



**ANÁLISIS FÍSICO-ECOSISTÉMICO DEL BOSQUE MANGLAR DE LA PLAYA  
DE PUERTO COLOMBIA Y SU CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**ESTEBAN ENRIQUE CARCAMO VILLANUEVA.**

**DARWIN DAVID ROJANO BLANCO**

**Corporación Universitaria Reformada**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de Tecnología en Desarrollo Ambiental y Sostenible articulado por ciclo  
propedéutico con Ingeniería Ambiental.**

**Barranquilla-Atlántico**

**2024**

**ANÁLISIS FÍSICO-ECOSISTÉMICO DEL BOSQUE MANGLAR DE LA PLAYA  
DE PUERTO COLOMBIA Y SU CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**ESTEBAN ENRIQUE CARCAMO VILLANUEVA**

**DARWIN DAVID ROJANO BLANCO**

Investigación presentada como requisito para optar por el título **de Tecnólogo en  
Desarrollo Ambiental y Sostenible.**

**Tutora:**

**MARTHA ALICIA MENDOZA HERNÁNDEZ**

**Cotutora:**

**SOFIA BRISSETH DE JESUS SULBARÁN SIADO**

**Corporación Universitaria Reformada**

**Departamento de Ingeniería**

**Barranquilla – Atlántico**

**2024**

## Contenido

---

Resumen .....	9
Abstract .....	10
1. Introducción.....	11
2. Planteamiento del problema .....	14
3. Justificación.....	15
4. Objetivos .....	17
4.1. Objetivo General .....	17
4.2. Objetivos Específicos .....	17
5. Marco Referencial.....	18
5.1. Marco Conceptual .....	18
5.1.1. Manglares.....	18
5.1.2. Cambio Climático.....	24
5.1.3. Resiliencia Climática.....	25
5.2. Marco Legal.....	27
5.3. Estado Del Arte.....	31
6. Metodología.....	46
6.2. Características Físico-Ecosistémicas.....	48
6.2.1. Caracterización Física del cuerpo de agua.....	49
6.2.2. Caracterización Ecosistémica Del Manglar. ....	50

6.3. Vulnerabilidad y Grado De Afectación Por Acción Antrópica En El Bosque Manglar.	53
6.4. Estratégias De Resiliencia Climática.....	56
7. Resultados Y Discusión .....	56
7.1. Área de estudio .....	56
7.1.1. Caracterización Ecosistémica Del Manglar. ....	59
7.3. Vulnerabilidad y Grado De Afectación Por Acción Antrópica En El Bosque Manglar.	66
7.4. Estrategias De Resiliencia Climática. ....	68
8. Conclusiones.....	71
9. Bibliografía.....	72

## Listado de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Normatividad asociada a Manglar y Biodiversidad.	28
<b>Tabla 2.</b> Puntos de monitoreo de caracterización del agua en la playa de Puerto Colombia.	49
<b>Tabla 3.</b> Puntos centrales de monitoreo en la playa de Puerto Colombia.	57
<b>Tabla 4.</b> Coordenadas de las parcelas de manglar monitoreadas.	58
<b>Tabla 5.</b> Resultados de monitoreo de parámetros físicos.	59
<b>Tabla 6.</b> Variables de medición de las parcelas de manglar en el área de estudio.	63
<b>Tabla 7.</b> Tamizaje de dos puntos de monitoreo.	63

<b>Tabla 8.</b> Variables de medición del estado de los arboles	64
<b>Tabla 9.</b> Variables de medición de las parcelas de manglar en cuestión de tamaño	64
<b>Tabla 10.</b> Variables Analizadas En La Vulnerabilidad	66
<b>Tabla 11.</b> Análisis de valores de la matriz	67
<b>Tabla 12.</b> Matriz de vulnerabilidad	67

### Listado de Ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Bosque de Manglar.	19
<b>Ilustración 2.</b> Rhizophora mangle (Rhizophoraceae) o mangle rojo	20
<b>Ilustración 3.</b> Laguncularia racemosa (Combretaceae) o mangle amarillo	21
<b>Ilustración 4.</b> Conocarpus erectus (Combretaceae) o mangle zaragoso	23
<b>Ilustración 5.</b> Mapa del Municipio de Puerto Colombia	46
<b>Ilustración 6.</b> Mosaico de áreas del Atlántico de ecosistemas prioritarias para restauración de playas y manglares.	48
<b>Ilustración 7.</b> Esquema de distribución de las parcelas permanentes de crecimiento	51
<b>Ilustración 8.</b> Recomendaciones para la medición del diámetro normal en los casos de anomalías del terreno	52
<b>Ilustración 9.</b> Guía de medición del manglar.	52
<b>Ilustración 10.</b> Variables morfométricas de la especie	53
<b>Ilustración 11.</b> Análisis de muestra del suelo del manglar.	64
<b>Ilustración 12.</b> Monitoreo y tipo de especies de manglar encontradas.	65

## **Listado de Gráficos**

<b>Gráfica 1.</b> Características de los cuerpos de agua in situ	60
<b>Gráfica 2.</b> Características de los cuerpos de agua en laboratorio	61
<b>Gráfica 3.</b> Cálculo De Vulnerabilidad Del Ecosistema De Manglar De La Playa De Puerto Colombia.	67

## **Listado de figuras**

<b>Figura. 1.</b> Ubicación central del monitoreo en la playa de Puerto Colombia	57
<b>Figura. 2.</b> Ubicación de las parcelas de monitoreo de manglar en la playa de Puerto Colombia	58
<b>Figura. 3.</b> Toma de muestra en el cuerpo de agua del manglar	61
<b>Figura. 4.</b> Toma de muestra en los cuerpos de agua	62

## **Agradecimientos Y Dedicatoria**

*Hoy quiero Expresar mi dedicatoria a mis padres Karen Villanueva, Álex Cárcamo y a mi hermano Johandri Cárcamo que han sido mi motivación en todo este proceso, ya que sin su apoyo, sacrificio y amor incondicional no habría llegado hasta donde estoy hoy en día ,por siempre haberme orientado y estar presente para mí y enseñarme en la vida que lo que nos proponamos lo podemos cumplir. Agradecimiento a Dios primeramente y a mis seres queridos que han estado presente en mi proceso y que han depositado su voto de confianza en mi .*

*Y quiero resaltar mi agradecimiento a nuestra directora de tesis Martha Mendoza por la guía excepcional ,calidad de docente y persona que es, en la cual siempre nos apoyó paso a paso en este camino y a mi compañero de fórmula Darwin Rojano por ser un compañero de grado excepcional y un amigo verdadero y no por último y menos importante a nuestra institución educativa por permitirnos formarnos y brindarnos orientación en todo este proceso*

***Esteban Enrique Cárcamo Villanueva***

## **Agradecimientos Y Dedicatoria**

*Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de vivir tan maravillosa experiencia, a mi familia que en su inagotable amor me ha impulsado a ser lo que hoy día soy y a trabajar por mis sueños, a mi tutora de tesis Martha Mendoza por guiarnos en cada paso desde sus destrezas académicas inspirándonos siempre en el camino de la investigación, a mí compañero de tesis por ser parte de la fórmula con la hoy se ha obtenido este resultado y finalmente, pero no menos importante a la universidad al ser el espacio donde se ha materializado el cumplimiento de este sueño escalafonado en cada semestre con la guía de un maravilloso cuerpo docente.*

***Darwin David Rojano Blanco***

## Resumen

El estudio del manglar en la playa de Puerto Colombia muestra un ecosistema vulnerable a los impactos del cambio climático y actividades humanas. Mediante un análisis físico-ecosistémico, se identificaron condiciones desfavorables en el manglar, tales como alta turbidez, olores y pH bajo en comparación con un arroyo cercano. Estos factores, junto con la degradación del suelo por la erosión y la influencia del turismo, están afectando negativamente la estabilidad y salud del manglar, donde se encontraron especies de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle Zaragoza (*Conocarpus erectus*), aunque en tamaños reducidos. La parcela MgPC001, ubicada en cercanía a un arroyo y a instalaciones turísticas, es la más vulnerable debido a los altos niveles de accesibilidad y exposición a vertimientos.

Para fortalecer la resiliencia de este manglar, se recomienda la implementación de programas de restauración ecológica y creación de áreas de amortiguamiento para reducir el impacto humano. Además, la regulación de vertimientos y un monitoreo continuo permitirán un manejo ambientalmente responsable. Fomentar proyectos de carbono azul ayudará a capturar CO<sub>2</sub>, mitigando el cambio climático, mientras que la educación y participación comunitaria serán clave para conservar el manglar a largo plazo.

Estas medidas, además de proteger el ecosistema, pueden mejorar la sostenibilidad ambiental en Puerto Colombia, promoviendo un enfoque de resiliencia climática que garantice la funcionalidad del manglar como barrera natural y captador de carbono, esencial para la biodiversidad y el bienestar de las comunidades costeras.

**Palabras Claves:** Manglar, Vertimiento, Cambio Climático, Monitoreo.

## **Abstract**

The study of the mangrove on the beach of Puerto Colombia shows an ecosystem vulnerable to the impacts of climate change and human activities. Through a physical-ecosystemic analysis, unfavorable conditions were identified in the mangrove, such as high turbidity, odors and low pH compared to a nearby stream. These factors, together with soil degradation due to erosion and the influence of tourism, are negatively affecting the stability and health of the mangrove, where species of red mangrove (*Rhizophora mangle*) and Zaragoza mangrove (*Conocarpus erectus*) were found, although in small sizes. The plot MgPC001, located near a stream and tourist facilities, is the most vulnerable due to high levels of accessibility and exposure to discharges.

To strengthen the resilience of this mangrove, the implementation of ecological restoration programs and the creation of buffer areas to reduce human impact is recommended. In addition, the regulation of discharges and continuous monitoring will allow environmentally responsible management. Promoting blue carbon projects will help capture CO<sub>2</sub>, mitigating climate change, while community education and participation will be key to conserving the mangrove in the long term.

These measures, in addition to protecting the ecosystem, can improve environmental sustainability in Puerto Colombia, promoting a climate resilience approach that guarantees the functionality of the mangrove as a natural barrier and carbon sequestrant, essential for biodiversity and the well-being of coastal communities.

**Keywords:** Mangrove, Dumping, Climate Change, Monitoring.

## 1. Introducción

El ecosistema de manglar es uno de los recursos naturales más estratégico que ha permitido pensar que se puede lograr su equilibrio entre el entorno del medio ambiente y la comunidad. Estos se caracterizan por ser un bosque seco tropical, con cercanías a cuencas hidrográficas y humedales de agua dulce, lo cual contiene una biodiversidad amplia y adicional puede existir formaciones de arrecifes coralinos (anillo, daza, Sánchez-Moreno, & Escobar-Olaya, 2019).

Estos ecosistemas se constituyen dada una serie de asociaciones vegetales en su defecto costeras tropicales y subtropicales que le atribuyen características especiales en cuestión de morfología, fisiológicas y de reproducción que facilitan la sobrevivencia de esta especie en lugares donde muchas ocasiones se ve influenciada por una desestabilidad salina, inestables e inundados en zonas costeras que normalmente están influenciadas por vertientes o desembocaduras de agua dulce ya sea de manera permanente u ocasional, dadas estas condiciones el bosque manglar desarrolla adaptabilidades en hábitats altamente dinámicos (anillo, daza, Sánchez-Moreno, & Escobar-Olaya, 2019).

El bosque manglar está catalogado como uno de los escenarios más importantes de la biodiversidad en general dada la prestación de los servicios ecosistémicos que ofrece, dentro de estos: enriquecen las aguas costeras, generan productos comerciales forestales, resguardan las costas y facilitan la pesca en la misma (Kandasamy & Bingham, 2001). Teniendo en cuenta las diferentes funciones ecológicas que ejerce el bosque manglar se ha considerado como un actor biológico estratégico en las zonas costeras del litoral caribe colombiano.

Dentro de todas las características ambientales y funciones ecológicas la formación de suelos y sus capacidad para la transferencia de energía, además de ser núcleo de vida, es decir, funciona como lugar de crecimiento, formación de microbiota para la existencia de especies

entre ellos: mamíferos, anfibios, reptiles, aves, peces e invertebrados, así mismo, habitan allí algas, hidrozoarios, esponjas, corales, anemonas y demás, gracias a la morfología de sus raíces desarrolla funciones de filtración específicamente de cargas orgánicas provenientes de las fuentes terrestres y a su vez por tener esta misma característica protege la línea de costa, previniendo la erosión causada por el oleaje y las corrientes (CRA, 2005).

El territorio colombiano consta de una extensión de mangles aproximada de 300.133ha, de las que 69.894ha pertenecen al litoral caribe (anillo, daza, Sánchez-Moreno, & Escobar-Olaya, 2019); donde se observan cinco especies de mangles de una totalidad de nueve especies reportadas en existencia en todo el territorio nacional, de las cuales: *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* se encuentran en abundancia, seguidas de estas: *laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* y *pelliciera rhizopora*, no obstante, se calcula que los últimos 30 años han sido alteradas aproximadamente 40.000ha de bosque manglar en Colombia a causa de actividades antrópicas tales como: la construcción de carreteras, muelles, expansión de las fronteras urbanas, agrícolas y de las industrias, infraestructura turística, tala indiscriminada entre otras (anillo, daza, Sánchez-Moreno, & Escobar-Olaya, 2019).

Dentro del área delimitada del caribe colombiano, hacen parte del departamento del Atlántico un estimado de 1.148ha las cuales se distribuyen en los estuarios litorales de las ciénegas de Mallorquín, Manatías, El Rincón, Balboa, y Totumo; a lo largo de la línea de costa en sectores como: Santa Verónica, Puerto Velero, Playa Mendoza, Turipaná, Caño Dulce, Playa Tubaraá, punta Morro Hermoso, Bocatocino y Astilleros que se asocian a otros ambientes como arroyos y playas que desembocan en el mar (CRA, 2005).

Este proyecto se ubica en el municipio de Puerto Colombia jurisdicción del departamento del Atlántico con una extensión de 93km<sup>2</sup> que se integran al área metropolitana de Barranquilla y que posee una área estimada de 162ha de bosque manglar (anillo, daza,

Sánchez-Moreno, & Escobar-Olaya, 2019) en donde se tiene como objetivo determinar las características físicas y ecosistémicas dentro del marco de soluciones basadas en la naturaleza, con el fin de establecer la relación con el cambio climático y a su vez plantear acciones encaminadas a la restauración y conservación de estos ecosistemas estratégicos.

