantas invasoras y nivel de inundación, para la correcta valoración de los bosques de manglar como sumideros de carbono y a su vez abordar medidas de conservación, ya que están desapareciendo aceleradamente como consecuencia de la deforestación (Agudelo et al., 2015).

- **Desforestación**

Los manglares son uno de los ecosistemas más amenazados del mundo. Su existencia se encuentra aún en más peligro que de los bosques tropicales y los arrecifes de coral, la tala para producción de madera, carbón, taninos y la proliferación de salineras o estanques para camarones es otra causa importante de deterioro de los manglares del planeta (Zamora & Cortés, 2015).

La desforestación afecta al ecosistema marino-costero que son amenazado y alterado por los factores antropogénicos y a su vez por el cambio climático global, esto se considera como uno de los problemas mayores más relevantes ya que al talar o extraer madera, el Dióxido de carbono (CO₂) es liberado a la atmosfera, y por defecto obteniendo consecuencias a la comunidad social, económico y de tipo ambiental (Moncada, 2017).

De acuerdo con Ortiz (2016) las altas tasas de deforestación que experimentan a nivel mundial debido a las actividades mencionadas y al ascenso en el nivel del mar

provocan la erosión costera, la denudación del suelo o la transformación hacia otras coberturas.

Se ha estimado que la deforestación de los manglares genera aproximadamente el 10% de las emisiones por deforestación a nivel mundial, a pesar de que sólo ocupan el 0,7% del área de bosques del trópico (INECC-PNUD, 2017). Se estima que se han perdido 420 millones de hectáreas de bosques en todo el mundo debido a la deforestación desde 1990, pero el ritmo de pérdida de los bosques ha disminuido considerablemente (FAO & PNUMA, 2020).

Sin embargo, los bosques están siendo devastados por los incendios, convertidos y degradados debido a la producción agrícola, combustibles, madera y a la mala gestión de los bosques en el mundo, están aumentando las emisiones de carbono y disminuyendo la biodiversidad, destruyendo ecosistemas vitales y afectando los medios de vida de las comunidades locales y de la sociedad a nivel mundial, esta situación empeorando por la deforestación y la degradación forestal son los principales factores impulsores de las enfermedades zoonóticas y los bosques son un amortiguador contra enfermedades como la COVID-19, pero cuando los bosques son atacados, sus defensas se debilitan, ocasionando la propagación de enfermedades (Pacheco et al., 2021).

En los últimos 50 años, entre 30 y 50% de los manglares a nivel mundial se han perdido y se continúan perdiéndose a una tasa del 2% cada año, las principales causas de destrucción de los ecosistemas de manglares incluyen la deforestación para la construcción de estanques de acuicultura y otras formas de desarrollo costero insostenible, los expertos estiman que las emisiones de la degradación de los manglares pueden llegar al 10% de las emisiones totales de la deforestación a nivel mundial, a pesar de que los manglares representan solo el 0.7% del área de bosque tropical (Vera, 2020).

3.3. Manglares del Pacífico de Nicaragua

En Nicaragua los manglares se localizan tanto en la vertiente atlántica como en el Pacífico, se encuentra principalmente en las lagunas costeras y estuarios de los principales ríos, por lo tanto, en el Pacífico los manglares están concentrados en dos

zonas: el Estero Real, que desemboca en el golfo de Fonseca (departamento de Chinandega) que alberga 18,500 ha, y la costa del pacífico norte (departamento de León y Chinandega), que cuenta con 19,700 ha (Carvajal & Soto, 2006).

Las especies más comunes de mangle en el Pacífico de Nicaragua son: *Rhizophora mangla* (L) (mangle rojo), *Rhizophora racemosa* G. Mey (mangle rojo), *Rhizophora harrisonii* Leechm (mangle rojo), *Avicennia bicolor* Standl, *Avicennia germinans* (L) L (palo de sal), *Languncularia racemosa* (L). CF. Gaerth (ageli), *Conocarpus eructus* L (botoncillo) y en el Atlántico se encuentra *Pelliciera rhizophorae* Triana y Planch, R (mangle piña o piñuela) (Carvajal & Soto, 2006).

Dentro de la vegetación de la Isla se existen especies de mangles como:

- **Mangle Rojo (*Rhizophora sp*)**

En este género se encuentran las especies *Rhizophora mangla*, *Rhizophora harrisonii* y *Rhizophora racemosa* que son considerados como los ecosistemas más productivos del planeta, por lo general se desarrollan a lo largo de los esteros, la altura de estas especies oscila desde 5-20 metros de altura (Carvajal & Soto, 2006).

El mangle colorado crece mejor en los suelos poco profundos y cenagosos bajo la influencia de las mareas con aguas saladas o salobres y en las áreas protegidas de las corrientes oceánicas y de las olas, pero asociados con un desagüe abundante de agua fresca y una precipitación alta (Lagos, 2014).

Según Windevoxhel (1994) la vegetación de mangle en la región del pacífico presenta altos niveles de degradación que son provocados por la extracción de madera, y el aprovechamiento actual, que excede la productividad natural del ecosistema, lo cual no permite su recuperación y así mismo de los procesos ecológicos, de los cuales dependen de sus servicios de la producción pesquera del mundo que están vinculadas a la salud de las zonas costeras.

- **Mangle Blanco o Agelí (*Laguncularia racemosa*)**

Se reconocen por presentar un par de glándulas cerca la base de las hojas, pueden alcanzar hasta 20 metros de altura, pero generalmente se conocen como arbustos de unos 6 metros de altura, creciendo a lo largo de orillas de los esteros salobres, o en las desembocaduras de ríos que se represan con el ascenso mareal (Bravo et al., 2006).

Es resistente a las termitas de la madera seca, la corteza y las hojas contienen entre un 10 y un 24 por ciento de su peso en seco en forma de tanino soluble, ambas han sido usadas en tenerías, la corteza del mangle blanco se usa también para propósitos medicinales, las infusiones de la corteza se usan por lo general como astringentes y tónicos (Jiménez & Sauter, 1991).

- **Mangle Negro, Palo de Sal, Curumo, (*Avicennia germinans* y *Avicennia bicolor*)**

El palo de sal, juega un papel fundamental por tener una corteza externa oscura y la interna amarillenta, se caracterizan por tener largas raíces subterráneas radiales de poca profundidad y pueden desarrollar raíces adventicias de apoyo que se desprenden de parte baja del tronco, además, tienen la capacidad de emitir neumatóforos que pueden extenderse a varios metros alrededor del tronco del árbol, los árboles de esta especie pueden alcanzar más de 20 metros de altura, es la especie que mejor tolera las condiciones climáticas y es la especie dominante en áreas donde los suelos contienen altas concentraciones de sal (Díaz et al., 2010).

Es una especie fuerte y dura; expele la sal absorbida principalmente a través de sus hojas coriáceas es una especie dominante en los sitios con climas áridos, en donde la salinidad del suelo excede las 40 partes por mil, además la distribución de esta especie de mangle se ve altamente influenciada por los cambios en la microtopografía y los cambios consiguientes en la inundación de los suelos y su salinidad (Gutiérrez et al., 2008).

La especie se puede encontrar por lo usual en las áreas bajas, tierra adentro a partir de la margen de los manglares. Sin embargo, crece también tierra adentro en áreas ligeramente elevadas, en donde la inundación por las mareas es menos frecuente. Los suelos aquí se encuentran cubiertos por unos pocos centímetros de agua continuamente estancada o se ven inundados solamente unas pocas veces por año (Caballero, 2009).

- **Botoncillo o conito (*Conocarpus erectus*)**

Es conocido como mangle botoncillo, estos mangles generalmente no sobrepasan los 10 metros de altura, la madera se utiliza como leña y carbón, también se utiliza en construcciones rurales, fabricación de instrumentos rústicos, vigas, durmientes, las

hojas se usan para padecimientos como el asma, ictericia, estado bilioso, evacuaciones pestilentes; la raíz se usa para reumatismo, testículos inflamados; en general la planta se usa para el dolor de cabeza; la corteza es rica en taninos y se utiliza para curtir pieles, la madera es parda, muy dura, fuerte y de grano fino, utilizada en algunas regiones para construcción o para hacer carbón (Mendoza, 2009).

3.4. Reserva Natural Isla Juan Venado

El área protegida han demostrado generar varios beneficios para la conservación de la biodiversidad por lo tanto, la prestación de servicios ecosistémicos es importante porque juegan una relación a la mitigación y adaptación al cambio climático, las principales funciones de la conservación de bosques, humedales y demás en ecosistemas incluidos en los sistemas del área protegida se destacan las siguientes: La captura y la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, la regulación de la hidrología regional que asegura un suministro predecible de agua para las distintas actividades en los ecosistemas, la provisión de hábitats para especies de plantas y animales silvestres, la conservación de especies silvestres con valor económico potencial para la medicina, la agricultura, el turismo y las investigaciones (Botero, 2015).

La Reserva Natural Isla de Juan Venado fue creada amparada en un marco legal que abarca desde la Constitución Política de la República hasta la creación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y su reglamento, incluyendo una serie de instrumentos jurídicos relativos a la gestión ambiental y que incluyen políticas, normas técnicas y legales, actividades, programas, proyectos e instituciones que desarrollan las actividades y funciones de la declarada Reserva Natural (Mendoza, 2009).

El interés de la nación por conservar los recursos naturales que aloja la Isla Juan Venado fue confirmado con la emisión del Decreto No 13-20 publicado en La Gaceta, Diario Oficial no 213 del 19 de septiembre de 1983 que en su Artículo no 2 declara a la Isla, junto con otras áreas silvestres, como “Reservas Naturales protegidas en el Pacífico de Nicaragua” con carácter de inalienables (PROARCA, 2005).

3.4.1. Caracterización física del área protegida

- Clima

El clima del área protegida es Tropical de Sabana y su zona de vida es representativa para Bosque Tropical Seco, presentando una estación seca de 4 a 6 meses de duración entre los meses de noviembre a abril, las temperaturas medias en general son uniformemente elevadas a través del año, existen ligeras variaciones relacionadas a la temporada (Caballero, 2009).

- Hidrología

El área protegida es dominada en su red hídrica por ríos que drenan de la vertiente del Pacífico, presentan condiciones hidráulicas debido a que se encuentran 0.47 cauces por km², y 1.17 km. de cauce por km² del territorio, esto indica la capacidad de evacuar el agua proveniente de la precipitación que recibe la zona, esta capacidad está inducida por la gran cantidad de drenajes (Espinoza & Herrera, 2008).

- Suelos

El 26.93% del área total de la reserva está conformado por suelo limoso arcilloso abarcando una extensión de 1,946.42 ha de áreas costeras bajas con suelos mojados, salinos y estratificados de diversas texturas, pero con dominancia de texturas limosas y arcillosas, de acuerdo con la extensión con 743.64 ha, y ocupando el 10.29 % del área total de la reserva, las partes más bajas de las playas se inundan con cada marea, dentro de la reserva se encuentran las salinas que tienen valor industrial, localizadas en las áreas bajas costeras que tienen una tabla de agua alta durante todo el año (Mendoza, 2009).

- Topografía y pendiente del área

La Isla Juan Venado es una alargada barrera arenosa paralela al mar. Ocupa la costa de inmersión que se extiende desde Cosigüina hasta Puerto Sandino, el estero que está detrás no tiene mayores ramificaciones, como es el caso en Estero Real y Padre Ramos, próximo a la costa se levantan los cerros del Ópalo que no permiten el explayamiento del estero tierra adentro, por esa misma razón, salvo por el Río Chiquito que penetra por el extremo occidental y el de Salinas Grandes por el oriental, no existen más corrientes, grandes aportadoras que dulcifiquen o enturbien sus aguas (Fernández, 2007).

- Vegetación

La vegetación de manglar se ha desarrollado en fajas paralelas a las costas, protegidas del mar por una banda de tierra de dimensiones variables llegando en algunos casos a distancias mayores a los 1000 m (Mendoza, 2009).

3.4.2. Aspectos Socioeconómicos de la Isla Juan Venado

- El valor social del ecosistema

El valor social del Ecosistema de manglar es alto, las poblaciones costeras hacen uso directo de este ecosistema, adquiriendo protección y seguridad contra tormentas, inundaciones

- El valor económico del ecosistema

El valor Económico del ecosistema de manglar del Pacífico Norte es alto tanto regional como a nivel nacional por que provee sustrato para la camaronicultura, lo cual actualmente genera ingresos importantes (Mendoza, 2009).

- El valor ecológico del ecosistema

El valor ecológico es alto porque es un ecosistema que proporciona hábitat a muchas especies de interés comercial y además protege contra tormentas y desastres naturales, proporcionan madera y leña, funcionan como recolectores y filtradores para el agua dulce proveniente de los ríos y de la lluvia, adicionalmente gran parte de este ecosistema está bajo alguna categoría de manejo (Córdoba & Martínez, 2020).

En la isla y estero no existen poblaciones humanas, el aprovechamiento de los recursos es ejecutado por los habitantes de las comunidades cercanas, los últimos diagnósticos reportan una población de Salinas Grandes de 1,141 habitantes, la mayoría de esta población ha sido reubicada de los desastres naturales maremoto de 1992 y Huracán Mitch de 1999, la población de Las Peñitas es de 1,900, las comunidades que están más cerca al mar son las que obtienen hasta un 90 % de sus ingresos de los productos del área protegida (Espinoza & Herrera, 2008).

Las otras comunidades tienen una combinación de actividades entre agricultura, trabajo asalariado y extracción de productos del mar y estero, de tal manera que todas las comunidades hacen uso de los recursos no importando lo largo que se encuentren del mar, la pesca de estero es una actividad que ejercen pobladores de las

comunidades rurales de El Chague y San Silvestre, pescan para autoconsumo y para comercialización (Mendoza, 2009).

3.5. Métodos de estudios de Biomasa y Carbono Azul

- Biomasa Aérea del bosque de manglar

La biomasa aérea es la que genera un mayor aporte a la biomasa total del bosque, aunque la biomasa del suelo y raíces pueden representar hasta un 40% de la biomasa total, generalmente se realizan estudios de medición de biomasa aérea por su medición fácil y a menos costo, se conoce como biomasa a la cantidad de materia que existe en un determinado ecosistema por unidad de superficie o de volumen (Meza, 2015).

- Biomasa subterránea del bosque de manglar

La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, por lo tanto, por su origen como por su naturaleza. Según Vera (2020) en el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta.

- Almacenamiento de carbono en los ecosistemas costeros

El almacén de carbono en bosques de manglar puede ser dos o tres veces mayor que el contenido en los bosques terrestres. Se ha estimado que los bosques tropicales y templados almacenan $< 400 \text{ Mg C ha}^{-1}$, mientras que los manglares más de $1100 \text{ Mg C ha}^{-1}$, a pesar de su importancia ecológica y socioeconómica, los manglares están amenazados por cambios en el uso de suelo y por el cambio climático y son uno de los ecosistemas tropicales que presentan altas tasas de deforestación (Velázquez et al., 2019).

Los océanos son los mayores depósitos de carbono en la tierra y desempeñan el papel de un amortiguador en el cambio climático. El carbono (Principalmente carbono orgánico) capturado por los ecosistemas marinos, es uno de los mecanismos importantes de almacenamiento de carbono marino. Se reconoció inicialmente solo en forma de secuestro visible de carbono en plantas costeras. De hecho, los

microorganismos (fitoplancton, bacterias, arqueas, virus y protozoos), que no recibieron mucha atención en el pasado, representan más del 90% de la biomasa marina total y son los principales contribuyentes al carbono azul (Vera, 2020).

- Carbono azul

Es el carbono almacenado por ecosistemas marinos y costeros que pueden ser como el fitoplancton, macroalgas fotosintéticas, bacteria, fanerógamas, arrecifes de coral, marismas de marea, praderas oceánicas, bosques de manglar, y otros humedales, estos almacenan por más tiempo el carbono y una mayor cantidad (Hernández et al., 2017). Este se puede acumular en el suelo, la biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (por ejemplo, hojarasca y madera seca) de manglares, marismas y pastos marinos, y la biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos) (Fourqurean et al., 2014).

Los ecosistemas que producen carbono azul cubren menos de 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 ,de esta manera, 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 (Fourqurean et al., 2015).Según Hernández (2020) el carbono azul tiene el potencial de ser utilizado para la mitigación de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), mediante un mecanismo de mercado denominado créditos o bonos de carbono.

3.6. Teledetección

La Teledetección espacial es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie, terrestre, marina y la atmósfera a través sensores instalados en plataformas espaciales(Uriarte & Orozco, 2019). Los métodos más extendidos en la actualidad para el estudio y monitoreo de la salud de los ecosistemas de manglar se orientan más a los datos de campo, aunque se ha reconocido periódicamente la meta del uso de las técnicas de sensores remotos (Ávila et al., 2020).

- Sentinel 2

La disponibilidad de las imágenes multiespectrales hoy en día es muy extensa, por el número de programas espaciales activos, las que actualmente tienen mayor interés por ser libre distribución y por su resolución espacial, temporal y espectral son las de Sentinel-2 distribuidas por la Agencia Espacial Europea (ESA), resumidamente, los satélites Sentinel-2 están diseñados para proporcionar imágenes multiespectrales globales de alta resolución, las bandas importantes en la detección de vegetación tienen una resolución espacial de 10 o 20 m de resolución, la capacidad de Sentinel-2 para obtener imágenes en los diferentes rangos del espectro (verde, rojo, red-edge y NIR), la mayor resolución espacial que otros satélites como Landsat-7 y Landsat-8 (Echeverría Obanos, 2017).

- Sistema de información Geográfica (SIG)

Un SIG se puede definir como un método o técnica de tratamiento de la información geográfica, que permite combinar efectivamente información básica para conseguir información derivada. Para esto se cuenta, tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) que proporcionan esta tarea (Uriarte & Orozco, 2019).

- Índice de Vegetación de diferencia Normalizada (NDVI)

Los ecosistemas del manglar son importantes por la productividad de biomasa y el almacenamiento de carbono en distintas metodologías se han utilizado para la cuantificación de su productividad.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) tiene como característica principal la relación entre las bandas infrarroja y roja, lo cual determina las diferencias en la absorción de luz de las plantas. El NDVI ha sido utilizado para el monitoreo de los bosques de manglar (Perea et al., 2021). Este índice se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta (Días, 2015).

El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo, es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1, por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, indicadores de la actividad fotosintética de la zona de matorral, el bosque templado, la selva y la actividad agrícola (Meneses Tovar, 2011). A través de ello se puede determinar la biomasa y posteriormente el carbono almacenado.

IV. Diseño Metodológico

4.1. Tipo de estudio

Es una investigación cuantitativa con un diseño no experimental de tipo transversal, para analizar datos de cada variable que se recopilaban en un periodo de tiempo establecido (año 2021). Todo esto para la obtención de los datos de manera más ordenada y sencilla en su recopilación.

4.2. Área de estudio

Se realizó la investigación en el bosque de manglar de la Reserva Natural Isla Juan Venado localizada en la costa del Pacífico de Nicaragua, a solo 22 km de la ciudad de León, entre la comunidad de Las Peñitas y Salinas Grandes, las temperaturas medias anual oscilan entre 26.7 y 29.3 °C, con una precipitación total anual promedio de 1,150 y 1,300 mm, que presenta muy pocas variaciones por caracterizarse un clima seco (Mendoza, 2009). La Reserva Natural tiene una extensión territorial de 2,940 ha en su zona núcleo (Fig. 1).

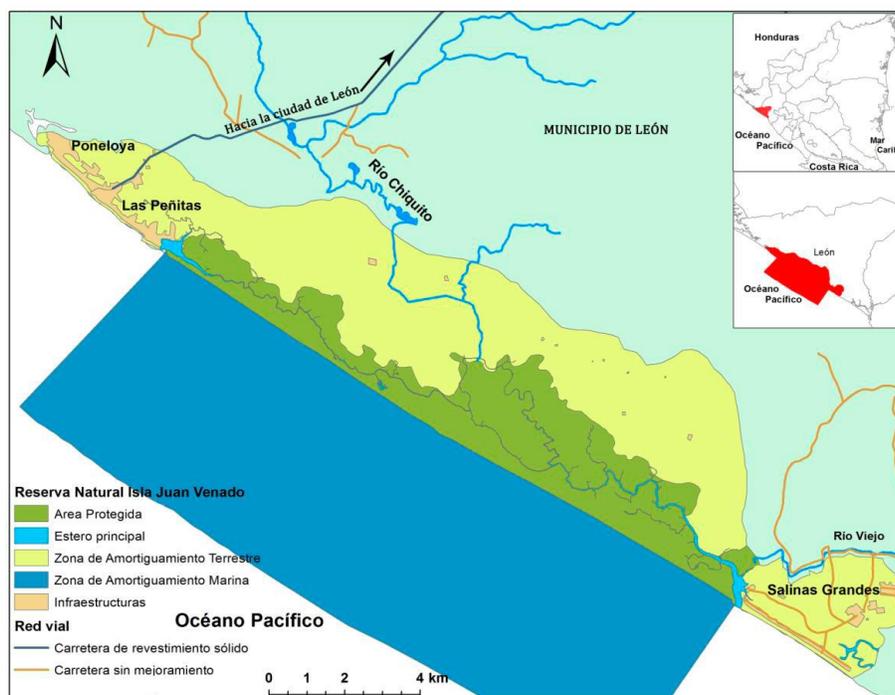


Fig 1. Mapa de las zonas costeras de Las Peñitas y Salinas Grandes. Fuente: González (2016).

4.3. Población

Se contó con un área de 2,400 ha de bosque de manglar, que se ubican a lo largo de sus 18 km de extensión sobre la costa entre Las Peñitas y Salinas Grandes. Se tomó en cuenta las especies del manglar como *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrisonii*, *Avicennia germinans* (L) L; *Laguncularia racemosa* (L). CF. Gaerth, y *Conocarpus erectus* L.

4.4. Muestra

Se definieron 50 parcelas de muestreo, distribuidas al azar en el bosque de manglar. Cada parcela se midió de forma rectangular de 10 x 20 m (Ammour et al., 1999), para un total de 200 m² cada parcela, orientada a 10 m norte y 20 m este de la coordenada. La posición exacta de cada parcela se estableció con el uso del software QGIS 3.2 (acceso libre), específicamente con el conjunto de herramientas *reseach tools* y luego *random points inside polygons*, que nos permitió extraer los 50 puntos con sus coordenadas (UTM, x, y). Cada punto tiene una separación de 200 m entre ellos, como mínimo (Fig. 2).