No obstante, este tipo de estudios es importante por lo que permite analizar los servicios ecosistémicos que prestan los manglares a las comunidades de Puerto Colombia en especial por la importancia que estos tienen cuando se presenta erosión costera, por su papel fundamental que tienen como sumideros de CO<sub>2</sub> y fuentes de carbón oceánico y adicional por aquellos fenómenos naturales que pueden ser catastróficos si estos ecosistemas no se evidencian en este tipo de áreas.

## **2. Planteamiento del problema**

La biodiversidad presenta alteraciones como lo es la degradación de los suelos, en el caso de los ecosistemas de manglar se considera que las principales causas de deterioro se socian a la actividades antropogénicas, conllevando al aceleramiento del cambio climático, el desarrollo de proyectos urbanísticos, la sobreexplotación de los recursos naturales y los cambios en el uso del suelo (HALPERN, SELKOE, MICHELI, & KAPPEL, 2007).

El aumento de las temperaturas en los últimos años, ha causado la alteración de las especies provocando cambios en sus ciclos de reproducción y alimentación. Los océanos son un gran potencial de captura de CO<sub>2</sub>, y también hay factores que implican la acidificación del agua afectando la supervivencia de las especies. No obstante, por otra parte se presenta a causa de este daño fenómenos de alteración del ciclo hídrico, expone a los ecosistemas a grandes periodos de sequía que afecta la disponibilidad de agua para los ecosistemas (HALPERN, SELKOE, MICHELI, & KAPPEL, 2007).

Este estudio investigativo busca analizar los diferentes bienes y servicios asociados al ecosistema de manglar que se encuentran en el municipio de Puerto Colombia, Atlántico permitiendo así conocer el valor ecológico, económico y social del mismo, que permita generar alternativas para la implementación de estrategias que aporten a la sostenibilidad de los diferentes humedales que presente en este municipio, destacando su valor social y espacial desde una planificación territorial pertinente atendiendo el concepto estandarizado de estos ecosistemas que son considerados como una de las comunidades vegetales más productivas del planeta. Para ello se plantea el siguiente interrogante:

**¿En qué condiciones se encuentra el bosque manglar presente en la playa de Puerto Colombia para funcionar como ecosistema estratégico resiliente al cambio climático ?**

### **3. Justificación**

Actualmente los ecosistemas en general sufren arduamente los impactos de la crisis climática, dado es desorden hidrológico y por ende las alteraciones de los cuerpos lenticos de agua. Esta situación ambiental significa un riesgo para el equilibrio del planeta y las comunidades que hacen parte de la influencia directa de los ecosistemas (Uribe., 2019).

Partiendo de esta problemática y en aras de contribuir a la promoción al desarrollo sostenible, esta iniciativa de investigación busca constituirse con una base teórica y de diagnóstico para el caso específico de ecosistemas de manglar, exactamente haciendo alusión al bosque ecosistémico de este tipo que se ubica en la playa del municipio de Puerto Colombia.

Este tipo de proyecto se destacan por su valor ambiental y ecológico como determinante del diagnóstico de un ecosistema, haciendo énfasis el significado que representan estos ecosistemas para las comunidades aledañas desde el aprovechamiento de estos y su contribución bajo sus condiciones ecológicas, estimar el grado de auto resiliencia de este como ecosistema estratégico ante la problemática global del cambio climático.

El municipio de Puerto Colombia desde el ámbito de su desarrollo económico, social y cultural ha alimentado esta iniciativa que tiene la finalidad de analizar factores biológicos frente a los cambios que puedan ocurrir a causas de las actividades que se realizan en el municipio, y como este puede repercutir en el bosque manglar de sus playas, en donde por tal razón el análisis físico ecosistémico que proyecta esta investigación, nos permitirá además de analizar, evaluar el estado actual en el cual se encuentra este ecosistema para dar a conocer detalles que funcionen como lineamientos al momento de implementar estrategias que repercutan positivamente en el ecosistema, además de brindar fundamentación teórica que

permitan desarrollar proyectos a futuros basados en la veracidad de estadística e información que se haya documentado como resultado de esta investigación.

Por otra parte, el desarrollo metodológico de este proyecto investigativo es mixto que se enfoca en lo cuantitativo y cualitativo se centra en el análisis de los datos físico ecosistémicos para posterior a esto realizar la formulación de medidas enfocadas a la restauración del ecosistema de manglar, esto permitirá dar a conocer un conjunto de herramientas partiendo de un previo diagnóstico, que permita el análisis del mangle de acuerdo con la naturaleza y la especie que población de este ecosistema.

El manglar es una especie con una gran variedad de funciones ecológicas , desde la biología ya son considerados como cuna de hábitat y procreación para numerosas especies debido a que en sus raíces se desarrollan comunidades faunísticas, entre estas: bacterias, hongos, macro algas, invertebrados e incluso el refugio peces pequeños (Kandasamy & Bingham, 2001) lo que quiere decir que el ecosistemas de manglar funciona como un factor para repoblar y conservar las especies, lo que lo convierte en un bioindicador de la diversidad natural. Lo anterior hace recobrar aún más, la importancia del enfoque investigativo hacia este tipo de componente natural, como una construcción técnica bajo evidencia practica del nivel de biodiversidad que pasa desapercibido por los ecosistemas aledaños a la comunidad de Puerto Colombia.

El estudio de los mangles se fundamenta en el factor beneficioso que estos cumplen en respuesta a la crisis climática que actualmente tiene una gran relevancia en el desarrollo de estrategias y mecanismos en función de la sostenibilidad ya que además son el refugio de una gran biodiversidad, así como protectores y reguladores de las inundaciones en su papel de filtro biológico (Carmona, Rey, & Diaz, 2020)

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

- Analizar físico- ecosistémico el bosque manglar de la playa del Municipio de Puerto Colombia y su contribución al cambio climático.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las características físico-ecosistémicas del bosque manglar de la playa de Puerto Colombia.
- Evaluar la vulnerabilidad del bosque manglar frente a la variabilidad del cambio climático.
- Proponer estrategias de resiliencia climática con respecto a el bosque manglar de la playa de Puerto Colombia.

## **5. Marco Referencial**

### **5.1. Marco Conceptual**

Establecer los fundamentos teóricos y conceptos clave necesarios para comprender el ecosistema de manglar y los factores que inciden en su dinámica y conservación ayudara en la presente investigación. Los bosques de manglar se definen como ecosistemas costeros caracterizados por la presencia de especies arbóreas que han desarrollado adaptaciones para sobrevivir en condiciones de alta salinidad y suelos anóxicos. Su compleja estructura física y biológica los convierte en importantes sumideros de carbono, fuentes de biodiversidad, y barreras naturales contra la erosión y eventos climáticos extremos. Además, estos ecosistemas funcionan como reguladores del clima y como hábitat para numerosas especies de flora y fauna. (CRA, 2005).

A lo largo del marco conceptual, se explorarán conceptos como resiliencia ecológica, vulnerabilidad ambiental, y variabilidad climática, fundamentales para entender los impactos del cambio climático en estos ecosistemas. Este conocimiento proporcionará una base para la evaluación de la vulnerabilidad del manglar y la formulación de estrategias de conservación.

#### **5.1.1. Manglares**

Son ecosistemas que se componen de asociaciones vegetales, ubicados en zonas costeras o en las orillas de ríos, influenciadas por el mar y el agua dulce. Se destacan por presentar especies de árboles y plantas con adaptaciones especiales que les permite tolerar la falta de oxígeno, altos niveles de salinidad y distintos patrones de inundación. Gracias a sus características colonizan suelos reducidos, inundados y salinos sujetos a cambios geomorfológicos (Pelckmans, y otros, 2023).

El árbol del mangle es la especie arbórea que más predomina en los manglares. Crecen en agua salada y cuenta con unas peculiares raíces que se extienden por encima y por debajo en suelos espesos y fangosos. (Fundación, 2023)

Los manglares poseen una biodiversidad de especies enorme y diversa, incluso algunas solo se encuentran en este tipo de entornos. La fauna que predomina está adaptada a las mareas y a las particularidades de este ecosistema. Entre las especies más comunes encontramos crustáceos, peces, moluscos, aves, reptiles, anfibios y mamíferos. (Fundación, 2023).

### **Ilustración 1.** Bosque de Manglar.



Fuente: (Geographic, 2022)

También se pueden agrupar en cuatro tipos según su ubicación dentro de la zona y características:

- **Ribereño.** Crecen en las orillas de los ríos y en las zonas donde hay cierta influencia de las mareas y del agua salada. (Fundación, 2023)
- **Borde.** Crecen en las orillas de las costas, en bahías o lagunas arrecifales o rodeando islas. Este tipo de manglares son aquellos que soportan el continuo golpe de las olas al frente.
- **Cuenca.** Se desarrollan detrás de los ribereños y de los de borde. Se localizan donde hay suelos estables. En este tipo de hábitats la renovación del agua es lenta, hay poco oxígeno y alta salinidad. (Fundación, 2023)

- **Especiales.** El manglar que es de poco desarrollo forma los llamados manglares especiales. Se llaman así debido a que crecen en condiciones de alta salinidad, baja disponibilidad de nutrientes y temperaturas extremas. (Fundación, 2023).

Las condiciones actuales del clima, al parecer han influido sobre la distribución global de los manglares, la riqueza de especies y la abundancia (Osland, 2017); esto basado en datos de temperatura y precipitación mundial. (CRA, 2018)

Si bien el cambio de temperaturas ha favorecido a la expansión de la superficie de manglar en zonas subtropicales, el incremento del nivel del mar afectaría la vulnerabilidad de los manglares y la resiliencia de este ecosistema (Sasmito, 2016).

De las 70 especies de manglar en el mundo, tan solo 8 especies y cinco familias están representadas en Colombia (Sánchez-Páez H., 1997); además se incluye una novena especie que hasta ahora es considerada híbrida, *Rhizophora harrisoni*. De estas especies solo cinco se encuentran en la región Caribe y son:

**Ilustración 2.** *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) o mange rojo



**Fuente:** (Colombia, 2022)

Los árboles de *Rhizophora mangle* son de 4 a 10 metros de alto, su forma es de árbol o arbusto perennifolio, halófilo, en el tronco se encuentran apoyadas numerosas raíces aéreas simples o dicotómicamente ramificadas con numerosas lenticelas, la corteza es de color olivo pálido con manchas grises, sin embargo, en el interior es de color rojizo, su textura es de lisa a levemente

rugosa con apariencia fibrosa. Las hojas son simples, opuestas, pecioladas, de hoja redondeada, elípticas a oblongas, estas se aglomeran en las puntas de las ramas, su color es verde oscuro en el haz y amarillentas en el envés. (Colombia, 2022).

Las flores son pequeñas, de 2.5 cm de diámetro con cuatro sépalos lanceados, gruesos y coriáceos. La flor tiene cuatro pétalos blancos amarillentos. Tiene de dos a cuatro flores por tallo o pedúnculo. Los frutos se presentan en forma de baya de color pardo, coriácea, dura, piriforme, farinosa. El desarrollo de las semillas se lleva a cabo en el interior del fruto por “viviparidad”, los propágulos son frecuentemente curvos, de color verde a pardo en la parte inferior y presentan numerosas lenticelas y por último sus raíces son fúlcreas, ramificadas, curvas y arqueadas. (Colombia, 2022).

Su follaje presenta una tasa expansión foliar y caída de las hojas que alcanza su nivel máximo en verano. (Colombia, 2022). La planta florece durante todo el año con mayor producción entre el verano y otoño, pero depende de su localización. La polinización es anemófila se da por medio del viento y fructifica durante todo el año, con mayor abundancia entre agosto y septiembre, los frutos se dispersan por hidrocoria. (Colombia, 2022)

**Ilustración 3.** *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) o mangle amarillo



**Fuente:** (Guzman, 2018)

Son arbustos o árboles, que alcanzan un tamaño de hasta 15 m de alto, con raíces zancudas y frecuentemente con neumatóforos; Plantas mayormente hermafroditas, pero a menudo monoicas ya veces dioicas. Son un tipo de raíz que crece hacia arriba, presente en ciertas plantas en los cuerpos de agua. Los neumatóforos favorecen la oxigenación de las partes de la planta que están sumergidas bajo el agua. (Guzman, 2018).

Habita en lagos de agua dulce, ríos y ambientes de estuarios, y salados en ambas costas. También se encuentran en humedales de interior, incluyendo ríos, embalses, pantanos y lagunas altoandinas. (Guzman, 2018).

Crece en las áreas costeras de bahías, lagos, esteros, prefiriendo el borde interior del cinturón de mangles; en este caso lo encontramos en el Parque Natural Isla Salamanca.

Hojas opuestas, ápice y base obtusos y redondeados, con diminutas foveas submarginales con glándula basal en el envés; Inflorescencia en una columna axilar o terminal de un racimo de espigas, espigas 2 a 20 cm incluyendo el pedúnculo. (Guzman, 2018).

La flor tiene cuatro pétalos blancos amarillentos. Tiene de dos a cuatro flores por tallo o pedúnculo. Los frutos se presentan en forma de baya de color pardo, coriácea, dura, piriforme, farinosa. El desarrollo de las semillas lleva un cabo en el interior del fruto por “viviparidad”, el texto de un verde en un pardo en la parte inferior y el otro en la parte inferior. arqueadas.

Las flores son de 5 a 8 mm de diámetro, sin pétalos, y se producen en pequeñas panículas. Las cabezas de semilla se rompen en la fase de madurez, y las semillas son dispersadas por el agua. (Guzman, 2018).

**Ilustración 4.** *Conocarpus erectus* (Combretaceae) o mangle zaragoso



Fuente: (Colombia, 2022)

El mangle botoncillo o mangle zaragoza (*Conocarpus erectus*) es un árbol de la familia Combretaceae que crece en las costas, en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, incluyendo Florida, las Bermudas, las Bahamas, el Caribe, Centroamérica y desde el sur de México hasta Brasil en la costa atlántica y de México a Ecuador en la costa del Pacífico, así como en África occidental, Melanesia y Polinesia. Es una de las dos especies de mangles pertenecientes al género *Conocarpus*. (Colombia, 2022)

Es por lo general una forma densa de arbusto multi-troncal de entre 1 y 4 m de altura, pero puede crecer hasta convertirse en un árbol de hasta 20 m de altura o más, con un tronco de hasta 1 m de diámetro. La corteza es gruesa y tiene amplias placas delgadas, en una escala de color de gris a castaño. Las ramas son frágiles. Las hojas son alternas, simples y oblongas, de 2 a 7 cm de longitud (raramente de 10 cm de largo) y de 1 a 3 cm de ancho, con una disminución en la punta; son de color verde oscuro y brillante en el haz, y de tono pálido, con pelos finos y sedosos por el envés; la base de cada hoja tiene dos glándulas de sal. (Colombia, 2022)

### **5.1.2. Cambio Climático**

El cambio climático es la alteración del clima atribuido directa o indirectamente a actividades antropogénicas donde cambia la composición de la atmósfera mundial y por ende la modificación de la temperatura, intensidad de las precipitaciones y las rutas de las tormentas durante un periodo de tiempo determinado (Cordero, 2012)

**5.1.2.1. Efecto Invernadero:** fenómeno natural y beneficioso que ocurre en la atmósfera de la tierra que consiste en la retención de parte de la energía solar en la atmósfera terrestre debido a la presencia de gases que causan este efecto como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el vapor de agua (Livia, 2023)

**5.1.2.2. CO<sub>2</sub>:** importante gas presente en la atmósfera que atrapa el calor hace parte del grupo de gases de efecto invernadero y su principal fuente es la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), de incendios forestales, procesos industriales y procesos naturales como las erupciones volcánicas (NASA , 2024).

**5.1.2.3. Actividad Antropogénica:** acciones, proceso o actividades de origen humano que tiene un impacto significativo en el medio ambiente y en los ecosistemas, estos efectos pueden ser positivo o negativos en el entorno (Livia, 2023).

**5.1.2.4. Impacto Ambiental:** efectos ya sean positivos o negativos que tienen las acciones humanas sobre el medio ambiente. Alteran la capacidad de autogeneración de los ecosistemas para lo que se deben diseñar planes de mitigación (anillo, daza, Sánchez-Moreno, & Escobar-Olaya, 2019).

**5.1.2.5. Servicios Ecosistémicos:** beneficios directos o indirectos que proporcionan los ecosistemas y son fundamentales para los seres humanos y otras especies, se categorizan en servicios de abastecimiento, regulación, culturales y de soporte (Ripka de Almeida, 2018).

**5.1.2.6. *Monitoreo Ambiental:*** consiste en la medición de variables de tipo físico, químico y/o biológico durante un periodo de tiempo determinado para conocer los cambios o impactos que tiene un lugar en el medio ambiente (Marquez, 2020).

**5.1.2.7. *Biodiversidad:*** es la variedad de vida en los diferentes niveles de organización biológica, abarca la diversidad de especies de plantas, animales, hongos, y microorganismos que habitan en un espacio determinado. También abarca los procesos ecológicos y evolutivos dados a nivel de genes, especies y paisajes (Goierno de Mexico, 2022).

**5.1.2.8. *Desarrollo sostenible:*** desarrollo que hace posible suplir las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras. El desarrollo sostenible busca atender tanto las demandas por una agenda de protección del medio ambiente como promover y asegurar el desarrollo de los países con menor nivel de progreso (Naciones Unidas , 2013).

### **5.1.3. Resiliencia Climática**

La adaptación se refiere a los ajustes en los sistemas ecológicos, sociales o económicos en respuesta a estímulos climáticos reales o previstos y sus efectos o impactos. Se refiere a cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los daños potenciales o para beneficiarse de las oportunidades asociadas con el cambio climático. En términos sencillos, los países y las comunidades necesitan desarrollar soluciones de adaptación e implementar acciones para responder a los impactos del cambio climático que ya están ocurriendo, así como prepararse para los impactos futuros. (Nations, 2023)

Las soluciones de adaptación adoptan muchas formas y modalidades, dependiendo del contexto único de una comunidad, empresa, organización, país o región. No existe una solución

única que pueda abarcar desde la construcción de defensas contra inundaciones, el establecimiento de sistemas de alerta temprana para ciclones y el cambio a cultivos resistentes a la sequía, hasta el rediseño de los sistemas de comunicación, las operaciones comerciales y las políticas gubernamentales. Muchas naciones y comunidades ya están tomando medidas para construir sociedades y economías resilientes, pero se necesitarán una acción y una ambición considerablemente mayores para gestionar los riesgos de manera rentable, tanto ahora como en el futuro. (Nations, 2023).

En términos sencillos, los Principios proporcionan un marco para los Criterios de Resiliencia Climática que requieren que los emisores de bonos climáticos certificados vayan más allá de la simple evaluación de los riesgos climáticos. Específicamente, los emisores deben demostrar para los activos/actividades (re) financiados a través del bono, (BID, 2019) que:

- Comprenden los riesgos climáticos que enfrenta el activo, la actividad o el sistema en cuestión. (BID, 2019).
- Han abordado esos riesgos mediante la adopción de medidas de reducción de riesgos y han adoptado planes de gestión flexibles que tengan en cuenta las incertidumbres inherentes al cambio climático, asegurando que el activo, la actividad o el sistema sea robusto, flexible y aptas para su propósito ante esa incertidumbre.
- Pueden ofrecer beneficios de resiliencia además de abordar los riesgos identificados (para inversiones centradas en el sistema). (BID, 2019).
- Que están llevando a cabo una (re) evaluación periódica del desempeño de resiliencia climática del activo y/o del sistema, ajustándose a las medidas de reducción de riesgos a lo largo del tiempo según sea necesario. (BID, 2019).

Por lo tanto, vale la pena resaltar que los Principios, van más allá del requisito de un análisis robusto de los riesgos climáticos, precisando que cualquier riesgo residual permanezca en un nivel tolerable que asegure que los activos y / o actividades subyacentes sean “aptos para su propósito” (fit for purpose) ante las incertidumbres asociadas con un clima cambiante. La orientación sobre cómo se podría interpretar ese “apto para su propósito”, se proporciona en este documento y se abordará más a fondo por parte de los grupos de trabajo técnicos (TWG por sus siglas en inglés) mediante los Criterios de Resiliencia Climática específicos del sector. (BID, 2019).

## **5.2.Marco Legal**

El marco legal revisa las normativas y tratados nacionales e internacionales orientados a la conservación y protección de los manglares y la mitigación del cambio climático. A nivel internacional, instrumentos como la Convención de Ramsar sobre Humedales y la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) establecen lineamientos para la protección de humedales y ecosistemas críticos, como los manglares, debido a su alto valor ecológico y económico. Además, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, específicamente el ODS 13 (Acción por el clima) y el ODS 14 (Vida submarina), promueven la protección y restauración de estos ecosistemas.

A nivel nacional (dependiendo del país), es posible que existan leyes y regulaciones específicas para la protección de ecosistemas costeros, como las leyes de medio ambiente y biodiversidad, además de políticas de adaptación y mitigación al cambio climático. Este marco legal es crucial, ya que proporciona la estructura regulatoria bajo la cual se debe desarrollar cualquier intervención o estudio en los bosques de manglar.

**Tabla 1.** Normatividad asociada a Manglar y Biodiversidad.

<b>Normativa Legal</b>	<b>Organismo Emisor</b>	<b>Descripción</b>
Ley 99 de 1993.	Congreso de la República de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 70 de 1993.	Congreso de la República de Colombia	Por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la constitución política de 1991.
Ley 13 de 1990.	Congreso de la República de Colombia	Por el cual se dicta el estatuto general de pesca.
Ley 01 de 1991.	Congreso de la República de Colombia	Por la cual se expide el Estatuto de Puertos Marítimos y se dictan otras disposiciones
Ley 21 de 1991.	Congreso de la República de Colombia	Por medio del cual se aprueba el convenio 169 sobre pueblos indígenas y triviales en el Países independientes, adoptado por la 76ª reunión de la conferencia general de la OIT, Ginebra 1989.
Ley 160 de 1994.	Congreso de la República de Colombia	Por la cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, se establece un subsidio para la adquisición de tierra, se reforma el Instituto colombiano de la Reforma Agraria y se dictan otras disposiciones.
Ley 357 de 1997.	Congreso de la República de Colombia	Por la cual se aprueba la convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como habitat para las aves acuáticas suscrita en Ramsar (Irán), el 2 de febrero de 1991.
Ley 1377 de 2010.	Congreso de la República de Colombia	Por medio de la cual se reglamente la actividad de reforestación comercial.
Ley 2243 de 2022	Congreso de la República de Colombia	Por medio de la cual se protegen los ecosistemas de manglar y se dictan otras disposiciones.
Decreto - Ley 2811 de 1974.	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 2324 de 1974.	Presidente de la Republica de Colombia	Por medio del cual se organiza la Dirección General Marítima y Portuaria.
Resolución 1602 de 1995	Ministerio del Medio Ambiente.	Por medio de la cual se dictan medidas para garantizar la sostenibilidad de los manglares en Colombia
Resolución 20 de 1996.	Ministerio del Medio Ambiente.	Por medio de la cual se aclara la Resolución 1602 de 1995, y se dictan otras disposiciones.

<b>Normativa Legal</b>	<b>Organismo Emisor</b>	<b>Descripción</b>
Resolución 0257 de 1997.	Ministerio del Medio Ambiente.	Por medio de la cual se establecen controles mínimos para contribuir a garantizar las condiciones básicas de sostenibilidad de los ecosistemas de manglar y sus zonas circunvecinas.
Resolución 0924 de 1997.	Ministerio del Medio Ambiente.	Por medio del cual se establecen términos de referencia para estudios sobre el estado actual y propuestas de zonificación de las áreas de manglar en Colombia.
Resolución 233 de 1999.	Ministerio del Medio Ambiente.	Por medio de la cual se modifica la Resolución 924 de 1997 y se prorroga el plazo previsto en el artículo 4° de la resolución 1602 de 1995.

Fuente: (autores,2024)

**Convención de Ramsar sobre los Humedales (1971):** La Convención de Ramsar es uno de los tratados internacionales más relevantes para la protección de los humedales, entre los cuales se incluyen los manglares. Este tratado compromete a los países firmantes a la conservación y uso racional de los humedales, reconociendo su valor ecológico y su rol en la mitigación del cambio climático. En el marco de Ramsar, los manglares son reconocidos como ecosistemas vitales para la absorción de carbono y la protección de la biodiversidad costera. Esta convención también promueve la creación de áreas protegidas y la restauración de manglares degradados. (Davidson, 2014).

**Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992):** La CDB es otro instrumento fundamental que apoya la conservación de manglares bajo su mandato de preservar la biodiversidad y fomentar el uso sostenible de los recursos naturales. Este convenio busca reducir la tasa de pérdida de biodiversidad y reconoce el papel de los manglares en la mitigación y adaptación al cambio climático. Los países firmantes deben implementar políticas para proteger

los ecosistemas críticos como los manglares, y muchos han adoptado estas políticas como parte de sus planes nacionales de biodiversidad. (Diversity., 2009).

**Acuerdo de París (2015):** El Acuerdo de París establece compromisos globales para limitar el calentamiento global y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este marco, los manglares son reconocidos como sumideros de carbono y como ecosistemas costeros que pueden ayudar a amortiguar los efectos del cambio climático. Este acuerdo promueve la protección de ecosistemas costeros y la inclusión de la conservación de manglares en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs) de los países firmantes. (Herr, 2016).

**Políticas de Conservación y Adaptación Climática:** Muchos países han desarrollado políticas específicas para la conservación de manglares y la adaptación climática. Estas políticas suelen incluir la creación de áreas protegidas, la restauración de ecosistemas degradados y la prohibición de actividades extractivas en zonas de manglar. Además, en varios países latinoamericanos, la conservación de manglares se ha integrado en sus estrategias nacionales de adaptación al cambio climático, reconociendo su rol en la reducción de riesgos asociados a eventos climáticos extremos, como huracanes y marejadas. (Benfield, 2005).

**Planes Nacionales de Adaptación (NAPs):** Los NAPs son instrumentos de planificación que establecen acciones y objetivos para la adaptación al cambio climático. En muchos casos, los NAPs incluyen medidas específicas para la protección y restauración de manglares como parte de los planes de adaptación en zonas costeras. Los manglares se consideran elementos clave para reducir la vulnerabilidad de las comunidades costeras al cambio climático y la subida del nivel del mar. (Ocean & Coastal Management, 2013)

**Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDD+):** Aunque REDD+ se centra en los bosques terrestres, en muchos países este mecanismo también se ha extendido a los manglares, reconociéndolos como sumideros de carbono. REDD+ ofrece

incentivos financieros para reducir la deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales, promoviendo la conservación de manglares como una medida de mitigación climática. Muchos proyectos REDD+ en Asia y América Latina han incluido manglares en sus programas de conservación de carbono. (Donato, 2011).

**Iniciativa Internacional de Carbono Azul (Blue Carbon Initiative):** Esta iniciativa es un esfuerzo colaborativo internacional que promueve la conservación de ecosistemas costeros, incluidos los manglares, debido a su capacidad de capturar y almacenar carbono. La Blue Carbon Initiative apoya políticas y proyectos de conservación en manglares y otros ecosistemas de carbono azul, colaborando con gobiernos y comunidades locales para implementar prácticas sostenibles y de adaptación climática. (Nellemann, 2009).

### **5.3. Estado Del Arte**

El estado del arte describe los avances y estudios recientes relacionados con los efectos del cambio climático en los ecosistemas de manglar y las estrategias de resiliencia. Los estudios han demostrado que el aumento del nivel del mar, las variaciones en la salinidad, y el incremento en la frecuencia de eventos climáticos extremos están afectando la salud de los manglares en todo el mundo. Autores como Gilman et al. (2008) y Alongi (2008) destacan la importancia de los manglares como barreras naturales y como sumideros de carbono, y señalan la necesidad de estrategias de conservación y restauración para mantener su funcionalidad ecosistémica.

A nivel global, la literatura muestra que las estrategias de resiliencia, como la restauración ecológica y la participación comunitaria, son esenciales para la supervivencia de estos ecosistemas. Este apartado proporciona una revisión de las principales investigaciones y casos de estudio que analizan las respuestas de los manglares ante el cambio climático, así como los métodos de gestión implementados para su protección.

Las diversas investigaciones enfocadas en la resiliencia climática, han buscado que las soluciones a esta problemática sean basadas en la misma naturaleza, que se cuente con los mismos recursos que se tienen, por lo que colaboran en especial con la captación de gases de efectos invernaderos.