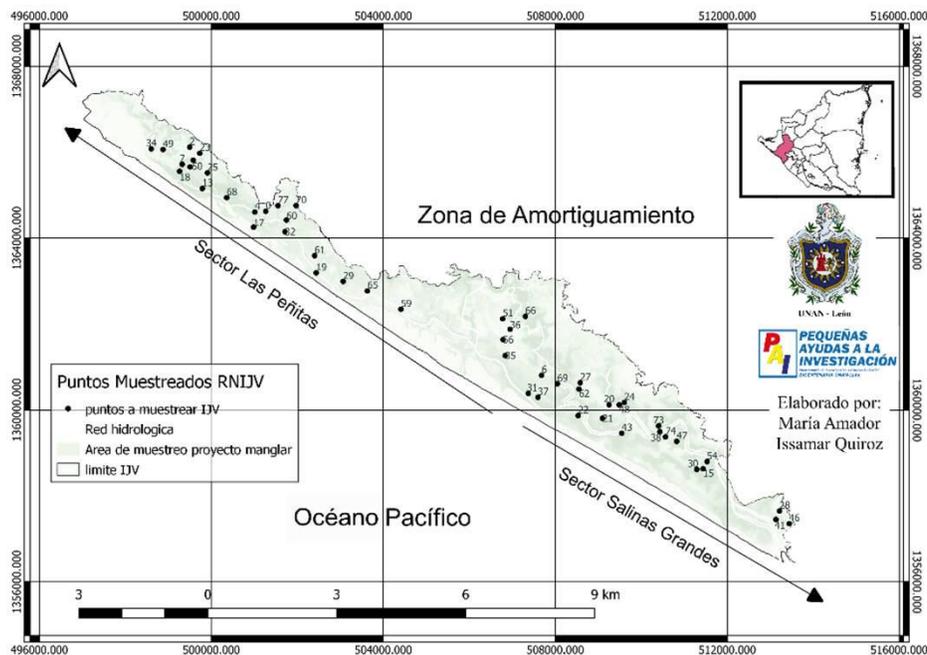


Fig 2. Localización de los puntos muestreados en el ecosistema de manglar en la RNIJV. (Elaboración propia)

4.5. Colecta de datos

Las coordenadas de cada parcela se localizaron con el uso de un GPS (Garmin xtrex). En cada parcela se contaron los individuos (abundancia) mayores a 7.5 cm de diámetros dentro de los 200 m². Se identificaron las especies y su condición (árboles vivos y/o muertos), tomando en cuenta sus principales características como: tipo de hoja, raíces y presencia de glándulas. En algunos casos se utilizó la inflorescencia para identificar las especies. La distribución espacial de las especies nos permitió conocer la estructura del bosque de manglar en cada parcela (Fig. 3).

Se tomaron las medidas biométricas de los árboles de las distintas especies: altura total y el Diámetro a la Altura de Pecho (DAP), Representándolo en la formula como DBH (*Diameter at Breast Height*). Se midió la circunferencia de los árboles con el uso de una cinta métrica y luego se calculó el diámetro. Debido a las características morfométricas de las especies de manglar, para el caso de *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* se midió el diámetro a la altura del pecho a 1.30 m del nivel del suelo. En el caso de *Rhizophora spp.* a 30 cm arriba de la última raíz fúlcreas.

En cuanto a la altura, se utilizó un clinómetro para calcular el ángulo de elevación hasta la cima del árbol. Posteriormente se calculó la altura total utilizando la siguiente ecuación de la tangente:

$$\mathbf{Tan^{\circ} = h/m}$$

Despeje

$$\mathbf{h = m * Tan^{\circ}}$$

(*h*: altura, *m*: distancia)

$$\mathbf{h + 1.45 (a\ la\ altura\ del\ ojo)}$$

También, se tomaron datos de la regeneración natural (plántulas) y daños antrópicos (número de troncos). Los datos fueron organizados en un formato de campo, que fueron digitalizados en una matriz.

Para conocer la dominancia y asociación de las especies del ecosistema de manglar se procedió a agrupar las parcelas por su composición florísticas. Donde se clasificaron como bosque mono dominante y mixto, calculando el promedio de las estaciones de muestreo por especies presentes en cada una de ellas, para conocer el estado actual del ecosistema de manglar.

Determinación de las Biomosas

Para la determinación de la biomasa aérea, representado como AGB (*Above Ground forest Biomass*) y biomasa subterránea, representado como BGB (*Below Ground Biomass*), se utilizaron ecuaciones alométricas; tomando en cuenta los datos biométricos para cada especie y el factor de densidad de madera para cada especie.

Biomasa Aérea

$$AGB = 0.168 * \rho * DBH^{2.471}$$

Biomasa Subterránea (raíces)

$$BGB = 0.199 * \rho^{0.899} * DBH^{2.22}$$

Donde ρ es la densidad específica para cada tipo de especies. Obtenido de Kronebrant (2017) y Bindu et al.,(2018).

Dado que las tres especies de Mangle rojo (*Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* y *Rhizophora harrisonii*) solo se pueden distinguir por el floral, la ρ media del valor de estas tres especies (0,888) se utilizó en los cálculos de biomasa.

La suma de la AGB y BGB corresponde a la biomasa total de la parcela, el cual se utilizó para extrapolar la biomasa en toda la cobertura boscosa del ecosistema de manglar de la Reserva Natural. En cuanto a los análisis descriptivos y estadísticos se realizó con el software R.

Descarga de imágenes satelitales

Se descargaron imágenes satelitales con ayuda del sensor Sentinel 2 de la página web <https://earthexplorer.usgs.gov/>, de preferencia con un tamaño de pixel de 10 x 10 m. Luego de esto las imágenes se procesaron con el software QGIS 3.2 (acceso libre).

El programa de observación remota Sentinel-2, proporciona imágenes multiespectrales con una resolución espacial de 10 y 20 metros que permiten un mejor trabajo en la teledetección, en sí, los satélites Sentinel-2 están diseñados para proporcionar imágenes multiespectrales globales de alta resolución con 13 bandas espectrales, dando una nueva perspectiva de la vegetación y la superficie terrestre, proporcionando información para prácticas agrícolas y forestales (Fig. 2).

La capacidad de Sentinel-2 para obtener imágenes en los diferentes rangos del espectro (verde, rojo, red-edge y NIR) da mayor resolución espacial que otros satélites como Landsat-7 y Landsat-8, (Echeverría Obanos, 2017).

Con imágenes descargadas de Sentinel-2 procedimos a las siguientes correcciones.

Una vez descargadas las imágenes se procedió a realizar los siguientes tratamientos:

Primeramente, se trataron los gaps (vacíos), causados por una falla en el instrumento que corrige las líneas escaneadas, provocando vacíos en las distintas imágenes adquiridas del satélite (Rocha, 1999).

Se procedió a la debida Corrección Atmosférica en el cual consistió en la remoción de nubes de la imagen, lo cual mejoro la separabilidad espectral de los objetos contenidos en ella (Cabrera et al., 2011). Con la Corrección Geométrica se corrige los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en las imágenes, causado por la inclinación del sensor, la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con las imágenes (Rodríguez, 2011).

En las Corrección Radiométrica, se emplea para modificar los niveles digitales de origen, mediante un histograma, en donde se modifica el nivel de intensidad del píxel de la imagen para obtener una imagen que presente un histograma parecido al de la

imagen que se usó como referencia (García y Willems, 2015).

Cálculo de NDVI

Con las imágenes corregidas se calculó el índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI) para estimar la vigorosidad de la vegetación (Rouse et al., 1974). El NDVI está basado en la absorción del espectro rojo y el infrarrojo cercano.

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

Donde NIR= Espectro de Infrarrojo Cercano y R= espectro rojo.

Con los datos de la Biomasa aérea (AGB), Biomasa subterránea (BGB) y los valores del NDVI para las parcelas seleccionadas, se realizó una regresión, a partir de la cual, se calculó la biomasa de toda el área protegida tomando en cuenta la siguiente formula (Myeong et al., 2006).

$$AGB = a * e^{(b*NDVI)}$$

Despeje

$$AGB = 0.0183 * 2.71828^{(9.252*NDVI)}$$

Donde:

$$a = 0.0183$$

$$e = 2.71828$$

$$b = 9.252$$

Modelo 1

$$BGB = a * e^{(b*NDVI)}$$

Despeje

$$BGB = 0.0185 * 2.71828^{(8.1257*NDVI)}$$

Donde:

$$a = 0.0185$$

$$e = 2.71828$$

$$b = 8.1257$$

Modelo 2

Donde a y b son constantes que se obtuvieron de la regresión entre el valor del píxel del NDVI y el AGB (muestreo de campo) de las parcelas seleccionada. El valor de la parcela se ajustó al tamaño del píxel.

Carbono azul almacenado

Para el cálculo del carbono azul almacenado en el bosque de mangle del área protegida se utilizó el método estandarizado internacionalmente para las mediciones del almacenamiento de carbono azul en los ecosistemas, incluidos los manglares (Fourqurean et al., 2014). Para crear el mapa de carbono se multiplicó el total de la biomasa (aérea y subterránea) por el factor de conversión 0.475 (47.5% de biomasa, IPCC) (Bindu et al., 2018), utilizando la calculadora ráster del software QGIS. Se clasificaron espacialmente las zonas con las cantidades de carbono (Mg C ha⁻¹) almacenado en toda la Reserva Natural Isla Juan Venado.

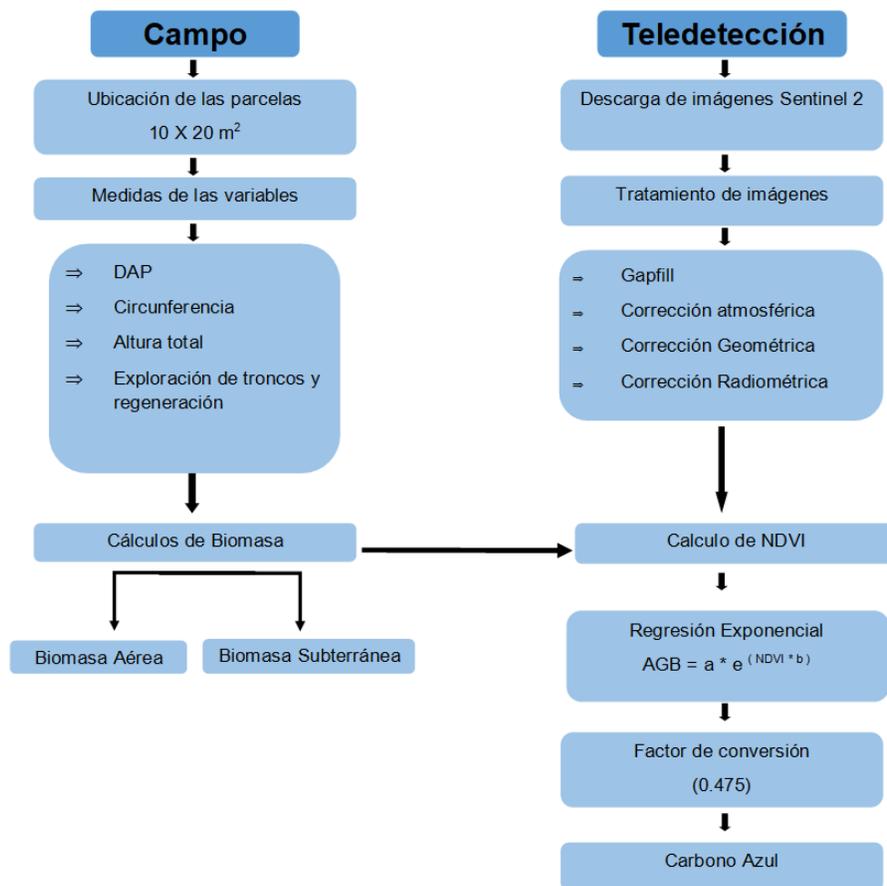


Fig 3. Esquema de metodología en campo y teledetección. (Elaboración propia)

4.6. Análisis de datos

Con ayuda de un formato de campo se recolectaron los datos alométricos de las especies en estudio, una vez recolectados se digitalizaron en una base de datos en Excel, donde se hizo uso de tablas dinámicas facilitando así los primeros análisis y ordenamientos de datos para la obtención de abundancia de especies y densidad.