Es así, como a nivel internacional las investigaciones con respecto a los ecosistemas de manglar, se cuenta con un compilación de fundamentos teóricos y pruebas experimentales a nivel de estudios investigativos que sustentan su importancia como foco de biodiversidad; en el año 2023 un estudio titulado: Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than afforestation for mitigating global climate change en la que a través de una revisión bibliográfica extensa se encontraron 3299 artículos potencialmente relevantes en su mayoría de habla inglés y mandarín de los cuales se tuvo una inspección detallada de 551 de estos que tuvieron como análisis principal el potencial de secuestro de carbono dada la implementación de proyectos inclinados a la reforestación de la especie a nivel mundial, este trabajo científico fue liderado por los autores Shanshan Song, Yali Ding, Wei Li, Yuchen Meng, Jian Zhou, Ruikun Gou, Conghe Zhang, Shengbin Ye, Neil Saintilan, Ken W. Krauss, Stephen Crooks, Shuguo Lv & Guanghui Lin quienes obtuvieron como resultado en su revisión científica que la acumulación de carbono en los bosques de manglar estar regulada por diversos factores que pueden ser climáticos o geográficos o en su defecto promovidos por las precipitaciones concluyendo una vez más la destacada importancia del bosque manglar dentro del ecosistema (Song, y otros, 2023).

México está catalogado como un país megadiverso, considerado así gracias a su riqueza natural; en paralelo con Colombia se evidencia un parentesco en condiciones ecosistémicas específicamente de bosques manglares.

Al norte de Campeche en este país específicamente en la reserva natural la biosfera de los Petenes, un ecosistema previamente restaurado, se desarrolló un estudio que analiza la relación entre la captura de carbono que es uno de los servicios ecosistémicos principales de los mangles y los parámetros físico químicos del suelo que se titula: *“Relationship between Carbon Sequestration and Soil Physicochemical Parameters”*, desarrollado en el año 2024 mediante una recopilación y análisis de muestras de suelo e incluso la medición de parámetros in situ, en este se estableció tanto la relación entre la captura de carbono y la profundidad del suelo como la captura de carbono y la salinidad del suelo, con lo que se pudo concluir que este fenómeno se ve influenciado por las condiciones fisicoquímicas tanto en el ecosistema estudiado como en el área que previamente se restauró al igual que las condiciones ausentes o presentes de vegetación (Chan-Keb, Agraz-Hernández, Pérez-Balan, & Mas-Qui., 2024).

Los sumideros de carbono se pueden evidenciar en el bosque manglar, haciendo que esta biodiversidad se convierta parte de soluciones basadas en la naturaleza frente al fenómeno del cambio climático. Para el año 2022 en Colombia, el grupo de investigaciones BIEMARC acompañados por la universidad de la Guajira desarrollaron un trabajo investigativo que lleva por nombre: Riesgos relacionados con el cambio climático de la flora y fauna asociada a bosques de manglar en el Caribe colombiano. Esta investigación desarrolló una metodología con enfoque multidisciplinario en la que combinaron el análisis sedimentológico, paleoecológico y geocronológico. Mediante la recopilación de muestras de sedimentos se emplearon análisis microfisiles, granulometría, contenido de carbono orgánico, entre otros, para la reconstrucción de la historia ambiental y la dinámica del bosque manglar que integra este complejo lagunar durante los últimos 900 años. La información obtenida mediante la metodología aplicada proporciona información detallada sobre los cambios que ha sufrido la vegetación y en general la biodiversidad de este ecosistema, con la que se pudo determinar los

posibles impactos ambientales de origen antropogénico y a su vez una valoración ecosistémica que soporta la pesquería en la ciénega grande de Santa Marta. Los resultados obtenidos revelaron la vulnerabilidad de este tipo de ecosistemas frente a los impactos del cambio climático, por ende, se hace necesario implementar medidas de conservación y manejo sostenible de los mismos para garantizar su resiliencia (Beleño, Bolívar, & Pitre, 2022)

El bosque manglar normalmente se ubica en zonas marino-costeras, esto hace que se convierta en un ecosistema con tal grado de vulnerabilidad. Alejandro Henao-Castro investigador del programa de biología de la universidad de Cartagena en conjunto con Camilo Valcárcel-Castellanos y Guido Ricardo López-Paternina ambos investigadores del parque nacional natural corales del rosario y san bernardo, adelantaron una investigación denominada: Variación fenológica de *Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus* y *Laguncularia racemosa* en isla Múcura. posterior a la selección del área de estudio y sus respectivas especies en esta investigación se llevó a cabo un detallado registro fenológico de cada una de ellas como: botones florales, floración, frutos verdes, frutos maduros, rebrote de hojas y caída de hojas. Se realizó un climograma teniendo en cuenta los factores de temperatura y precipitaciones que se introdujeron a un software estadístico que arrojó como resultado las correlaciones canónicas robustas y significativas entre grupos de variables ambientales climáticas y eventos fenológicos en las tres especies de manglares estudiadas, además se demostró la estrecha relación entre las variaciones en la precipitación y los eventos reproductivos de las plantas en el área marina protegida. Finalmente, esta investigación resalta la importancia de la fenología de los manglares como una herramienta clave para la conservación y el manejo sostenible de estos ecosistemas en el Caribe colombiano, ofreciendo información valiosa para la toma de decisiones en la protección de la biodiversidad marina (Henao-Castro, Valcárcel-Castellanos, & López-Paternina, 2023).

Los servicios ecosistémicos son bienes y servicios que la humanidad obtiene de la naturaleza y a los que se asigna valor ecológico, económico y social, para analizar este último los investigadores mexicanos Mayra Isabel de la Rosa Velázquez, Arturo Ruiz Luna en el año 2019 desarrollaron una investigación llamada: valoración social de los servicios ecosistémicos de humedales costeros: estado actual y perspectivas. La metodología utilizada consistió en una recolección y análisis de datos cualitativos para generar teorías que expliquen el fenómeno estudiado, mediante este proceso de análisis se identificaron datos, su integración en categorías teóricas mediante un método de comparación constante, y la generación de teorías a partir de las relaciones encontradas. Se fragmentaron los datos en unidades condensadas llamadas códigos, que capturan la esencia de un atributo a través de frases cortas, enunciados extensos, imágenes u otras manifestaciones del lenguaje, etiquetándolos simbólicamente por medios electrónicos o selección manual. Mediante este análisis se observaron protocolos que abordaron preferencias sociales para la selección de áreas de conservación, la disposición a contribuir en acciones de reforestación y la evaluación de las condiciones físicas del humedal por eventos hidrometeorológicos. Se encontró que las metodologías de valoración económica y social se siguen abordando de forma aislada, principalmente debido al tipo de servicios ecosistémicos analizados y al sector social que se pretende movilizar. Esta investigación concluye que existe una falta de definición estandarizada del valor social, especialmente en relación con servicios sin valor de mercado. Se destaca la importancia de desarrollar un marco conceptual para la valoración integral basado en la pluralidad de valores de los servicios ecosistémicos como estrategia de conservación de los humedales. Se observó que las metodologías de valoración económica y social se abordan de forma aislada en muchos casos, lo que resalta la necesidad de integrar enfoques para una valoración más completa y holística de los servicios ecosistémicos. (Velazquez & Luna., 2020).

Colombia como uno de los principales países con mayor biodiversidad de orden mundial, cuenta con un conjunto de normas encaminadas a asegurar la conservación y en su defecto el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, respecto a este tema los investigadores Christian Alejandra Vidal Sierra, Ciro Alfonso Serna Mendoza, Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Gloria Yaneth Flórez Yepes, Juan de Dios Valdez Leal en representación de un gremio de universidades entre Colombia y México en el año 2020 desarrollaron un trabajo investigativo que se titula: Estado del arte del marco jurídico de protección de los humedales frente el cambio climático en el que como metodología se combinó el análisis bibliométrico de la literatura científica con la construcción de redes bibliométricas para identificar las tendencias investigativas más relevantes en la protección de humedales frente al cambio climático para una posterior evaluación de los marcos legales internacionales en esta área de estudio. Se analizaron en su totalidad 76 documentos que correspondieron a artículos especializados, documentos de conferencias, capítulos de libros y notas que permitieron obtener una amplia visión de la literatura científica respecto a los mecanismos legales de protección de los humedales. Estados Unidos, China, y Australia representaron un 68.4% de los documentos analizados lo que los convierte en países pioneros en cuanto a la producción científica relacionad con la protección ambiental de los humedales. A manera de conclusión este estudio destaca la importancia de los humedales como estrategia de adaptación al cambio climático y los cataloga como ecosistemas vitales que ofrecen una amplia gama de servicios ecosistémicos, pero a su vez se tornan vulnerables a los impactos de este mismo fenómeno natural. Destaca la importancia de un marco jurídico sólido y políticas ambientales efectivas que garanticen la conservación y gestión sostenible de los humedales, así como la biodiversidad asociada (Sierra, Mendoza, Figueroa, Yepes, & Leal, 2020).

En el año 2022 el Mg. Rodrigo Rodríguez Reales lideró una investigación titulada: evaluación de la influencia de los parámetros físico-químicos del agua y el suelo en la estructura, composición y almacenamiento de carbono de la comunidad de mangles en la ciénega de mallorquín en la ciudad de barranquilla. El desarrollo metodológico de este estudio combino técnicas de muestreo de tipo no probabilístico, análisis de datos y modelado estadístico con el fin de determinar la relación entre los parámetros fisicoquímicos y la comunidad de mangles de la ciénega de mallorquín, se establecieron tres estaciones de muestreo asociadas a distintos cuerpos de agua para el establecimiento de parcelas circulares. Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó modelos de lineales generalizados considerando la distribución de las diferentes variables, como resultado se estimó el carbono almacenado en la comunidad de mangles y así mismo se cuantificó el servicio ecosistémico de captura y almacenamiento del mismo, se determinó la influencia de los parámetros fisicoquímicos en la estructura, composición y almacenamiento de carbono en la comunidad de mangles lo que permitió observar una tendencia positiva del desarrollo de la especie *avicennia germinans*. Finalmente, este estudio resalta una vez más la relevancia del servicio ecosistémico de captura y almacenamiento de carbono de la comunidad de mangles de la ciénega de mallorquín haciendo énfasis en el papel que cumplen como mitigadores del cambio climático (Reales, 2022).

El caribe colombiano gracias a su geografía se hace propicio como un gran potencial de ecosistemas de manglar, en el año 2019 la universidad Simón Bolívar de Barranquilla Colombia , la escuela naval de suboficiales y la universidad de Cádiz en España publicaron el siguiente estudio: Influencia de los impactos antrópicos sobre la evolución del bosque de manglar en Puerto Colombia (Mar Caribe Colombiano), este estudio fue liderado por los investigadores: H. Sánchez-Moreno, H.J. Bolívar-Anillo, D.A. Villate-Daza, G. Escobar

Olaya, G. Anfuso. En su metodología interpretaron un conjunto de mapas antiguos, fotografías aéreas e imágenes de satélite para analizar la evolución temporal de la línea de costa el estado actual del bosque manglar.

Adicionalmente realizaron inspecciones detalladas en campo para confirmar sus características y se establecieron puntos de control con sistemas de referencia específicos para llevar a cabo la georreferenciación. Los hallazgos revelaron que la evolución actual del bosque manglar de puerto Colombia ha sido impactado por diversas actividades antrópicas; se identificó que el establecimiento de este ecosistema se dio gracias a la adhesión de la isla verde y se ha mantenido gracias a los aportes de agua dulce de tres arroyos. Además, se observó que la línea de costa en el municipio de puerto Colombia se sostenía de sedimentos provenientes principalmente del río Magdalena lo que resalta la complejidad de las interacciones entre los impactos humanos y la evolución de este importante ecosistema. Teniendo en cuenta estos resultados, se destaca que la alteración en la hidrología del bosque, debido a obras civiles y la construcción de espigones, ha llevado procesos erosivos y pérdida de la capacidad de autogeneración de ciertas áreas del bosque por lo que se sugiere que este estudio sea tenido en cuenta para diseñar programas de restauración y conservación de este ecosistema prioritario en la estrategia de adaptación al cambio climático global en la región y así garantizar sus sostenibilidad (Moreno, Anillo, Daza, & Olaya., 2019).

En Cuba, Dennis Denis Ávila, Emerio A. Curbelo, Luis J. Madrigal-Roca1 y Ramón D. Pérez Lanyau en cabeza de la universidad de la habana desarrollaron la siguiente investigación: Variación espacio-temporal de la respuesta espectral en manglares de La Habana, Cuba, evaluada con sensores remotos que se publicó en el año 2020, este trabajo investigativo se centró en cuatro localidades de la ciudad de la habana para la aplicación de una caracterización espectral de los respectivos bosques de manglar. Para tal fin se tomaron

valores promedios mensuales contando con un análisis total de 11,700 muestras que se sometieron a análisis estadísticos con los que se obtuvo su variabilidad espacio - temporal teniendo en cuenta la tendencia histórica de cada una. Los análisis y técnicas aplicadas indican que las diferencias geográficas en los índices espectrales de los manglares de la habana están directamente relacionadas con sus propiedades estructurales y niveles de conservación que da origen a una tendencia general de aumento en los índices a través del tiempo dependiendo de la localidad estudiada. Este estudio además de caracterizar de manera individual cada manglar, resalta la importancia de utilizar índices espectrales como un indicador del estado de los ecosistemas, mas, sin embargo, se hace necesario continuar con estudios a base de sensores remotos que proporcionen indicadores solidos que permitan comprender mejor la dinámica de estos ecosistemas y su conservación (Ávila, Curbelo, Roca, & Lanyau, 2020).

Bosques de manglar del Caribe Norte Colombiano: Análisis, evolución y herramientas de gestión, así se titula un estudio publicado en el año 2020 donde figuran nuevamente los autores: Samantha Chacón Abarca<sup>1</sup>, María C. Serrano, Hernando José Bolívar Anillo, Diego Andrés Villate Daza, Hernando Sánchez Moreno y Giorgio Anfuso en cabeza de la universidad Simón Bolívar de Barranquilla Colombia, la escuela naval de suboficiales y la universidad de Cádiz en España. Esta investigación caracteriza la evolución y los impactos de cuatro bosques de manglar localizados en el mar caribe de Colombia, específicamente en los departamentos del Atlántico (Ciénega de Mallorquín y Manglar de Puerto Colombia) y de Bolívar (Ciénega del totumo y Ciénega de La Virgen). Este trabajo investigativo se basó principalmente en una revisión bibliográfica detallada que permitió recopilar información relevante de diferentes fuentes científicas complementada con visitas a campo para caracterizar las especies de manglar, observar su distribución espacial, estado vegetativo, condiciones de follaje y de los neumatóforos. El estudio cuenta con una cartografía elaborada a base de mapas antiguos, cartas

náuticas, imágenes de satélite SPOT y Google Earth Pro, además de contar con fotos aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia que se posicionaron mediante transformación polinomial de primer orden con el software ArcGIS 10.3.1. mediante el uso de las herramientas anteriormente mencionadas se logró observar que las actividades antropogénicas, como la tala de ilegal, la construcción de carreteras, el emplazamiento de espigones, el aumento poblacional y la disminución de la salinidad a causa del desarrollo de actividades económicas, fueron los principales factores que causaron el deterioro y la pérdida de la cobertura vegetal de este ecosistema de manglar. Adicionalmente los recientes eventos climáticos crónicos han desatado cambios sustanciales en la estructura de algunos de estos ecosistemas. No obstante a los resultados encontrados, se destaca un avance en la gestión de los manglares en Colombia, con iniciativas que promueven la mejora y conservación de este tipo de ecosistemas por lo que se sugiere no solo considerar los aspectos económicos, sino también la apropiación cultural y sentimental de la población local con el ecosistema de manglar al momento de planear políticas de conservación (Samantha Chacón Abarca, y otros, 2020).

La universidad de Antioquia desde su facultad de ciencias exactas y naturales, específicamente desde su instituto de biología, en reciente año 2023 publicó un estudio titulado: Mapeo de manglares utilizando cómputo en la nube y un índice espectral específico para apoyar acciones de manejo: un caso del Caribe Colombiano semiárido, liderado por los investigadores: Juan J. Ruiz-Roldán, Juan F. Blanco Libreros y Sara R. López Rodríguez. Se empleó exactamente en el departamento de Sucre donde se estimó el desempeño del índice de vegetación de manglar para la actualización de la extensión de su área semiárida. Se realizó una reconstrucción multitemporal comprendida entre el año 2017 y el año 2021 teniendo en cuenta además del índice de vegetación del manglar, imágenes Sentinel 2 y computos

realizados en Google Earth Engine, complementado con validaciones en campo asistidas con sobrevuelos de un vehículo aéreo no tripulado de bajo costo (DJI Phantom 3 Advanced) para la observación de áreas de difícil acceso para un posterior análisis con el software QGIS 3.22. los datos procesados dieron como diagnóstico una variabilidad significativa en la extensión del manglar entre temporadas de lluvia y sequía con lo que se estimó un total de 8924 hectáreas de manglar con un coeficiente Kappa de 0.78. Esta estimación cubrió todas las categorías de manejo y mostró consistencia con las estimaciones previas realizadas por esfuerzos globales y nacionales. El método empleado a pesar de su simplicidad funciona como una alternativa rápida y efectiva para actualizar las zonificaciones de manglares en regiones semiáridas de Colombia. A través de este estudio se proporcionó un protocolo que permitirá realizar monitoreos anuales, conforme lo exige la normatividad colombiana, para mantener un zonificación y cartografía actualizada de los manglares, que se convierte a su vez en una herramienta crucial para garantizar la conservación y el manejo sostenible de estos ecosistemas (Roldán, Libreros, & Rodríguez, 2023).

La degradación de los ecosistemas es una problemática global, en el año 2020 la revista *Scientific Reports* publicó una investigación a cargo de: Dale N. Bryan Brown, Rod M. Connolly, Daniel R. Richards, Fernanda Adame, Daniel A. Friess y Christopher J. Brown. Este grupo de científicos realizaron un análisis de las tendencias en la fragmentación de bosques de manglares a nivel global, utilizando datos de todos los manglares del mundo al que titularon: *Global trends in mangrove forest fragmentation*. La metodología utilizada en el estudio se basó en el análisis de datos del Conjunto de Datos Global de Cambio de Manglares (CGMFC-21), que es un conjunto de datos derivado de imágenes Landsat que describe la extensión global de los manglares a una resolución de 30 m desde 2000 hasta 2012. Este conjunto de datos se obtuvo a partir de dos conjuntos de datos robustos y probados: el conjunto de datos de Cambio

Forestal Global de Hansen et al. y el conjunto de datos de Distribución Global de Manglares de Giri et al con la que se generó una capa vectorial de celdas de  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ , donde cada celda se definió como un "paisaje" y se analizó la presencia de manglares dentro de cada celda. Posteriormente, se emplearon diferentes métricas de fragmentación para evaluar los cambios en la distribución y tamaño de los parches de manglares a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos muestran que la fragmentación es una forma de cambio ambiental más común que la pérdida de los mismos a nivel global. Las áreas previamente identificadas como puntos críticos de pérdida de manglares, como: indonesia, malasia y Myanmar, también presentan altos niveles de fragmentación en sus ecosistemas. A manera de conclusión, este estudio cataloga la fragmentación de los bosques de manglar como un fenómeno generalizado y significativo a nivel global que genera impactos ecológicos importantes puesto que puede causar una alteración funcional de estos ecosistemas en cuanto a su capacidad de proporcionar hábitat a otras especies, así como su capacidad de capturar y almacenar carbono (Brown, y otros, 2020).

El delta del guayas es el sistema estuario más grande la costa del pacifico de América Latina y se ubica específicamente en Ecuador. Aquí en el año 2023 un grupo de investigadores integrado por: Ignace Pelckmans, Jean-Philippe Belliard, Luis E. Dominguez Granda, Cornelis Slobbe, Stijn Temmerman y Olivier Gourgue, en representación de un conglomerado de instituciones. El estudio empleó un modelado hidrodinámico a escala deltaica con la ayuda del software TELEMAC 2D, este simuló las condiciones en el delta del Guayas. Se utilizaron ecuaciones de aguas poco profundas con el fin de representar el flujo de agua en el sistema estuario, considerando la elevación de la plataforma de los manglares, la densidad de la vegetación, la topografía de los lodos intermareales y el grado de canalización dentro del ecosistema de manglar. Adicionalmente se realizaron análisis de sensibilidad del modelo para

determinar cómo diferentes factores, como la elevación de la plataforma de los manglares y el grado de canalización, afectan los niveles de agua alta del sistema estuario. Con los resultados obtenidos incluyeron una validación del modelo hidrodinámico a través de la comparación entre las simulaciones y las observaciones de los niveles de agua en las ramas ubicadas al este y oeste del delta del Guayas durante las temporadas mareales de primavera y mareas muertas. Se observó una buena concordancia entre los niveles de mareas simulados y observados, lo que demuestra un margen de efectividad amplio del modelo utilizado. En la temporada de mareas de primavera, se observó una amplificación de las mareas tanto en las ramas del este como en las del oeste, con diferencias aceptables entre la simulación y la observación. Dado los resultados obtenidos se concluye que la elevación de la plataforma de los manglares es más importante que la resistencia que inducen los mismos para determinar los niveles de agua en todo el sistema estuario. Se determinó que al disminuir la elevación de los lodos intermareales cerca al extremo aguas arriba del sistema estuario, tiene poco efecto en los niveles de agua alta aguas arriba del mismo. La canalización de los bosques de manglar fue un factor determinante en los niveles de agua alta del sistema estuario tanto en sus aguas arriba como aguas abajo. Con estos hallazgos se resalta la importancia del componente topográfico y la canalización de sus modelos hidrodinámicos para comprender mejor la dinámica de los niveles de aguas en los deltas de estos ecosistemas (Pelckmans, y otros, 2023).

Como consecuencia a la problemática de cambio climático se da un aumento del nivel del mar lo que representa una grave amenaza para las comunidades que habitan zonas costeras. Los investigadores japoneses: Naoko Kumano, Makoto Tamura, Tomomi Inoue y Hiromune Yokoki publicaron en el año 2021 un estudio que examina la rentabilidad que tendría la reforestación con mangles adicionada con la construcción de diques en áreas con riesgo de inundación como medida de adaptación. Esta investigación se titula: Estimating the cost of

coastal adaptation using mangrove forests against sea level rise y su desarrollo metodológico se da mediante la evaluación del impacto de las inundaciones en zonas costeras de específicamente 112 países y regiones que tienen bosques manglares a lo largo de sus costas, para dicha evaluación se utilizaron tres modelos de circulación general (MIROC-ESM, GFDL-ESM2M y NorESM1-M), datos de mareas (TPXO7.2) y topografía de ETOPO1(2009). Teniendo en cuenta los datos obtenidos, este trabajo investigativo prevé que para el 2100 se dará una inundación potencial en las áreas estudiadas sin adaptación de los 112 países seleccionados. Se logró observar que la combinación de diques y bosques de manglares tiene una buena relación costo/beneficio a nivel global de aproximadamente 1.5 veces mayor que la protección únicamente con diques. Esta estrategia de protección múltiple reduciría tanto el número necesario de diques como el costo de la adaptación requerida lo que la hace una estrategia rentable para la contrarrestar impactos del aumento del nivel del mar en zonas costeras (Kumano, Tamura, Inoue, & Yokoki, 2021).

En China la universidad Oceánica y la universidad de Shantou en el año 2021 publicaron el siguiente estudio: Fungi in mangrove ecosystems and their potential applications, liderado por los investigadores: Shu-Lei Jia, Zhe Chi, Guang-Lei Liu, Zhong Hu y Zhen-Ming Chi, en este se revisa el papel de los hongos en los ecosistemas de manglar, los bioproductos originados por estos y sus posibles aplicaciones en estos ecosistemas. El estudio se basa en la aplicación de diferentes tipos de hongos como: hongos endófitos como *Phomopsis*/*Diaporthe*, *Xylaria*, *Colletotrichum*, y *Phyllosticta*. Hongos libres viviendo como *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes*, *Saccharomycetes*, *Ustilaginomycetes*, *Agaricomycetes*, *Tremellomycetes*, *Exobasidiomycetes*, *Schizosaccharomycetes*, y *Dothideomycetes*. Especies específicas como *Helicascus mangrovei*, *Sistotremastrum*, *Dipodascus australiensis*, *Alternaria* species, y un *Lecanoromycete*. Levaduras como *Candida albicans*, *Metschnikowia bicuspidata*, *Pichia*

guilliermondii, *Saccharomyces cerevisiae*, *Yarrowia lipolytica*, y *Kazachstania aestuarii*. Fungi capaces de degradar contaminantes como *Alternaria alternata*, *Aspergillus terreus*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Eupenicillium hirayamae*, y *Paecilomyces variotii*. Fungi productores de liamocinas como algunas cepas de *Aureobasidium* spp. Luego ser sometidas a procesos microbiológicos de laboratorio de las especies anteriormente mencionadas se obtuvieron los siguientes resultados: Aislamiento de hongos productores de compuestos bioactivos como *Penicillium brocae*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Annulohyphomyces* sp. CA-2013, *Rhytidhysterium rufulum*, *Phomopsis longicolla*, *Stemphylium* sp. En diferentes ecosistemas se logró identificar yeast-like fungi como *Aureobasidium* spp. Estas especies tienen la capacidad de producir pullulan, aceites pesados (liamocinas), lípidos, polimalato, ácidos glucónicos, y enzimas. La presencia de *Candida* spp. demostró su potencial papel en la transformación de compuestos ambientales y finalmente un potencial de hongos de manglares productores de exopolisacáridos, ácido glucónico, liamocinas, ácidos grasos poliinsaturados, biocombustibles, xilitol, enzimas y sustancias bioactivas con aplicaciones en diversas industrias. Con los resultados obtenidos este estudio reconoce a los ecosistemas de manglares como puntos calientes de biodiversidad fúngica que han sido investigados en busca de nuevas sustancias bioactivas, enzimas y productos químicos con diversas aplicaciones por lo que enfatiza la necesidad de investigar más a fondo las vías biosintéticas, enzimas relevantes y regulación genética de la biosíntesis de metabolitos bioactivos para promover su biosíntesis y mejorar su bioactividad (Jia, Zhe Chi, Hu, & Chi, 2020).

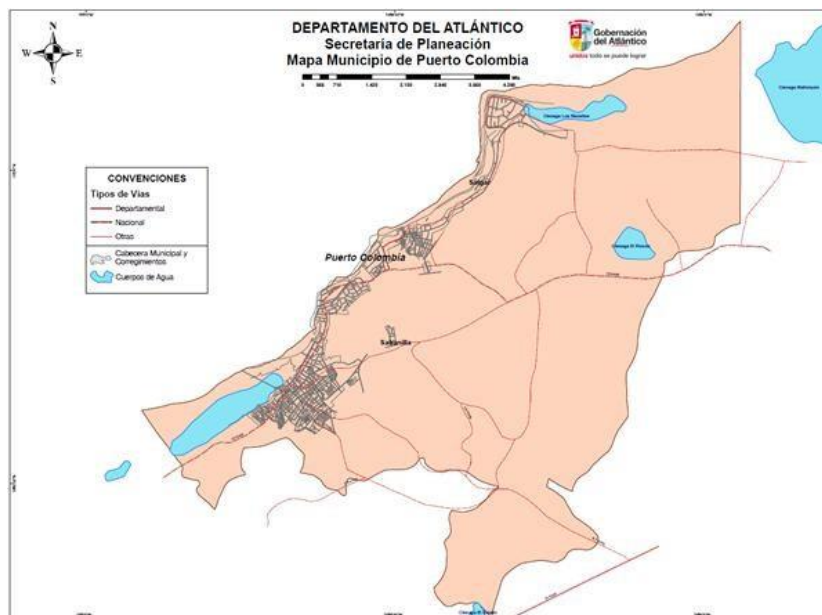
## 6. Metodología

Para lograr los objetivos propuestos sobre el Análisis Físico-Ecosistémico Del Bosque Manglar De La Playa De Puerto Colombia Y Su Contribución Al Cambio Climático, se utilizó una metodología estructurada en etapas, combinando análisis de datos ecológicos, mediciones de campo, evaluación de vulnerabilidad y análisis de factores antropogénicos. A continuación, te presento una metodología con referencias relevantes para cada objetivo.