Para las biomásas se emplearon las fórmulas según (Kronebrant, 2017; Bindu et al., 2018).

$$BGB = 0.199 * \rho^{0.899} * DBH^{2.22} \quad AGB = 0.168 * \rho * DBH^{2.471}$$

Fórmulas empleadas para análisis en teledetección.

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

Regresión

$AGB = a * e^{(b*NDVI)}$ <p>Despeje</p> $AGB = 0.0183 * 2.71828^{(9.252*NDVI)}$ <p>Donde:</p> <p>a = 0.0183</p> <p>e = 2.71828</p> <p>b = 9.252</p> <p style="text-align: right;">Modelo 1</p>	$BGB = a * e^{(b*NDVI)}$ <p>Despeje</p> $BGB = 0.0185 * 2.71828^{(8.1257*NDVI)}$ <p>Donde:</p> <p>a = 0.0185</p> <p>e = 2.71828</p> <p>b = 8.1257</p> <p style="text-align: right;">Modelo 2</p>
---	---

Software R es un software libre, nos permite el análisis de datos en la cual se logra realizar diferentes técnicas estadísticas y graficas donde se maneja de manera más efectiva los datos y cálculos, utilizando graficas para la visualización y el análisis de grandes cantidades de datos de forma más clara. Por estas y más característica es una herramienta básica para analizar nuestros datos.

V. Resultado y discusión

Densidad poblacional

En promedio se muestrearon 1,643 árboles por hectárea. Donde la densidad poblacional máxima para la RNIJV fue de 6,000 ind/ha (tabla 1), por consiguiente, 4,650 ind/ha fueron para *Rhizophora spp*, 800 ind/ha para *Laguncularia racemosa* y para *Avicennia germinans* 550 ind/ha.

Tabla 1. Densidad poblacional(ind/ha) de las especies de manglar en Reserva Natural Isla Juan Venado del año 2021.

Reserva Natural Isla Juan Venado		
Especies de Manglar		
<i>Rhizophora spp</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Avicennia germinans</i>
4650 ind/ha	800 ind/ha	550 ind/ha
Total 6,000 ind/ha		

Los promedios para los individuos por hectárea presentaron una abundancia de 701 ind/ha para *Avicennia germinans* representando así un 42.7%, seguido de *Rhizophora spp* con 492 ind/ha con porcentaje de 29.9% y con respecto a la especie de *Laguncularia racemosa* presenta 438 ind/ha y su porcentaje de 26.7% y por último se encuentra *Conocarpus erectus* con 12 en una sola estación, representando una abundancia del 0.6%.

En estudios realizados por Carvajal & Soto (2006) en la Reserva Natural Padre Ramos registraron valores superiores en abundancia, principalmente de *Laguncularia racemosa* con 2,250 ind/ha. En una investigación ejecutada en la Reserva Natural Isla Juan Venado por Mendoza (2009) reporta a *Laguncularia racemosa* como la especie más dominante con 1,423 ind/ha, superando a *Avicennia germinans* con 1,271 ind/ha y por último 735 ind/ha de *Rhizophora spp*. Se identificó una disminución importante de la abundancia de *Laguncularia racemosa*, inclusive superada por *Avicennia germinans*. Esto se explica debido a la presión por su uso para leña, construcción de ranchos o cabaña y para postes, así mismo, por causa de fenómenos ambientales.

Las zonas donde antes presentaba cobertura de *L. racemosa* son tomadas por *Avicennia germinans*, una especie dominante y de fácil dispersión con el flujo de las mareas, desplazando al resto de especies del bosque de manglar. Los factores antrópicos y naturales que afecta a *L. racemosa* son aprovechado por *A. germinans*, aumentando su cobertura y densidad en comparación con el estudio de Mendoza (2009).

El Palo de sal (*A. germinans*) crece con el Agelí (*L. racemosa*) en donde los terrenos son bajos, con salinidades de alrededor de 30 a 40 ups (Unidades Prácticas de Salinidad), cuando las salinidades del suelo son de más de 50 ups, el Palo de sal será dominante (Lagos, 2014). Chicas et al. (2016) considera que *A. germinans* puede sobrevivir a estas condiciones hipersalinas.

Tabla 2. Comparación de los estudios realizados en cuatro momentos en la Reserva Natural Isla Juan Venado del año 2021.

Reserva Natural Isla Juan Venado			
Especies de Manglar			
Estudios realizados	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora spp</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>
Ammour et al. (1999)	2000	1900	3900
Gutiérrez et al. (2007)	55	135	255
Mendoza (2008)	1271	735	1423
Estudio actual (2021)	1095	842	878

En la comparación de los cuatro estudios de las densidades poblacionales de las especies *Avicennia germinans*, *Rhizophora spp* y *Laguncularia racemosa* realizados en la Reserva Natural Isla Juan Venado se logra apreciar una disminución de densidades desde el año 1999 hasta el 2021 (Tabla 2), donde se tenían densidad de especies de 2000 individuos para *Avicennia germinans*, 1900 para *Rhizophora spp* y 3900 individuos para *Laguncularia racemosa* en un inicio. Donde esto nos indica que para el 2021 solo se encontró el 54.7% de la cantidad inicial de individuos para *Avicennia germinans*, Teniendo como resultado una pérdida de 45.3%. Para *Rhizophora spp* se encontraron el 44.3% individuos teniendo una pérdida de 57.7%, en cuanto a *Laguncularia*

racemosa el resultado fue de 22.5% presentando una pérdida de 77.5% de la densidad inicial en el estudio realizado por (Ammour et al., 1999).

Los cambios en la densidad de población que ha transcurrido desde el año 1999 a 2008 ha disminuido más del 50% para *Rhizophora spp* y *Laguncularia racemosa* con 61.4% y 63.6% respectivamente y poco ha sido para *Avicennia germinans* con 36.5% en este periodo de 9 años. A partir del año 2008 al 2021 el ecosistema ha seguido perdiendo densidad de bosque de manglar, pero de forma desacelerada, siendo estos últimos 13 años donde se ha notado la pérdida de menos del 50% de lo que se perdió en el periodo de 1999 a 2008; en este período 2008 al 2021 *Avicennia germinans* perdió 13.9%, en cuanto a *Laguncularia racemosa* solo se perdió el 38.3%, en cambio se ha logrado recuperar el 12.8% de la densidad para *Rhizophora spp*.

El aumento de la densidad del bosque de *Rhizophora spp* se debe, posiblemente a las restricciones de su uso y las campañas de reforestación realizadas por la administración del área protegida (González Quiroz, 2016; Kronebrant, 2017). La disminución de la densidad del bosque de *L. racemosa* se debe mayormente a las diversas explotaciones, a el uso como leña y a la buena aceptación por parte de los usuarios.

Morfometría

Altura

La altura promedio más alta se registró en *Rhizophora spp* y *Laguncularia racemosa* obtuvieron valores similares de 7.3 ± 4.7 m para *Rhizophora spp* y 7.2 ± 3.9 m para *Laguncularia racemosa* (Tabla 3), en cuanto a los valores máximos en la altura de sus individuos, ambas especies presentaron alturas de máximas de 30 m, a diferencia de *Avicennia germinans*, su promedio anda en 5.6 ± 3.5 m, con valores máximos en sus individuos de 25.0 m de altura.

Tabla 3. Promedios registrados de altura total en las especies muestreadas en el bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado del año 2021.

Especies	Promedio	Máx	Mín
<i>Avicennia germinans</i>	5.6±3.5	25.29	1.0
<i>Conocarpus erectus</i>	2.7±1.0	5.49	2.0
<i>Laguncularia racemosa</i>	7.2±3.9	30.00	1.0
<i>Rhizophora spp</i>	7.3±4.7	30.00	1.0
Total	6.79±5.42	40.00	1.0

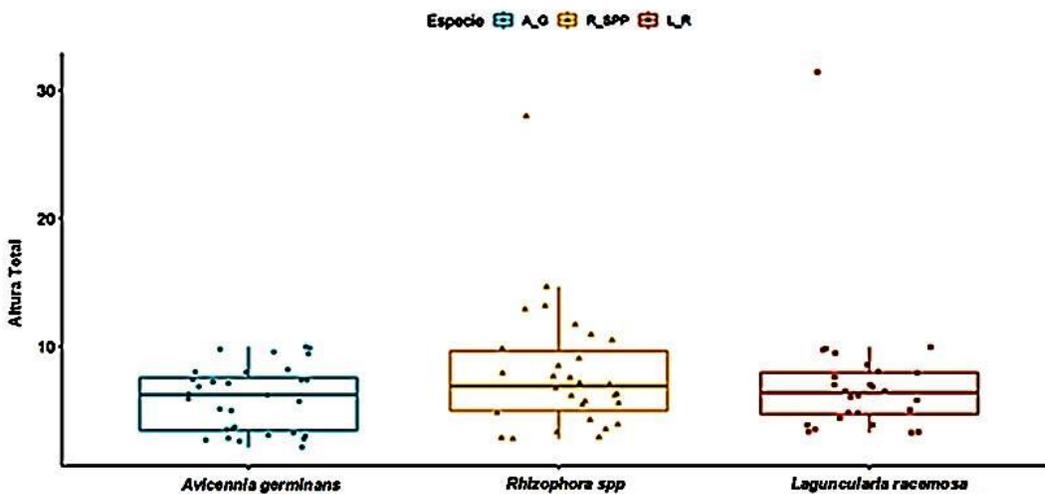


Fig 4. Promedios registrados de altura total en las especies muestreadas en el bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboracion propia).

Las alturas promedio de las especies no presentaron diferencia significativa ($p=0.05$, ≥ 0.328).

Diámetro a la altura del Pecho (DAP)

Los mayores diámetros a la altura de pecho se registraron en *Rhizophora spp* y *Avicennia germinans*. El promedio para *Rhizophora spp* fue de 8.7 ± 5.9 cm, con valores máximos de 35 cm y para *Avicennia germinans* con valores de 8.5 ± 4.8 cm, similares a la especie anterior, pero con individuos que alcanzaron diámetros máximos de 49.36 cm. En cuanto a *Laguncularia racemosa* con una media de 6.7 ± 3.7 cm fue la que menor promedio obtuvo comparada con las dos especies anteriores, presentado valores máximos de 27.17 cm en sus individuos y *Conocarpus erectus* es una de las especies

menos explotadas en comparación con las especies cercanas a los esteros, aprovechando de esta manera alcanzar uno de los mayores diámetros. (Tabla 4)

Tabla 4. Promedios del Diámetro a la altura de pecho(DAP) de las especies del bosque de manglar de la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021.

Especies	Promedio (cm)	Máximo (cm)	Mínimo(cm)
<i>Avicennia germinans</i>	8.5±4.8	49.36	0.96
<i>Conocarpus erectus</i>	11.7±6.6	21.66	5.41
<i>Laguncularia racemosa</i>	6.7±3.7	27.17	1.91
<i>Rhizophora spp</i>	8.7±5.9	35.03	1.91

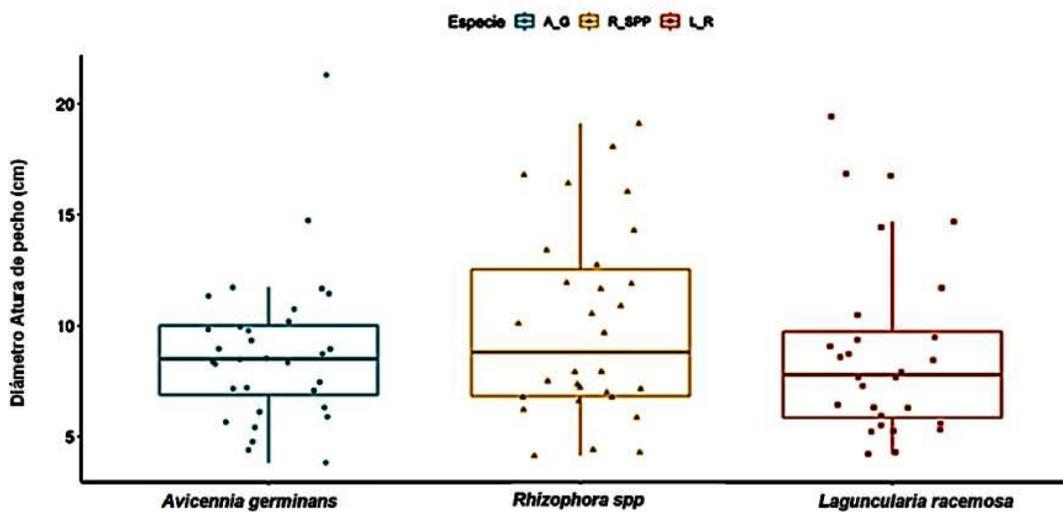


Fig 5. Media de Diámetro a la Altura de Pecho (DAP) de las especies de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).

Al comparar el diámetro de altura del pecho entre las especies (Fig. 5) no presentó diferencia significativa ($p=0.05$, 0.4685).

En general se observa un ligero aumento de los DAP y la altura del presente estudio con respecto al realizado por Mendoza (2009) posterior a la tormenta Alma. Se observó un aumento promedio de 3 cm de DAP, pasando de 5 cm a 8.07 cm.

En el ecosistema de manglar de la RNIJV las comunidades aledañas aprovechan la leña y madera para la construcción. Además, fue afectada por la tormenta Alma para el

año 2008, que causó daños a el bosque maduro de mangle rojo que existía en el área protegida (Kronebrant, 2017). Por otro lado, los valores del DAP del presente estudio son inferiores a los reportados por Chicas et al. (2016) en bosques de la Bahía de La Unión en El Salvador y Alfaro-Sibaja et al. (2015) en el manglar “Palo seco” de Quepos en Costa Rica. Asimismo, son inferiores a los reportados por Samper-Villarreal y Silva-Benavides (2015) en Playa Blanca (Golfo Dulce, Costa Rica), aunque estos mismos autores reportan valores similares a los nuestros en Escondido y Rincón de Osa.

Regeneración

En cuanto a la regeneración se obtuvo a través del conteo de plántulas presentes por parcelas para luego agruparlas por especies donde se encontró un promedio de plántulas de 1409 ind/ha de *Avicennia germinans* que obtuvo el 50% seguido por *Rhizophora ssp* 1140 plántulas ind/ha con el 41%, *Laguncularia racemosa* presento con 213 plántulas ind/ha el tanto 8% y por último *Conocarpus erectus* 20 plántulas ind/ha con el 1% siendo esta última su presencia de una sola parcela (Fig. 6).

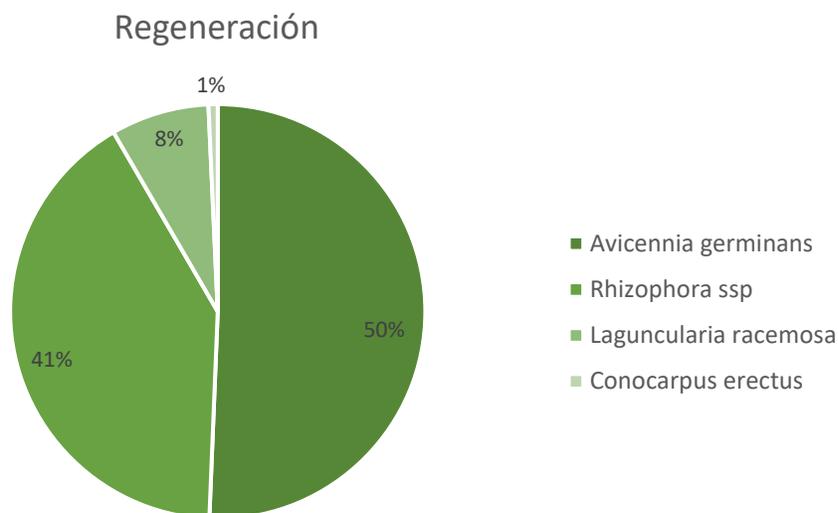


Fig 6. Regeneración natural de las especies del bosque de manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado. (Elaboración propia)

En el caso de *Avicennia germinans* crece en el interior y lejos de los bordes del estero debido a su estado físico de adaptación en el ecosistema esta especie es una de mayor tolerancia en altas concentraciones de salinidad (González-Hernández et al., 2016). Por su parte Alfaro et al. (2015) destaca que *Avicennia germinans* presenta altas tasas de producción de semillas y la competencia con otras plantas parece ser uno de los factores más influyentes en el crecimiento de los árboles jóvenes.

Dominancia y asociación de especies por punto muestreado según su composición florística

Según la composición florística el 42% de las estaciones está formado por bosque mono dominante; *Avicennia germinans* con el 28% (14 estaciones de muestreo), *Rhizophora spp* con el 10% (5 estaciones de muestreo) y por último *Laguncularia racemosa* con 4% (solo 2 estaciones de muestreo).

El bosque mixto está conformado por 58% de las estaciones de muestreo en donde la especie *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora spp* estuvo presente en 10 estaciones de muestreo (20%), *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* presentaron el 10% haciendo presencia en 5 estaciones. Se encontró juntas *Avicennia germinans* y *Rhizophora spp* en 4 estaciones (8%). Por otro lado, se encontraron las tres especies en 9 estaciones (18%).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en bosque de manglar

En la (Fig. 7) podemos observar la diferencia en las tonalidades de verdes o intensidad de la reflectancia de la vegetación donde a mayor verdor mayor vigorosidad en el ecosistema (Meneses Tovar, 2011), agrupando en categorías que van desde -0.1 a 0.60 (Tabla 5).

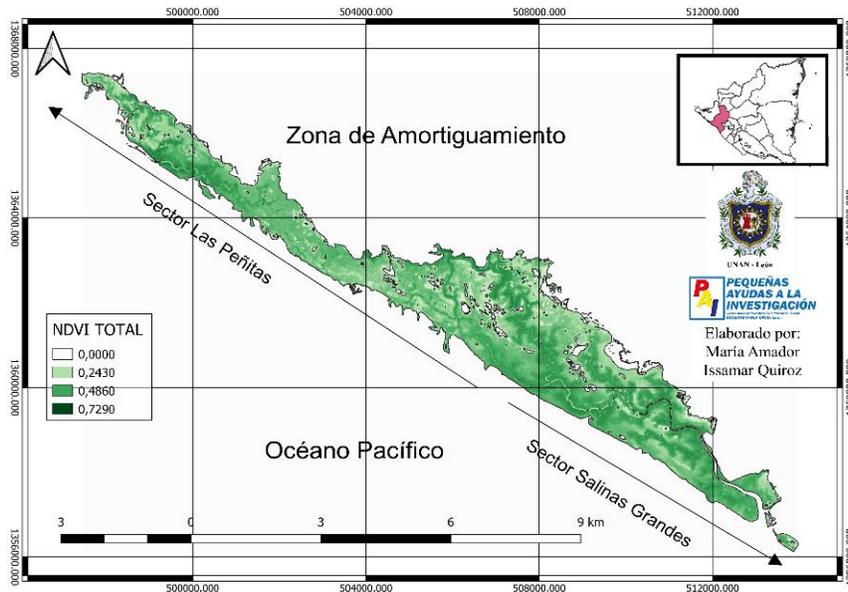


Fig 7. Índice de Vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).

Los valores de NDVI más elevados corresponden mayormente a la zona de Salinas Grande con rango de 0.48 a 0.72 (valor de los pixeles), siendo los más altos, reflejando así la vegetación más densa de toda la Reserva. Estos valores son superiores a los obtenidos por Uriarte & Orozco (2019) en el estudio realizado en la Reserva Natural Estero Real Chinandega, en donde sus valores en la vegetación más densa fueron de 0.50 a 0.60.

Tabla 5. Categorización de los valores del Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI) encontrados en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).

Rangos de NDVI	Concordancia	Definiciones
-0.1 – 0.00	Sin vegetación	Se refiere a la presencia de agua, suelos desnudos.
0.00 – 0.24	Poca Vegetación	Hace referencia a arbustos.
0.24 – 0.48	Vegetación moderada	Vegetación moderada.
0.48 – 0.72	Vegetación Densa	Donde la vegetación abundante o densa.

Distribución Espacial de Biomasa Aérea

Para el cálculo de la biomasa se utilizó el Modelo 1 (AGB), por consiguiente, en las estaciones de muestreo que registraron los mayores valores de biomasa aérea fueron 71 (218.9 ton/ha), 37 (213.5 ton/ha), 68 (175.6 ton/ha) y 17 (161.0 ton/ha). En cuanto a los valores más bajos se registraron en las estaciones 49 (5.2 ton/ha), 34 (6.0 ton/ha), 25 (7.7 ton/ha) y 22 (13.3 ton/ha) (Fig. 8).

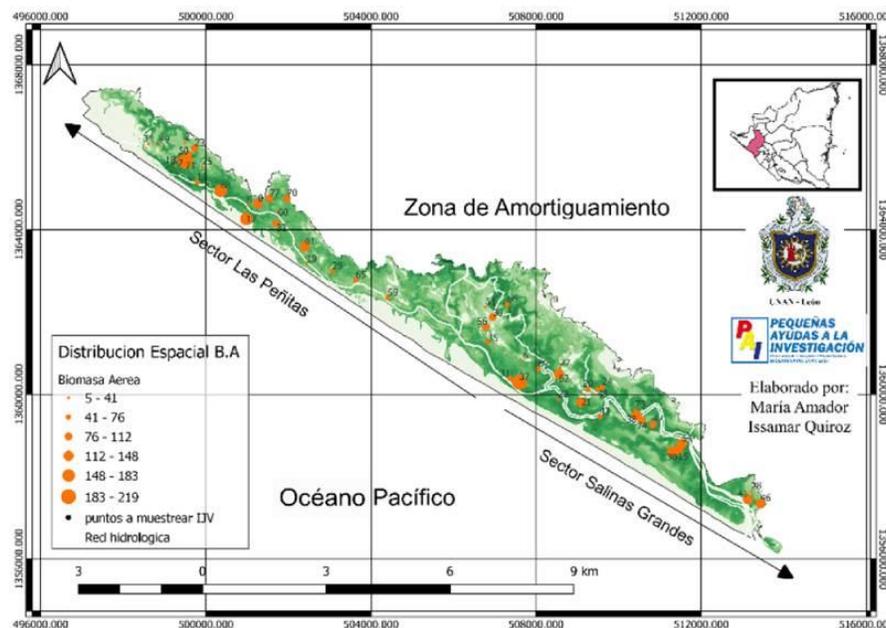


Fig 8. Distribución Espacial de Biomasa Aérea en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).