### 6.1. Área de estudio

Puerto Colombia es de terreno plano y cálido, dispone de varias ciénagas entre ellas Los Manatíes, Aguadulce, El Rincón, El Salado y Balboa. Las corrientes de agua son limitadas, existen varias afluentes pluviales, entre los que se destaca El Arroyo Grande, los cuales desembocan en Blaboa y el Mar Caribe. Su agricultura es de subsistencia lo mismo que la ganadería. Para sus moradores es importante el ejercicio de la pesca. (Colombia A. d., 2023)

**Ilustración 5.** Mapa del Municipio de Puerto Colombia



Fuente: (Atlántico, 2011)

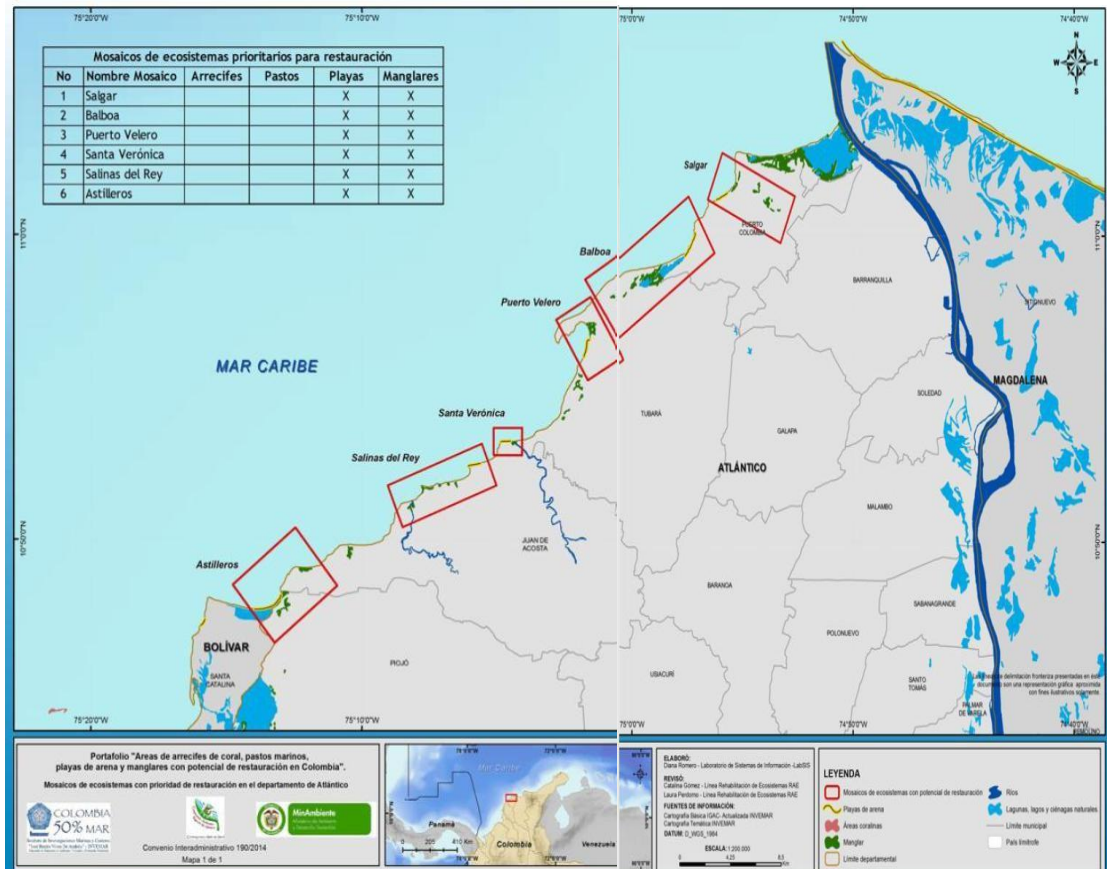
Como sitio de interés tiene sus playas sobre el Mar Caribe, los balnearios que en lo largo de ellas se desarrollan en Sabanilla, Salgar, Pradomar, Miramar, alrededores del muelle. Además, los monumentos históricos como son El Castillo de Salgar, el Centenario Muelle y la Estación del Ferrocarril. (Colombia A. d., 2023).

La arquitectura del edificio de la Alcaldía, la del Santuario Mariano Nuestra Señora del Carmen, la del Hotel Pradomar y sus acogedoras cabañas se destacan. Este bello municipio está rodeado de los Cerros Cupino, Pan de Azúcar y Nisperal. Desde el primero de ellos se está practicando el parapente, deporte extremo de gran acogida en la actualidad en diversas partes del país y del mundo. (Colombia A. d., 2023).

El área objeto de estudio corresponde al bosque manglar ubicado en las playas del municipio y que marca las coordenadas geográficas:  $10^{\circ} 59' 2''$  de latitud al norte y a  $74^{\circ} 57' 2''$  de longitud oeste, con una altitud promedio de 15m.s.n.m., a una distancia de 15 kilómetros de la ciudad de barranquilla, capital del departamento. Su extensión aproximada es de 93km<sup>2</sup> con una temperatura promedio de 27,8°C. este ecosistema manglar consta de aproximadamente 3.2 hectáreas, delimitada en la zona frontal con el mar caribe.

Las geoformas asociadas al litoral son los acantilados, las terrazas marinas y las playas asociadas a espigas, barras de arena y dunas. Los manglares en el Atlántico se ubican en los ambientes estuarinos de las ciénagas de mallorquín, Manatías, El Rincón, Balboa y El Totumo; las demás formaciones boscosas se distribuyen a lo largo de la costa y están asociadas a playas y la desembocadura de arroyos. El departamento cuenta con escasa cobertura de manglar, distribuidos en forma de rodales ralos tipo borde con arbustos de crecimiento achaparrado, altamente ramificados e inclinados por la acción de los vientos. Toda la zona costera del departamento se catalogó como la zona de recuperación del Atlántico (Sánchez-Páez et al., 1997a) debido a las condiciones de aridez y la magnitud de las problemáticas asociadas.

**Ilustración 6.** Mosaico de áreas del Atlántico de ecosistemas prioritarias para restauración de playas y manglares.



Fuente: (INVEMAR, 2013)



## 6.2. Características Físico-Ecosistémicas

El Monitoreo de los manglares hace parte de los procesos de planificación y manejo de los recursos naturales, los cuales se centran en la toma de decisiones para la gestión adecuada de objetivos, recursos, proyectos y metas. La toma de decisiones, al igual que el desarrollo de acciones, son procesos dinámicos que se llevan a cabo en los distintos niveles de la sociedad e implican consideraciones de orden cultural, social, económico, institucional, político y ambiental (IDEAM, 2002).

### 6.2.1. Caracterización Física del cuerpo de agua.

Para la caracterización de física del ecosistema de manglar se inicio con una caracterización a los cuerpos de aguas cercano a los manglares, para los cuales se realizo una muestra puntual en dos puntos donde se identifico manglar en la playa de Puerto Colombia.

**Tabla 2.** Puntos de monitoreo de caracterización del agua en la playa de Puerto Colombia.

Nombre del Punto	Coordenadas de Ubicación		Fotografía de ubicación
	Latitud	Longitud	
Punto de vertimiento arroyo grande	10°59'27.727" N	74°57'27.896"W	
Cuerpo de agua del manglar	10°59'28.385"N	74°57'27.715"W	

**Fuente:** (Autores, 2024).

Para la muestra de agua se consideró el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de Agua establecido por el IDEAM, el cual establece el objetivo general de la campaña de monitoreo, el cual debe considerar las prioridades, intereses y las necesidades de los usuarios en cualquier contexto de seguimiento del agua que se adelante, ya sea en cantidad (niveles, caudales, sedimentos) y/o calidad (variables fisicoquímicas, hidrobiológicas, sedimentos) de aguas superficiales, subterráneas y marino-costeras. (IDEAM, 2021).

Se realizaron muestras puntuales en los dos puntos anteriormente mencionados el cual representa condiciones y características de la composición de un cuerpo de agua, para ello se midieron in situ y en el laboratorio los parámetros Salinidad, resistencia, pH, conductividad, temperatura y TDS.

### **6.2.2. Caracterización Ecosistémica Del Manglar.**

Para el monitoreo de los manglares hace parte de los procesos de planificación y manejo de los recursos naturales, los cuales se centran en la toma de decisiones para la gestión adecuada de objetivos, recursos, proyectos y metas. La toma de decisiones, al igual que el desarrollo de acciones, son procesos dinámicos que se llevan a cabo en los distintos niveles de la sociedad e implican consideraciones de orden cultural, social, económico, institucional, político y ambiental (IDEAM, 2002).

Es así, como se siguió el Manual metodológico sobre el monitoreo de los manglares del Valle del Cauca y fauna asociada del INVEMAR considerando lo siguiente:

#### **6.2.2.1. Marcación y codificación de los árboles.**

Una vez establecida la parcela en campo, se marcan todos y cada uno de los árboles seleccionados a partir de 5,0 cm y se les asigna un código. El código de un individuo está constituido por dos números dispuestos en forma fraccionaria, el primero corresponde al número de la parcela circular, el cual puede tomar valores de 1 a 3 y el segundo al número consecutivo del árbol, por ejemplo: (2 / 15) corresponde al árbol 15 de la parcela 2.

**Ilustración 7.** Esquema de distribución de las parcelas permanentes de crecimiento

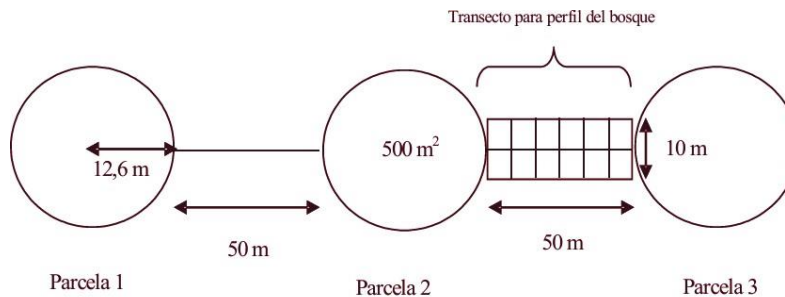


Figura 3-2. Esquema de distribución de las parcelas permanentes de crecimiento

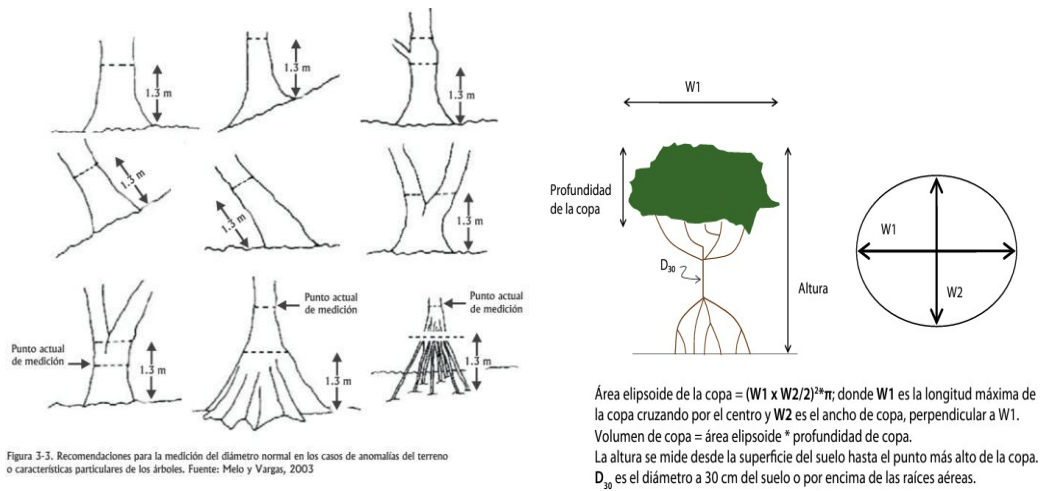
Fuente: (INVEMAR, 2013)

**6.2.2.2. Variables de medición.**

Diámetro: según Lema (1995), el grosor de un árbol tiene como base un diámetro de referencia localizado a 1,3 m de altura sobre la parte del fuste más cercana al suelo. Normalmente se hace referencia a él con la sigla DAP, pero la Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal – IUFRO, (1973), recomienda nombrarlo diámetro normal (d).

- **Altura Total:** es la longitud desde la base del árbol sobre la superficie del suelo, hasta su ápice.
- **Altura hasta la base de la copa o altura de reiteración:** es la longitud entre la base del árbol y el punto de reiteración. Este último es definido como el punto sobre el fuste del árbol donde aparecen las primeras ramas verdaderas (Halleet al., 1978).
- **Altura de copa:** Es la altura que se genera entre el punto de reiteración y el ápice del árbol.

**Ilustración 8.** Recomendaciones para la medición del diámetro normal en los casos de anomalías del terreno

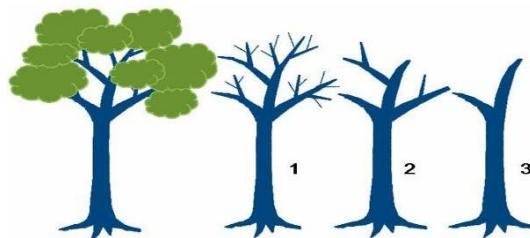


Fuente: (INVEMAR, 2013).

Estado de decaimiento de árboles por clases

- 1) Los árboles en estado 1 murieron recientemente y mantienen muchas de las ramas primarias y secundarias.
- 2) los árboles en estado 2 sólo conservan algunas de sus ramas secundarias, pero mantienen la mayor parte de las primarias.
- 3) los árboles en estado 3, son básicamente troncos con pocas o ninguna rama que por lo general están rotos en la punta.

**Ilustración 9.** Guía de medición del manglar.

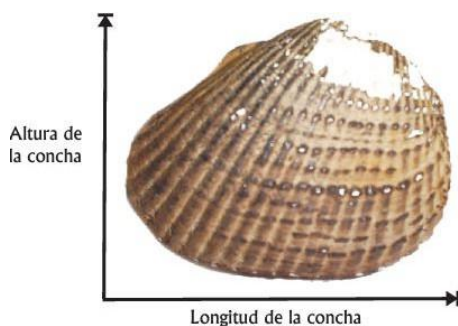


Fuente: (INVEMAR, 2013)

### 6.2.2.3. Variables De Campo En Fauna

Los bivalvos colectados en cada parcela se lavan con agua para remover el lodo, se identifican las especies presentes y se toman las medidas morfométricas de acuerdo con la metodología de Caballero y colaboradores (1997). A cada uno de los individuos se les mide: altura (cm), largo total (cm), distancia intercalar (cm) y peso (g).

#### **Ilustración 10.** Variables morfométricas de la especie



Fuente: (INVEMAR, 2013)

### 6.3. Vulnerabilidad y Grado De Afectación Por Acción Antrópica En El Bosque

#### **Manglar.**

Para el análisis de la vulnerabilidad del bosque manglar se consideraron los siguientes pasos:

#### **Paso 1: Definir los Componentes de Vulnerabilidad**

- **Exposición:** Grado en el que el manglar está expuesto a factores de cambio (e.g., aumento del nivel del mar, temperaturas extremas, eventos de tormenta).
- **Sensibilidad:** Grado en el que el manglar responde a estos factores (e.g., pérdida de cobertura, mortalidad de especies).
- **Capacidad Adaptativa:** Capacidad del ecosistema para resistir o adaptarse a estos cambios (e.g., regeneración natural, especies tolerantes).

## **Paso 2: Selección y Recolección de Datos**

- **Variables Físicas y Ecológicas:** Incluye la elevación del suelo en el manglar, la composición de especies, la tasa de sedimentación y el perfil de salinidad.
- **Variables Antropogénicas:** Identifica fuentes de impacto humano, como urbanización, tala de manglares, descarga de contaminantes y actividades de pesca.