Distribución Espacial Biomasa Subterránea

Para el cálculo de la biomasa se utilizó el Modelo 2 (BGB), por lo tanto, son las mismas estaciones de muestreos con los valores más altos en la biomasa aérea también se reportan para la biomasa subterránea, ya que existe una correlación entre estas dos. Para biomasa subterránea tenemos las siguientes parcelas 37, 71, 68 y 17. Donde las dos primeras reflejan valores similares. Para 37 tenemos (113.8 ton/ha) y (113.1 ton/ha) en la estación 71, seguido de 68 con (95.7 ton/ha) y como el ultimo 17 con (95.6 ton/ha) (Fig. 9).

En los valores más bajos en biomasa subterránea tenemos las parcelas 49, 34, 22 y 60 con el valor más bajo esta la parcela 49 con la cantidad de (4.2 ton/ha), para 34 con (5.1 ton/ha), seguido de la parcela número 22 con (9.038 ton/ha) y el punto 60 con (14.8 ton/ha).

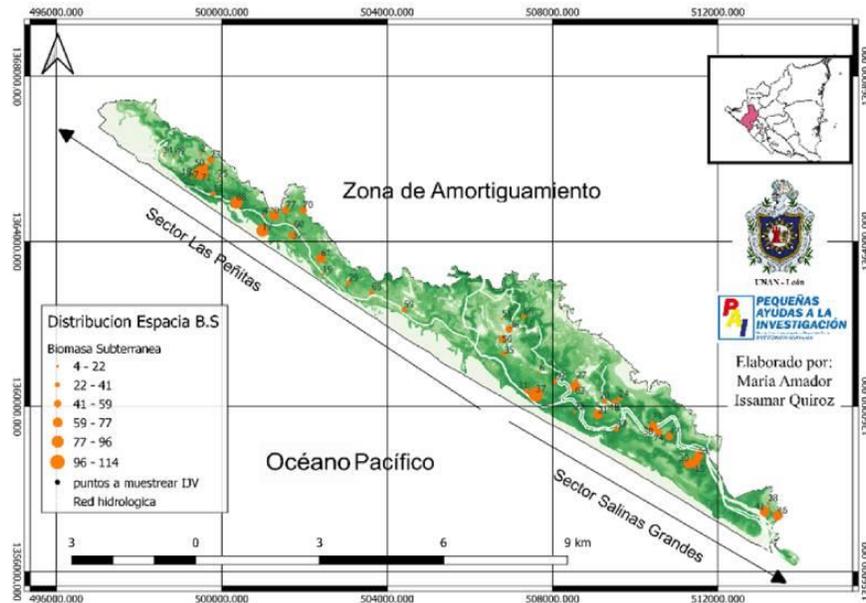


Fig 9. Distribución Espacial subterránea en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración Propia).

Biomasa total

Los valores de biomasa total calculado para la Reserva Natural fueron de 363,299.7 Mg, en promedio se registraron 155.9 (Mg ha^{-1}) (tabla 7), observando los valores más bajos en la zona de Las Peñitas. Esto resultados son inferior a los reportados por Manrow Villalobos (2011) en manglares de Gandoca ($330.27 \text{ Mg ha}^{-1}$) y Moín ($257.10 \text{ Mg ha}^{-1}$) en Costa Rica.

Por otro lado, nuestros resultados son comparable (157.6 Mg ha^{-1}) a los valores encontrados por Monsalve & Ramírez (2015) en el bosque de manglar de la Bahía Málaga en Colombia.

En la (fig. 10) se logra apreciar que una notable disminución en la zona central hacia Las Peñitas, donde se observa un área muy extensa que refleja valores bajos de

Biomasa. Esto indica que posiblemente la extracción de leña o madera hayan ocasionado este daño en este determinado sector de la Reserva.

La biomasa para los ecosistemas de manglar es muy importante debido a que estos acumulan el carbono en su biomasa leñosa y en sus suelos compuestos por hojarasca (Alongi, 2012).

Como todas las plantas usan CO₂ por medio de la fotosíntesis para la transformación en biomasa vegetal (troncos, raíces y hojas), tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de biomasa y un potencial reservorio de carbono; por esta razón forman parte de los ecosistemas más importantes en la mitigación del cambio climático absorbiendo dióxido de carbono atmosférico (Bautista-Olivas et al., 2018; Saade et al., 2022).

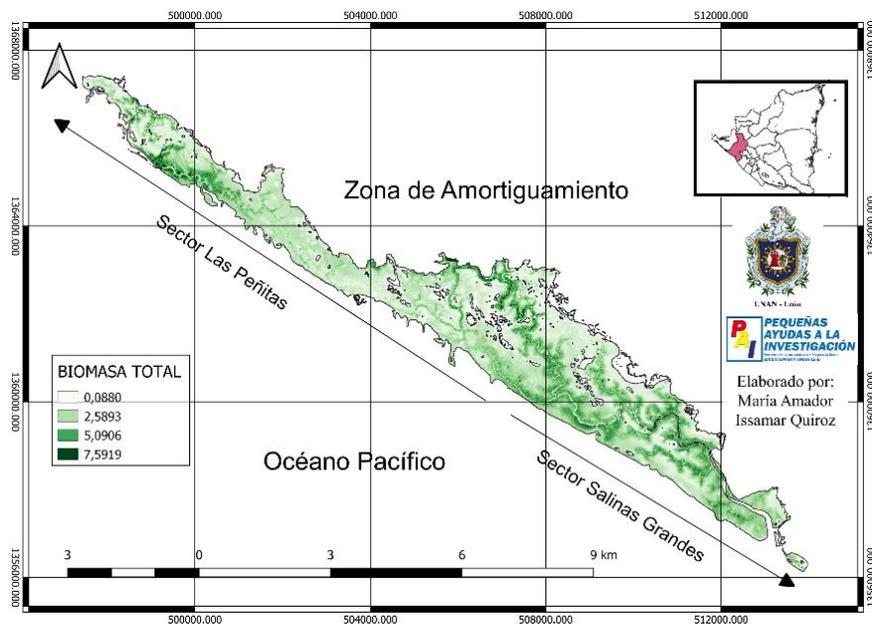


Fig 10. Biomasa total (Biomasa aérea y Biomasa subterránea) en la Reserva Natural Isla Juan Venado. (Elaboración propia).

Carbono almacenado

El sumidero de carbono Azul para la Reserva Natural Isla Juan Venado es de 172,567.4 Mg C (sin incluir el carbono almacenado en el suelo) para las 2,330.7 ha de

manglar estimada (Tabla 6). Esto representa 74.0 Mg C ha⁻¹ del promedio de almacenamiento para este Ecosistema de manglar.

Tabla 6. Biomasa (aérea y subterránea) y Carbono acumulado en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021.

Zona muestreada	Area (ha)	Biomasa Aérea (Mg Pixel ⁻¹)	Biomasa Subterránea (Mg Pixel ⁻¹)	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	Total Biomasa (Mg)	Carbono Azul (Mg C ha ⁻¹)	Carbono Azul (Mg C)
Reserva Natural Isla Juan Venado	2,330.7	0.97±0.80	0.58±0.43	155.9	363,299.7	74.0	172,567.4

El promedio de 74.0 Mg C ha⁻¹ en reserva de carbono azul, siendo inferior a la media mundial de 738.9 Mg C ha⁻¹ (fig. 11) y a las reservas totales de carbono para Centroamerica, Norteamerica y el Caribe con media de 777,7 Mg C ha⁻¹ estimado por (Alongi, 2020). Esto indica que la media de Mg C ha⁻¹ de la RNIJV tiene el 10.01% de la media mundial y el 9.5% de la media de Norte y Centro America.

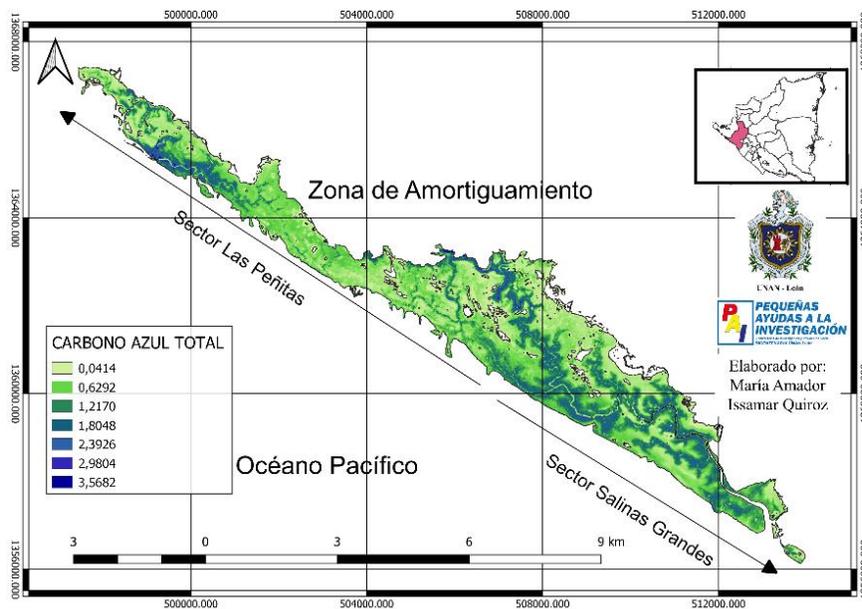


Fig 11. Carbono Azul Total en la Reserva Natural Isla Juan Venado en el año 2021. (Elaboración propia).

Los manglares se encuentran, en promedio, entre los fijadores de carbono más competentes del planeta y son sin duda, el ecosistema más productivo de la zona costera, habitando aproximadamente el 0,5 % del área costera mundial total, pero

representan aproximadamente el 10-15 % del secuestro total de carbono en el océano costero. Conteniendo reservas totales de carbono promedio de 956 Mg ha.⁻¹ . Donde la mayor parte del carbono en los manglares se almacena como grandes depósitos de carbono en el suelo y raíces subterráneas (Alongi, 2014; Van et al., 2012).

En todos los sitios de manglares muestreados en Honduras, las reservas de C de los manglares oscilaron entre 306 Mg C ha⁻¹ en El Marion (manglar alto) en la costa del Caribe a 1632 Mg C ha⁻¹ en y Oyster Bed (manglar bajo) en las Islas de la Bahía.(Bhomia et al., 2016).

En cuanto a la investigación realizada en Guatemala por Rodríguez Hernández (2017) en el area de conservación Sipacate – Naranjo la densidad de carbono es de 66.08 Mg C ha⁻¹ cabe mencionar que es una investigación pionera al ser la primera realizada en Guatemala en la exploración potencial de reservas de carbono al igual que la realizada en este estudio para la Reserva Natural Isla Juan Venado donde los valores para carbono son superiores con 74.0 Mg C ha⁻¹. Esto podría ser ya que la Reserva Natural Isla Juan Venado en cuanto al área de estudio es el doble de hectáreas comparadas con las estudiadas en Sipacate – Naranjo (Guatemala) que cuenta con 1,682.32 ha y para la Reserva Natural Isla Juan Venado de 2,330.7 ha.

Con el estudio realizado recientemente en Sonsonate en El Salvador por Escobar Ramírez (2020), realizadas en dos áreas de estudio (Barra Salada y Playa Dorada) el carbono total fue equivalente a 272.01 Mg C ha⁻¹ y 293.54 Mg C. ha⁻¹ respectivamente.

De los estudios realizados en algunos países Centro Americanos la RNIJV sigue teniendo los valores inferiores en carbono almacenado por el ecosistema de manglar a excepción de Guatemala que fue el único que presentó valores menores a los realizados por este estudio.