## **Paso 3: Análisis de Exposición**

- **Cuantificación del Índice de Exposición (IE):** Establece un puntaje (1-5) para cada factor de exposición, donde 1 es baja exposición y 5 es alta. Promedia los puntajes para obtener un IE general.
  - Si el aumento del nivel del mar tiene un puntaje de 4 y la frecuencia de tormentas de 3, el IE promedio sería 3.5.

## **Paso 4: Análisis de Sensibilidad**

1. **Evaluación de la Sensibilidad del Manglar:** Observa la respuesta del manglar a los factores de estrés ambiental, como el cambio en la salinidad o la deforestación.
  - Tasa de mortalidad de especies, reducción de cobertura de manglar, y cambios en la salinidad del suelo.
2. **Cuantificación del Índice de Sensibilidad (IS):** Asigna un puntaje a cada indicador (1-5, siendo 5 muy sensible). Calcula el promedio para obtener el IS.
  - **Ejemplo:** Si la mortalidad de especies es de 3 y la reducción de cobertura de 4, el IS promedio sería 3.5.

## **Paso 5: Análisis de la Capacidad Adaptativa**

1. **Evaluación de la Capacidad Adaptativa Natural:** Considera factores como la regeneración natural del manglar, la presencia de especies tolerantes y la disponibilidad de hábitat.
  - Tasa de regeneración de especies, diversidad de especies resilientes.
2. **Análisis de la Capacidad Adaptativa Social:** Evalúa el grado de protección y restauración que la comunidad y las autoridades otorgan al manglar.
  - Existencia de áreas protegidas, programas de restauración y sensibilización comunitaria.
3. **Cuantificación del Índice de Capacidad Adaptativa (ICA):** Asigna un puntaje a cada indicador de capacidad adaptativa (1-5, donde 5 es muy alta capacidad). Promedia los puntajes para obtener el ICA.

## **Paso 6: Cálculo del Índice de Vulnerabilidad (IV)**

- **Fórmula General:**

$$IV=(IE+IS)-ICA$$

- Donde:
  - **IE:** Índice de Exposición
  - **IS:** Índice de Sensibilidad
  - **ICA:** Índice de Capacidad Adaptativa
- **Interpretación:** Un IV más alto indica mayor vulnerabilidad. Ajusta los resultados a una escala del 1 al 5 para representar de forma clara la vulnerabilidad del bosque de manglar.

#### **6.4. Estrategias De Resiliencia Climática.**

Formular estrategias basadas en la restauración ecológica, conservación y mitigación de riesgos que fortalezcan la resiliencia del manglar ante impactos climáticos y antrópicos. Las estrategias pueden incluir la restauración de áreas degradadas y la implementación de programas de educación y participación comunitaria.

Para ello se tiene planificado un instrumento que permita la participación de comunidades y autoridades locales; revisión de estudios de caso de resiliencia en ecosistemas de manglar.

### **7. Resultados Y Discusión**

Los hallazgos obtenidos a partir de la evaluación de la vulnerabilidad del bosque de manglar se incluyen los índices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, permitiendo identificar las áreas del manglar más susceptibles a factores climáticos y antropogénicos. Estos resultados destacan las principales amenazas y los indicadores de riesgo, proporcionando una base sólida para el desarrollo de estrategias de conservación y mitigación. Además, los resultados visuales por medio de gráficos complementan el análisis, facilitando la comprensión de las condiciones actuales del ecosistema y su resiliencia frente al cambio climático.

#### **7.1. Área de estudio**

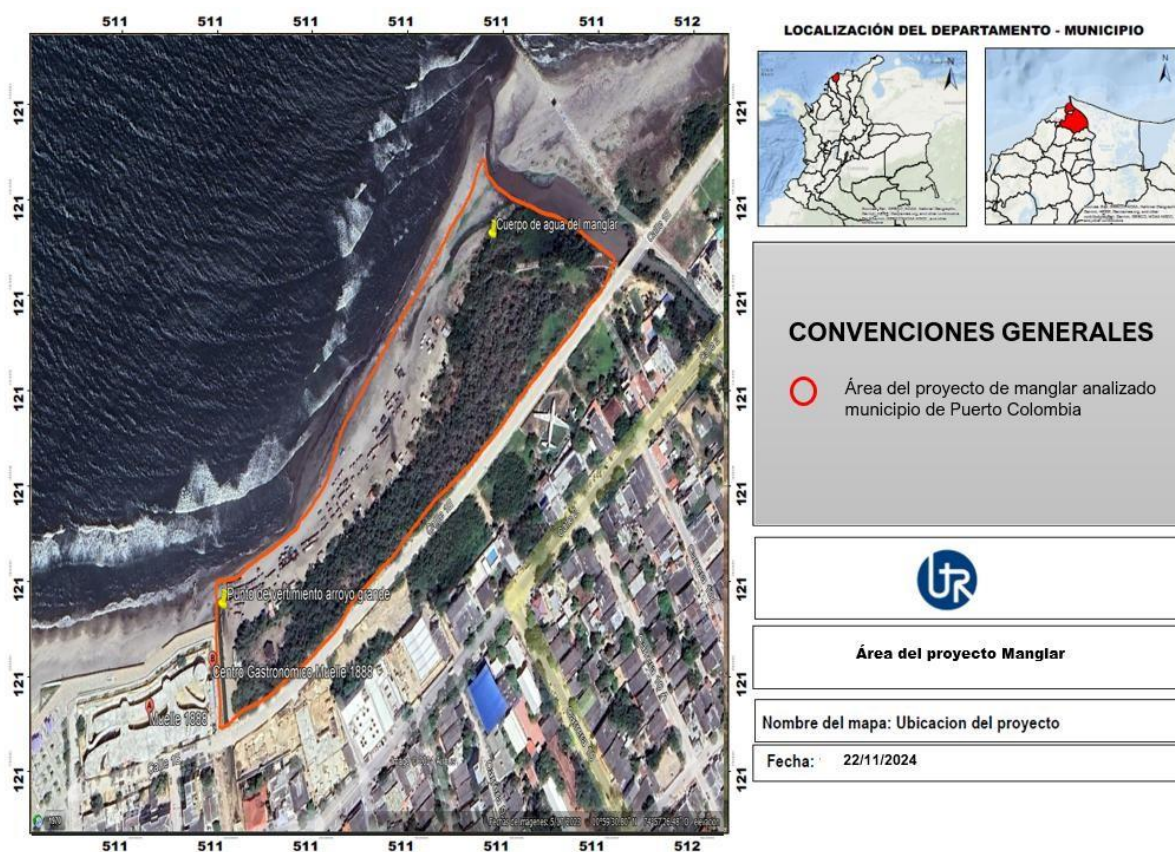
El proyecto se centro en la playa del casco urbano del municipio de Puerto Colombia, para ello se realizaron en dos puntos estratégicos como se muestra a continuación con las coordenadas y ubicación en mapa.

**Tabla 3.** Puntos centrales de monitoreo en la playa de Puerto Colombia.

Nombre del Punto	Coordenadas de Ubicación	
	Latitud	Longitud
Punto de vertimiento arroyo grande	10°59'27.727" N	74°57'27.896"W
Cuerpo de agua del manglar	10°59'28.385"N	74°57'27.715"W

**Fuente:** (Autores,2024)

**Figura. 1.** Ubicación central del monitoreo en la playa de Puerto Colombia



**Fuente:** (Autores,2024)

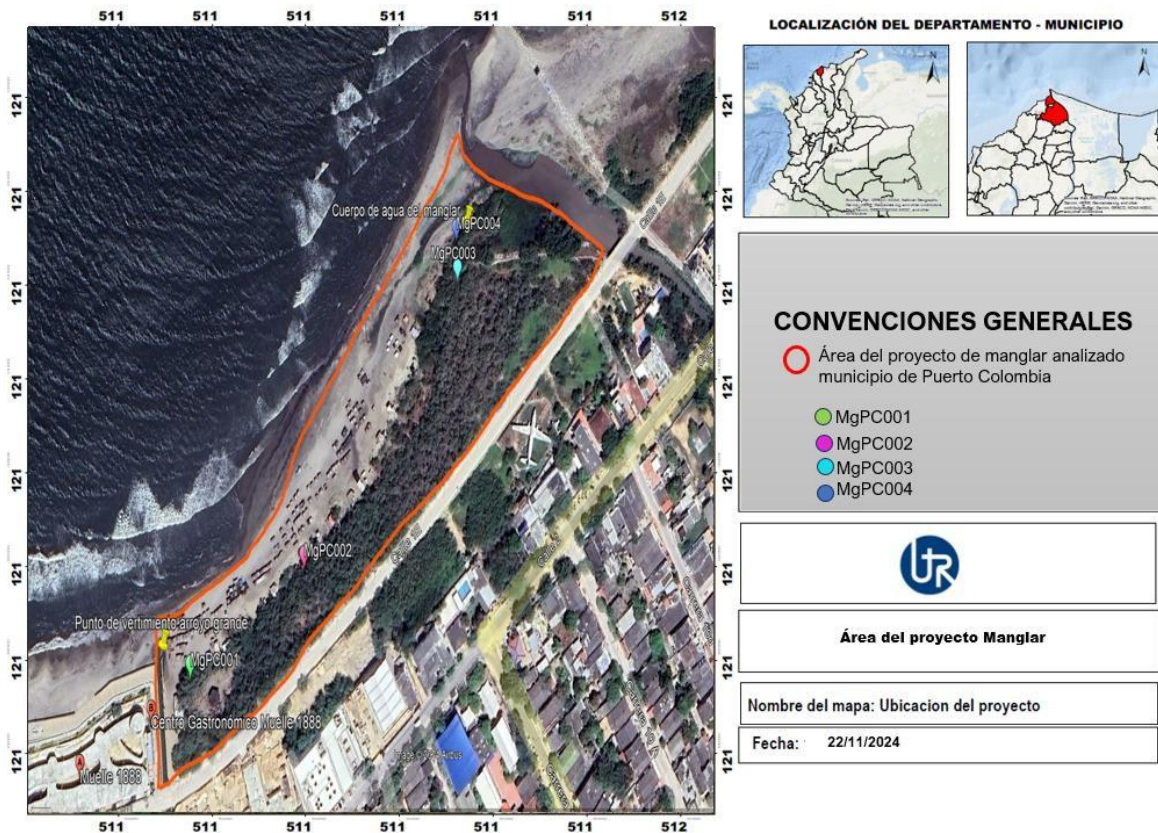
No obstante, para el análisis de las parcelas del monitoreo se consideraron las siguientes coordenadas y la denominación que se consideró para el análisis de estas.

**Tabla 4.** Coordenadas de las parcelas de manglar monitoreadas.

# de la parcela	coordenadas		Código De La Parcela
	Latitud	Longitud	
1	10°59'27.727" N	74°57'27.896"W	MgPC001
2	10°59'27.916"N	74°57'28.017"W	MgPC002
3	10°59'28.385"N	74°57'27.715"W	MgPC003
4	10°59'30.289"N	74°59'26.673"W	MgPC004

Fuente: (Autores,2024)

**Figura. 2.** Ubicación de las parcelas de monitoreo de manglar en la playa de Puerto Colombia



Fuente: (Autores,2024)

Estas áreas fueron seleccionadas por accesibilidad a la zona de manglar la cual se encontraba en la primera línea de la playa del municipio de Puerto Colombia, y adicional cumplía con todos los aspectos que nos permitían la valoración de este ecosistema.

### 7.1.1. Caracterización Ecosistémica Del Manglar.

Para la caracterización del ecosistema del Bosque manglar se dividió en dos fases. La primera de ella fue la caracterización de parámetros físicos del cuerpo de agua que rodea el manglar para lo cual se encontraron los siguientes hallazgos.

Caracterización de Parámetros Físicos de los cuerpos de agua.

Los dos puntos de monitoreo fueron denominados con Punto de vertimiento arroyo grande y Cuerpo de agua del manglar para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados en monitoreo in situ y luego una muestra que fue analizada en el laboratorio:

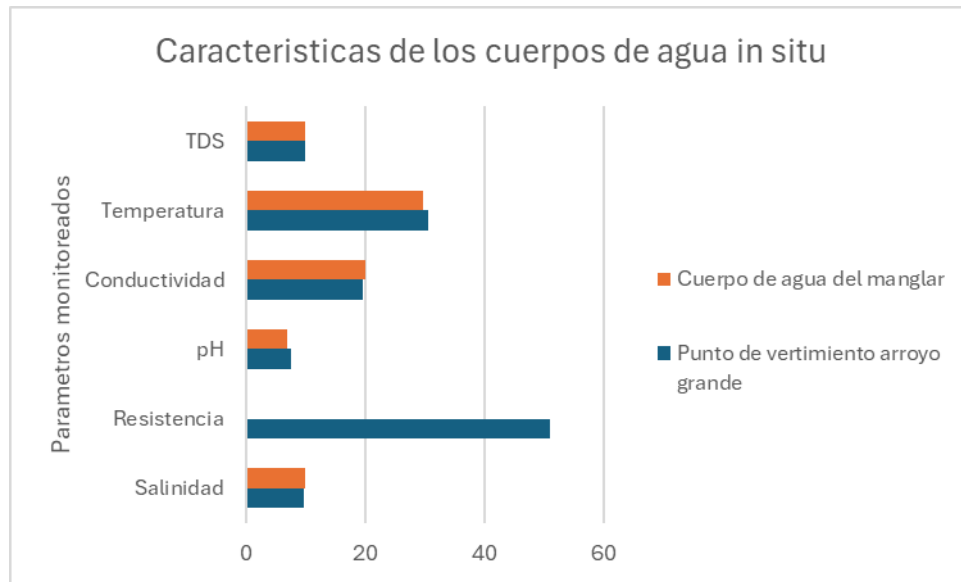
**Tabla 5.** Resultados de monitoreo de parámetros físicos.

Nombre del punto (in situ)	Parámetro	Valor in situ	Valor en laboratorio	
	Salinidad (ppt)	9,72	19,99	
	Resistencia (ohm)		51	50
Punto de vertimiento arroyo grande	pH	7,6	7,41	
	Conductividad (m/δ)	19,54	19,99	
	Temperatura(°C)	30,6	25,3	
	TDS(ppt)	10	10	
	Salinidad(ppt)	10	19,99	
	Resistencia (ohm)	0	50	
Cuerpo de agua del manglar	pH		6,8	6,85
	Conductividad (m/δ)	19,99	19,99	
	Temperatura (°C)	29,8	25,2	
	TDS (ppt)	10	10	

Fuente: (Autores,2024).