La mayores capturas de carbono se han dado en parcelas donde se encontro mayor concentración en biomasa tanto aérea como subterránea, esto debido a que entre mayor es el incremento de biomasa, constituye una mayor capacidad en la captura de carbono y aumento de la actividad fotosintética, la cuál implica la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

VI. Conclusiones

- ✚ *Avicennia germinans* es la especie con mayor densidad en toda la Reserva, superando a *Laguncularia racemosa* que ha estado en constante disminución.
- ✚ En *Rhizophora spp* desde el año 2008 hasta 2021 es la única especie que ha tenido un aumento considerable en sus valores de densidad poblacional, producto de las regulaciones y planes de manejo.
- ✚ El DAP y la altura de las especies de bosque de manglar de la Isla Juan Venado corresponde a un bosque joven, intervenido o afectado por factores antrópicos y naturales.
- ✚ En cuanto a la regeneración natural *Avicennia germinans* sigue siendo dominante, comparado con *Laguncularia racemosa*.
- ✚ La zona de Salinas Grandes presenta la mayor producción en biomasa y carbono almacenado.
- ✚ La media de reserva de carbono azul en la RNIJV es inferior a la media mundial.
- ✚ La Reserva Natural Isla Juan Venado es un reservorio importante de carbono, con potencial a aumentar con la ayuda del manejo adecuado del bosque.

VII. Recomendaciones

- ✚ Llevar a cabo monitoreos multitemporales de toda la Reserva Natural con el fin de conocer los cambios en el ecosistema de manglar con el tiempo.
- ✚ Es necesario realizar seguimientos de este tipo de estudios con respecto a captura y almacenamiento de carbono en Biomasa aérea, subterránea y de suelo en la reserva natural para obtener un estudio más completo en biomasa y almacenamiento de carbono total.
- ✚ Realizar estudios de predicciones de cambio del uso de suelo y cobertura del manglar en la Reserva Natural Isla Juan Venado.
- ✚ Para posibles estudios obtener mejores resoluciones en imágenes satelitales.
- ✚ Estudiar y determinar que especies son pioneras en la regeneración natural o cuales tienen mayores desventajas, esto para conocer cuales están siendo más vulnerables.
- ✚ Realizar monitoreos constantes en aéreas más vulnerables o afectadas por la deforestación y constante explotación de los recursos del ecosistema de manglar.
- ✚ Analizar la posibilidad de solicitar pagos por servicios ambientales por captura de carbono azul en el ecosistema de manglar.

VIII. Bibliografía

- Aburto, M. O. (2022). *Reservorio de carbono azul: Los manglares*. 23.
- Acuña, J., Quesada, A., & Vargas, C. (2018). *Cobertura y Distribución de las Especies de Mangle en el Humedal Nacional Anuario do Instituto de Geo ciencias - UFRJ Cobertura y Distribución de las Especies de Coverage and Distribution of the Mangrove Species in the Térraba-Sierpe National Wetland* , *Cos.* 41(February 2020), 120-129. <https://doi.org/10.11137/2018>
- Agudelo, C. M., Bolívar, J., Polanía, J., Urrego, L. E., Yepes, A., & Sierra, A. (2015). *Estructura y composición florística de los manglares de la bahía de Cispatá, Caribe colombiano. Biología Tropical*, 63(December), 1137-1147.
- Alfaro, L., Barquero, D., Fonseca, A., Montoya, R. A., Morales, V., & Ramírez, D. (2015). *Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco*, 7(2), 325-332.
- Alfaro-Sibaja, L., Barquero-Salgado, D., Fonseca, A., Montoya-Solano, R. A., Morales-Cerdas, V., & Ramírez-Arce, D. (2015). *Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco, Quepos, Costa Rica*. 7(2), 325-332.
- Alongi, D. M. (2012). *Carbon sequestration in mangrove forests. Carbon Management*, 3(3), 313–322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>
- Alongi, D. M. (2014). *Carbon cycling and storage in mangrove forests. Annual Review of Marine Science*, 6, 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Alongi, D. M. (2020). *Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation (Version 1). Sci*, 2(3), 57. <https://doi.org/10.3390/sci2030057>
- Ammour, T., Imbach Hermida, A. C., Suman, D., & Windevoxhel, N. (1999). *Manejo productivo de manglares en América Central*. <http://hdl.handle.net/11554/2984>
- Ávila, D., Curbelo, E., Cruz, D., Ferrer, Y., & Tame, F. (2020). Remote sensing assessment of spectral characteristics of mangrove forests in Cuba: a methodological approach. *Acta Botanica Cubana*, 219(2), 92–112.
- Baez, P. C. (2009). *Destrucción y contaminación de ecosistema del manglar por parte de personas que lo utilizan para el cultivo de camarón y producción de sal*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Bautista-Olivas, A. L., Mendoza-Cariño, M., Cesar-Rodriguez, J., Colado-Amador, C. E., Robles-Zazueta, C. A., & Meling-López, A. E. (2018). *Above-ground biomass and*

carbon sequestration in mangroves in the arid area of the northwest of Mexico: Bahía del Tórabí and Estero El Sargento, Sonora. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 24(3), 387–403.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.02.020>

- Benavides, H. O., & León, G. E. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. En *Ideam*. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Blanco, J. F., Ortiz-Acevedo, L. F., & Urrego, L. E. (2015). *Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano) (Colombian Caribbean)*. 37(103), 131-141. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a02>
- Botero, E. U. (2015). Estudios del cambio climático en América Latina: El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. En *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- Bravo, J. R., Almanza, M. J., & Sariago, I. (2006). El manglar, ecosistema de vida. *The Sustainable Coasta Communities and Ecosystems Program*, 18.
- Bindu, G., Rajan, P., Jishnu, E. S., & Ajith Joseph, K. (2018). Carbon stock assessment of mangroves using remote sensing and geographic information system. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 23(1), 1–9.*
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.006>
- Bhomia, R. K., Kauffman, J. B., & McFadden, T. N. (2016). Ecosystem carbon stocks of mangrove forests along the Pacific and Caribbean coasts of Honduras. *Wetlands Ecology and Management, 24(2), 187–201.* <https://doi.org/10.1007/s11273-016-9483-1>
- Caballero, L. M. (2009). *Evaluación ecológica rápida del estado actual bosque de mangle en cuatro sectores (El Toro, El Rosario, El Embudo) de la isla Juan Venado las Peñitas-Salinas Grandes, después de la tormenta tropical Alma mayo 2008.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León.
- Cabrera, E., Vargas, D. M., García, G., & Ordoñez, M. . (2011). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, Nivel Subnacional Escala Grues y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-.
- Carvajal, E., & Soto, R. (2006). *Estado actual del bosque de mangle en la Reserva Natural Estero Padre Ramos (Chinandega), mayo- noviembre 2005.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León.

- Carvajal, M., Herrera, Á., Valdés, B., & Campos, R. (2020). *Mangroves and their Ecosystem Services: Towards Sustainable Development*. *Gestión y Ambiente*, 22(2), 277-290. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.80639>
- Challenger, A., Dirzo, R., Acosta, J., Mendoza, E., Lira, A., Cruz, I., Florez, A., & Gonzalez, M. (2009). Tendencias de cambio y estado de la biodiversidad, los ecosistemas y sus servicios.
- Chicas, F. A., Gonzales, J. A., & Sayes, J. A. (2016). *Composición florística y estructura del manglar de la Bahía de La Unión, El Salvador*. *Rev. COMUN. Cient. Tecnol.*, 2(1), 52-64.
- Chow Méndez, N. M. (2019). Importancia de los ecosistemas de manglares para la conservación de los medios de vida de las familias de la Bahía de Bluefields, RACCS, Nicaragua ante el cambio climático.
- Córdoba, H., & Martínez, N. (2020). *Evaluación de las condiciones ambientales del ecosistema de manglar en Ostinal, San Juan del Sur, Rivas-Nicaragua*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua.
- De la Peña, A., Rojas, C., & De la Peña, M. (2010). *Valoración Económica del Manglar por el Almacenamiento de Carbono, Ciénaga Grande de Santa Marta*. *CLIO América*, 4(7), 133-150. <https://doi.org/10.21676/23897848.400>
- Días, J. (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Universidad Complutense De Madrid, 78.
- Díaz, C., Castro, I., & Manjarrez, G. (2010). *Mangles de Cartagena de indias: patrimonio Biológico y fuente de biodiversidad*. En *Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco*.
- Echeverría Obanos, A. (2017). *Utilidad de las imágenes Sentinel-2 para la estimación de la densidad de alfalfa en Bardenas Reales*. Universidad Pública de Navarra.
- ESA - SENTINEL 2. (n.d.). Retrieved February 22, 2022, from https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2
- Escobar Ramírez, M. E. (2020). *Determinación de la existencia de carbono azul en el bosque de manglar en playa dorada y barra salada, Sonsonate, El Salvador, de julio a diciembre de 2019*.

- Espinoza, M. J., & Herrera, F. J. (2008). *Importancia de los Recursos Naturales de la Isla Juan Venado en las condiciones socioeconómicas de la población de Las Peñitas y Salinas Grandes*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León.
- Estupiñan, D. (2022). Análisis de la importancia de los manglares para el Sosténimiento de los medios de vida de las comunidades del área urbana en el municipio de Mosquera ante los efectos del cambio climático. Universidad Católica de Manizales.
- FAO & PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. En *el estado de los bosques del mundo 2020*.
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., & Primavera, J. (2019). The state of the World's Mangrove Forests: past, present, and future. *Annual Reviews of Environmental and Resources*, 44(16), 1–27.
- Fernández, R. (2007). *Uso de Plantas de la Reserva Natural Isla Juan Venado*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León.
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C., Megonigal, J. P., Rahman, A. (Faiz), Saintilan, N., & Simard, M. (2014). *Coordinadores de la Iniciativa Internacional de Carbono Azul. Conservación Internacional*.
- Fourqurean, J., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C. E., Megonigal, J. P., Rahman, A., Saintilan, N., & Simard, M. (2015). Carbono azul. *CARBONO AZUL: Métodos Para Evaluar Las Existencias y Los Factores de Emisión de Carbono En Manglares, Marismas y Pastos Marinos Métodos Para Evaluar Las Existencias y Los Factores de Emisión de Carbono En Manglares, Marismas y Pastos Marinos*, 9, 1-186.
- García, J. ., & Willems, B. L. (2015). Metodología para el Estudio de Bofedales en Cabeceras de Cuenca Usando Datos Imágenes de los Sensores TM, OLI a bordo de los Satélites Landsat - Caso Estudio: Bofedal Chunal, Cuenca Alta del río Chillón: Avances. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 1, 5562–5569. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.1.4803>
- González Quiroz, O. D. (2016). *Evaluación Integrada de Socioecosistemas para la Gestión de la Franja Marino-costera: Aplicación en la Costa Del Pacífico de Nicaragua*. Universidad de Alcalá.
- González-Hernández, L., Sol-Sánchez, Á., Pérez-Vázquez, A., & Obrador-Olan, J. J. (2016). *Sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (Avicennia germinans L.) en plantaciones*

reforestadas y regeneración natural. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14, 2769-2782. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.445>

Guadamuz, N., & Bloomfields, M. S. (2019). Composición florística y estructura del manglar de los Cayo Miskitos a 10 años después del huracán Félix. *Revista Universitaria Del Caribe, 22(1), 88–93. <https://doi.org/10.5377/ruc.v1i22.8422>*

Gutiérrez, N. N., Toruño, A. R. H., & Zapata, M. I. L. (2008). *Estructura de la vegetación de manglares en el estero de la Reserva Natural Isla Juan Venado*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León.

Hernández, D. (2020). *Beneficios del carbono azul en el mercado voluntario: caso de estudio en manglares del DMI*. Tesis de maestría para optar al título de Magíster en Gestión Ambiental de Sistemas Marino Costeros.

Hernández, J. M., Lara, J. R., & Gaxiola, G. (2017). *Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano Del Carbono, 1(1), 80.*

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 (Carbon (Issue 4209).*

IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. In ... de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>

Jiménez, J. A., & Sauter, K. (1991). *Structure and Dynamics of Mangrove Forests Along a Flooding Gradient. 14(1), 49-56.*

Junca, D. (2018). Almacenes de carbono y emisiones de metano en Manglares con diferente composición de especies en la costa de Veracruz, México. Universidad del Bosque.

Kronebrant, L. (2017). *Mangrove forest rehabilitation in Nicaragua Regrowth of mangrove trees and the importance to local resource users*. Univesity of Gothenburg.

Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. In *Remote Sensing (Vol. 3, Issue 5)*. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>

Lagos, L. A. P. (2014). *Competencia de Rhizophora spp., Avicennia germinans y Laguncularia racemosa en parcelas establecidas en el ecosistema de manglar en la Isla Santa Lucía, Las Peñitas*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN–León.

- López, A. (2017). *Carbon balance and determinant processes in semiarid ecosystems of southeast Spain*. En *Programa de Doctorado en Ciencias de la Tierra* (Vol. 21, Issue 2). Universidad de Granada.
- Løyché Wilkie, M., & Responsabilidad, D. DE. (2005). Para obtener mayor información dirigirse a. www.fao.org/fo
- Lozano, M. A., Rodríguez, G., Domínguez, O., & Gómez, J. (2019). *The ecosystem services in mangrove: favorable to climatic change, the community and local development*. *Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2, 120-127.
- Manrow Villalobos, M. (2011). *Estructura, Composición Florística, Biomasa Y Laguna De Gandoca Y Estero Moín*, 2011.
- Martínez, M., & Vera, A. (2013). *Bosque de manglar: ambiente para la enseñanza y aprendizaje de la Ecología*. *Multiciencias*, 13(1), 46-52.
- Mejía, L., Molina, M., Sanjuan, A., Grijalba, L., & Niño, L. (2014). *Bosque de manglar un ecosistema que debemos cuidar*. 28.
- Mendoza, J. T. (2009). *Evaluación del estado del bosque en la Reserva Natural Isla Juan Venado, sector Las Peñitas*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León.
- Meneses Tovar. (2011). *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque*. 62, 39-46.
- Mesoam, E. (2006). Los manglares venezolanos. 4, 18.
- Meza, L. P. (2015). *Biomasa aérea y contenido de carbono de los bosques del área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta*. Perú. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Myeong, S., Nowak, D. J., & Duggin, M. J. (2006). A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.001>
- Moncada, A. (2017). *Estructura del bosque de manglar como base para la formulación de una estrategia de manejo ambiental en el municipio de Buenaventura, Valle del Cauca*. Universidad Autónoma de Occidente Santiago de Cali.

- Monsalve, A., & Ramírez, G. (2015). *Caracterización de la estructura y contenido de carbono de los bosques de manglar en el área de jurisdicción del Consejo comunitario La Plata, Bahía Málaga, Valle del Cauca*. 57(4), 80.
- Moreno, Julia, C., Rosa, C., Jesús, G., Luis, A., & Esthela, E. (2010). *Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla del Carmen*. 4, 23-39.
- Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. En *Naciones Unidas* (Vol. 62301).
- Ortiz, L. (2016). *Efectos de la tala selectiva sobre la pérdida de especies fundadoras y su función como reservorios de biomasa y de Carbono aéreo y subterráneo en los manglares del golfo de Urabá (caribe colombiano)*. Universidad de Antioquia.
- Pacheco, P., Mo, K., Dudley, N., Shapiro, A., Aguilar, N., Ling, P., Anderson, C., & Marx, A. (2021). *Frentes de deforestación causas y respuestas en un mundo cambiante*.
- Pham, T. D., Yokoya, N., Bui, D. T., Yoshino, K., & Friess, D. A. (2019). *Remote Sensing Approaches for Monitoring Mangrove Species , Structure , and Biomass : Opportunities and Challenges*. 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs11020230>
- Perdomo, L. V. (2020). *Biomasa y producción radicular en manglares de cuenca neotropical a lo largo de una trayectoria de restauración y su contribución a las reservas de carbono en el ecosistema*. Universidad Nacional de Colombia.
- Perea, M. A., Leal, J., & Oviedo, F. (2021). *Spectral characterization and monitoring of mangrove forests with remote sensing in the Colombian pacific coast: Bajo Baudó, Chocó*. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 34(C), 27-44. <https://doi.org/http://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.02> Edición
- PROARCA. (2005). *Área Protegida «Isla Juan Venado»*.
- Robinson, S. (2020). *Climate change adaptation in SIDS: A systematic review of the literature pre and post the IPCC Fifth Assessment Report*. March 1-21. <https://doi.org/10.1002/wcc.653>
- Rodríguez, A. F. (2011). *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los princip. Meta*, 94.

- Rodríguez, E. A., Chang, J. C., & Goti, I. (2012). *Productividad primaria del manglar de Rhizophora mangle L. en el canal estuarino Isla de Cañan, provincia de Los Santos, República de Panamá. Tecnociencia, 14(2), 85-99.*
- Rodríguez Hernández, C. H. (2017). *Existencias de carbono azul y la dinámica histórica de la cobertura del bosque manglar en el área conservación Sipacate Naranja, Guatemala, Centroamérica.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Rocha, P. (1999). Información Técnica Resumida – Landsat 7 Etm. 5, 5–8.
- Rouse, J. W. J., Haas, R. H., Deering, D. W., Shell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Greenbelt, MD, USA, NASA/GSFCT, Type 3, Final Report, 371.
- Romero, E. I., Acosta, J., Tovilla, C., Schmook, B., & Rocio Ortega. (2015). Changes of coverture y fragmentation land coverage changes and fragmentation of mangroves in the Soconusco region,. *Revista Geográfica de América Central, 54, 153-169.* <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.1-54.7>
- Saade, C. L., Payán Vélver, C., Restrepo, I., & Anguo, L. (2022). Reservorio de carbono azul: Los manglares. 23.
- Samper-Villarreal, J., & Silva-Benavides, A. M. (2015). *Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica.* En *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN (Vol. 63).*
- Senger, D. F., Hortua, D. A. S., Engel, S., Schnurawa, M., Moosdorf, N., & Gillis, L. G. (2021). Science of the Total Environment Impacts of wetland dieback on carbon dynamics : A comparison between intact and degraded mangroves. *Science of the Total Environment, 753, 141817.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141817>
- Siikamäki, J., Sanchirico, J. N., Jardine, S., Mclaughlin, D., & Morris, D. (2013). Environment: Science and Policy for Sustainable Development. August 2014, 37–41. <https://doi.org/10.1080/00139157.2013.843981>
- Tenorio, S., & Timaná, D. L. (2017). *Ecosistema manglares de San Pedro, vice-piura: variación estacional en su cobertura, características fisiográficas y componentes fisicoquímicos. Noviembre 2014- octubre 2015.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Uriarte, C. N., & Orozco, M. A. (2019). *Análisis de la dinámica de usos del suelo de la Reserva Natural Estero Real, mediante el uso de teledetección.*
- Van, H., Spalding, M., Alongi, D. M., Kainuma, M., Clüsener-Godt, M., Adeel, Z., & Benedetti, L. (2012). *Securing the Future of Mangroves. A Policy Brief to the United*

Nations - Institute for Water, Environment and Health. Policy Brief, UN Univ., 53, 53.
<https://doi.org/http://www.inweh.unu.edu>

- Velázquez, C., Tovilla, C., Romero, E. I., & Navarrete, A. (2019). *Mangrove structure and its influence on the carbon storage in La Encrucijada Reserve, Chiapas, Mexico. Madera y Bosques, 25(3), 1-14.* <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Vera, J. D. (2020). *Cuantificación del carbono almacenado en el manglar del acuerdo de uso sustentable y custodia en puerto Libertad, provincia del Guayas, Ecuador.*
- Windevoxhel, N. (1994). *Valoración económica de los manglares demostrando la rentabilidad de su aprovechamiento sostenible caso Héroes y Mártires de Veracruz, Nicaragua.pdf.* En *Revista Forestal Centroamericana* (Vol. 9, Issue 3, pp. 19-26).
- Yáñez, A., Day, J. w, Twilley, R. R., & Day, R. H. (2014). *Mangrove swamps: sentinel ecosystem in front of the climatic change, Gulf of Mexico. Madera y Bosques, 20(1998), 39-75.*
- Yáñez, A., Twilley, R. R., & Lara, A. L. (1998). *Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. Madera y Bosques, 4(2), 3-19.*
- Zamora, P., & Cortés, J. (2015). *Los manglares de Costa Rica: el Pacífico norte Los manglares de Costa Rica: el Pacífico norte. 57(May), 473-488.* <https://doi.org/10.15517/rbt.v57i3.5469>



Figura 16. Medición del DAP

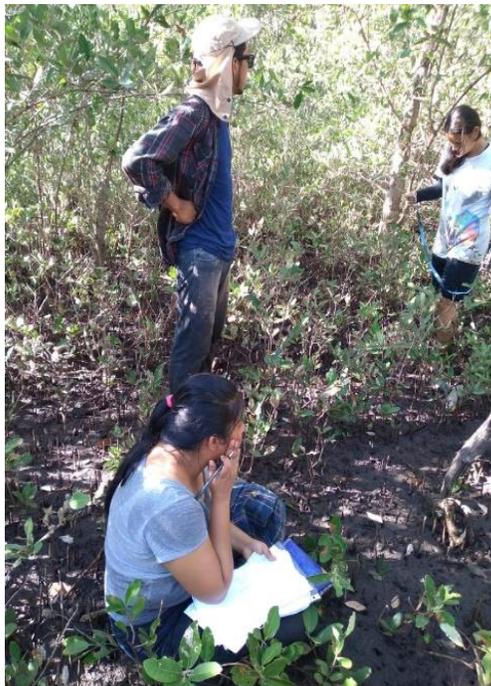


Figura 17. Toma de datos

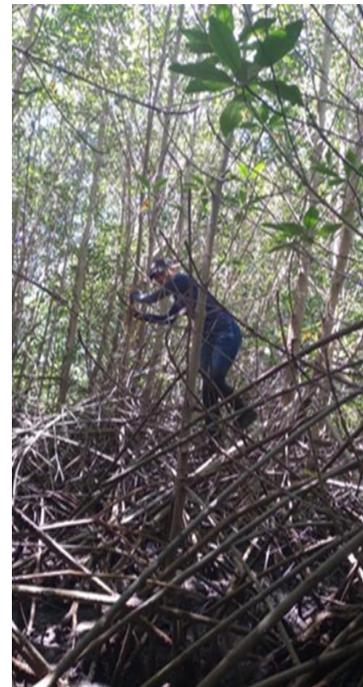


Figura 18. Delimitación de la parcela



Figura 19. Bosque ribereño joven



Figura 20. Zona degradada del ecosistema de manglar



Figura 21. Puntos vulnerables del bosque de manglar



Figura 22. Vegetación moderada del manglar



Figura 23. Avicennia germinans (palo de sal)



Figura 24. Regeneración Natural



Figura 25. Salitrales de la RNIJV



Figura 26. Bosque homogéneo de Rhizophora spp.