Para lo cual se analizaron de manera gráfica, con el fin de mirar como es el comportamiento de estos parámetros.

**Gráfica 1.** Características de los cuerpos de agua in situ



Fuente (Autores,2024)

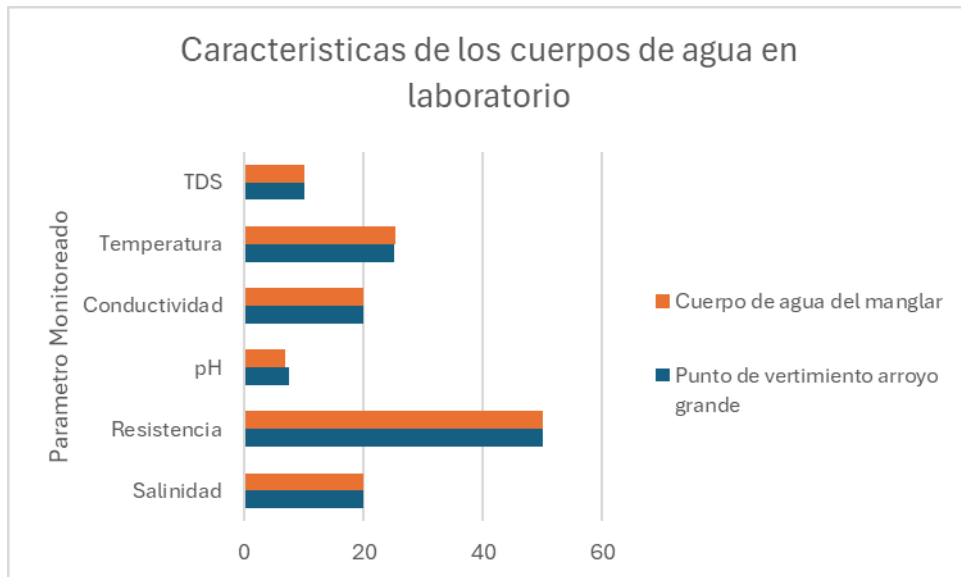
Los resultados muestran que en el lugar cuando se realizó la muestra puntual y medición directa por medio del multiparámetro marca Hanna Instruments con referencia de HI1991300 que permitió la toma de estos datos, registro que para los sólidos totales disueltos (TDS) en ambos de cuerpos de agua presento las mismas concentraciones de este, sin embargo, con respecto a la resistencia el cuerpo de agua del manglar no presento algún registro, por lo que el día de la toma de muestra el cuerpo de agua presentaba condiciones desfavorables, como olores, alta turbidez como se muestra en la figura 3, donde el pH también mostro un comportamiento mas bajo que el del arroyo grande. No obstante, uno de los parámetros que monitoreamos fijamente es la salinidad, por lo que es uno que ayuda a que el cuerpo de agua tenga la viabilidad de poder seguir en el área, y permitir la presencia del manglar y especies que en el habitan.

**Figura. 3.** Toma de muestra en el cuerpo de agua del manglar.



Fuente: (Autores,2024).

**Gráfica 2.** Características de los cuerpos de agua en laboratorio



Fuente (Autores,2024)

Para las pruebas realizadas en el laboratorio resulto que para el cuerpo de agua del manglar, si presento resistencia, por lo que se diluyo la muestra de agua para obtener una mejor lectura de este, sin embargo, el pH no vario con respecto a las mediciones obtenidas en campo. El resto de los parámetros se mantuvieron igual lo que nos llega a corroborar las mediciones realizadas en campo se realizaron con buenas prácticas.

**Figura. 4.** Toma de muestra en los cuerpos de agua.



Fuente (Autores,2024)

## 7.2. Variables De Campo del ecosistema.

Una vez establecida la parcela en campo, se marcan todos y cada uno de los árboles seleccionados a partir de 5,0 cm y se les asigna un código. El código de un individuo está constituido por dos números dispuestos en forma fraccionaria. Y posterior a eso se realiza el siguiente análisis de la parcela

**Tabla 6.** Variables de medición de las parcelas de manglar en el área de estudio.

# de la parcela o código	Condición: intacto, degradado, deforestado	Topografía: depresión, plano, montículo etc.	Geomorfología: delta de río, franja costera, cuenca, etc.	Descripción del suelo: suelo orgánico, mineral, arena, arcilla, limo.
MgPC001	Degradado	Plano	Franja costera	Arena
MgPC002	Degradado	Plano	Franja costera	Arena
MgPC003	Degradado	Plano	Franja costera	Arena
MgPC004	Degradado	Plano	Franja costera	Arena

Fuente: (autores,2024)

Con base a la tabla anterior, en el área de estudio predomina un tipo de suelo (arena) que es característico de la franja costera, sin embargo, el área donde fue monitoreada se observó que la condición de estas se encuentra degradado y afectado por actividades de turismo, así mismo, como erosión costera. No obstante, se tomaron muestras de suelo para lo cual se llevaron al laboratorio con el fin de analizarla por diferentes tamices y comparar esta dando como resultado

**Tabla 7.** Tamizaje de dos puntos de monitoreo.

# De La Muestra	Colador Utilizado	Cantidad Que Paso El Tamiz	Residuo	Peso Total De La Muestra
punto 1	colador plástico #4	160 gramos	156 gramos	316 gramos
punto 2	colador metálico #1	87 gramos	129 gramos	216 gramos

Fuente: (autores,2024)

**Ilustración 11.** Análisis de muestra del suelo del manglar.



Fuente: (autores,2024).

**Tabla 8.** Variables de medición del estado de los arboles

# de la parcela o código	Árboles en estado de muerte reciente	Árboles que conservan ramas secundarias	Arboles con pocas ramas o rotos en la punta
MgPC001	0	1	4
MgPC002	1	3	1
MgPC003	1	3	1
MgPC004	1	3	1

Fuente: (Autores,2024).

**Tabla 9.** Variables de medición de las parcelas de manglar en cuestión de tamaño

# De La Parcela O Código	# De Árbol O Código	Grosor	Altura Base Copa (Cm)	Altura Copa (Cm)	Altura Total
MgPC001	1	>1cm	12,5	3,5	16
	2	>1cm	13	6	19
	3	>1cm	13	7	20
	4	>1cm	14	1	15
	5	65cm	484	234	718
MgPC002	1	13cm	122	250	372
	2	7cm	90	70	160
	3	6cm	140	40	180
	4	1cm	7	19	26
	5	1cm	11	6	17
MgPC003	1	13cm	190	150	340
	2	8cm	219	50	269
	3	10cm	120	240	360
	4	7cm	180	130	310
	5	1cm	13	6	19
	1	1cm	13	46	59

MgPC004	2	2cm	14	50	64
---------	---	-----	----	----	----

# De La Parcela O Código	# De Árbol O Código	Grosor	Altura Base Copa (Cm)	Altura Copa (Cm)	Altura Total
	3	1cm	13	57	70
	4	1cm	6	31	37
	5	1cm	10	8	18

Fuente: (Autores,2024)

A partir de la información recolectada de la caracterización del manglar se puede notar que son de tamaño pequeño, sin embargo, manejan buena cobertura de altura de base de copa que permite la estabilidad del manglar, y fomenta el microbiota de este tipo de ecosistema. No obstante, hay muchas de estas especies que se encontraron de menor tamaño, según la literatura se puede analizar que estas estuvieron afectadas. Basado en comentarios de pescadores se dice que es por la erosión y procesos de diseño de zonas aledañas a este ecosistema.

No obstante, el tipo de manglar que se pudo encontrar en la zona fue el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle Zaragoza (*Conocarpus erectus*), estas fueron determinada por el tipo de frutos que fueron halladas durante el monitoreo.

**Ilustración 12.**Monitoreo y tipo de especies de manglar encontradas.





Fuente: (autores,2024).

### 7.3. Vulnerabilidad y Grado De Afectación Por Acción Antrópica En El Bosque Manglar.

El análisis de vulnerabilidad se considero mucho lo observado en campo, puesto que la disponibilidad de la información era bastante escasa, y se tenían estudios a nivel departamental mas no de la zona en específico, es así como se obtuvieron los siguientes resultados de una matriz de vulnerabilidad en donde se consideraron:

**Tabla 10.** Variables Analizadas En La Vulnerabilidad

Exposición	aumento del nivel del mar
	Temperatura extrema
	Eventos de fenómenos naturales
Sensibilidad	Perdida de cobertura
	Mortalidad de especies
	Salinidad
Capacidad adaptativa	erosión
	Regeneración natural
	Tolerancia a nuevas especies
	Tolerancia a actividades deportivas y turísticas

Fuente: (Autores,2024)

**Tabla 11.** Análisis de valores de la matriz

IMPORTANCIA	RELEVANCIA	CALIFICACIÓN DEL IMPACTO
<10	IRRELEVANTES	1
20-30	MODERADOS	2
30-50	SEVEROS	3
>50	CRITICOS	4

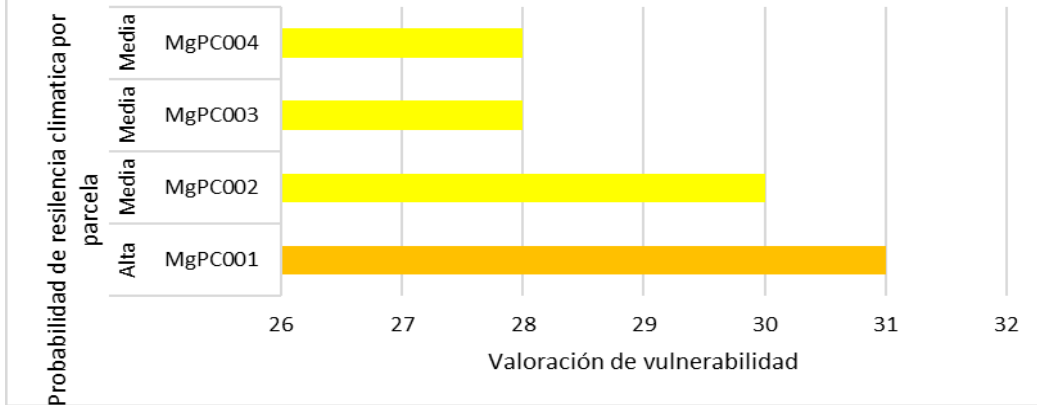
**Tabla 12.** Matriz de vulnerabilidad

Código de la Parcela	Exposición			Sensibilidad			Capacidad adaptativa			Tolerancia de actividades deportivas y turísticas	cálculo de vulnerabilidad (IV)	Probabilidad de resiliencia climática
	aumento del nivel del mar	Temperatura extrema	Eventos de fenómenos naturales	Pérdida de cobertura	Mortalidad de especies	Salinidad	erosión	Regeneración natural	Tolerancia a nuevas especies			
MgPC001	5	5	5	4	4	2	5	1	2	1	31	Severo
MgPC002	5	4	4	4	5	2	5	1	2	1	30	Moderados
MgPC003	5	4	4	4	5	2	5	3	2	1	28	Moderados
MgPC004	5	5	4	4	4	2	5	3	2	1	28	Moderados

Fuente: (Autores,2024)

**Gráfica 3.** Cálculo De Vulnerabilidad Del Ecosistema De Manglar De La Playa De Puerto Colombia.

### Calculo de vulnerabilidad del ecosistema manglar de la Playa de Puerto Colombia



Fuente: (Autores,2024)

A partir de la grafica y matriz anterior se puede analizar que la parcela que mayor se encuentra vulnerable es la parcela MgPC001, puesto es el mas vulnerable, y se asocia mucho a que es el más cercano a un arroyo del municipio que finaliza en la playa y pasa aledaño a este ecosistema. Adicional la accesibilidad a el es bastante y aun así muchos de turistas, y comunidad del municipio se encuentran afectando. No obstante, este se encuentra aun mas cerca del proyecto de una zona de restaurante y se ven puntos de vertimientos hacia el arroyo del al lado lo que lleva a pensar que este puede sufrir de esas infiltraciones de agua sobre este ecosistema. A pesar, de que este es método bueno para tratamiento de agua, otras actividades más la tala que puede presentarse para comodidad del municipio puede afectar todo el manglar, causando que la erosión costera aumente y disminuir este ecosistema como captador de carbono azul, el cual es importante dentro de la lucha contra el cambio climático.

#### **7.4. Estrategias De Resiliencia Climática.**

Es importante establecer estrategias que permitan conservar este tipo de ecosistemas para ello consideramos lo siguientes:

- **Restauración Ecológica de Manglares Degradados**

Esta estrategia busca recuperar áreas de manglar dañadas o deforestadas mediante la plantación de especies nativas, la mejora de las condiciones del suelo y el manejo adecuado de los flujos de agua. La restauración aumenta la capacidad del manglar para actuar como barrera natural contra el oleaje, reducir la erosión costera y absorber carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

- **Creación de Corredores Verdes y Áreas de Amortiguamiento**

Los corredores verdes alrededor de los manglares ayudan a conectar este ecosistema con otras áreas naturales, facilitando la migración de especies y reduciendo el impacto de actividades humanas. Las áreas de amortiguamiento, o "zonas de transición", disminuyen el impacto de la urbanización y el turismo en las zonas de manglar, protegiendo su biodiversidad y reduciendo su vulnerabilidad a cambios abruptos en el clima.

- **Implementación de Proyectos de "Carbono Azul"**

Los manglares son sumideros de carbono altamente efectivos. Los proyectos de carbono azul se enfocan en la conservación y restauración de ecosistemas costeros para capturar y almacenar carbono. Estas iniciativas pueden ser financiadas por mecanismos de compensación de carbono, y ayudan a fortalecer la capacidad de los manglares para mitigar el cambio climático.

- **Fortalecimiento de la Educación Ambiental y Participación Comunitaria**

La educación ambiental es clave para involucrar a las comunidades locales en la protección y el manejo sostenible de los manglares. Programas de capacitación, jornadas de limpieza y la participación en proyectos de reforestación promueven un sentido de pertenencia y compromiso hacia el ecosistema, ayudando a las comunidades a adaptarse a los cambios climáticos y a reducir sus propios impactos en el manglar.

- **Monitoreo de Salud del Ecosistema y Gestión de Datos Climáticos**

La implementación de programas de monitoreo permite medir continuamente la salud del manglar y detectar signos tempranos de degradación. Al recopilar y analizar datos sobre variables climáticas, cambios en la salinidad, biodiversidad y cobertura de vegetación, las autoridades y organizaciones pueden tomar decisiones informadas para proteger y restaurar los manglares.

- **Creación de Políticas Locales de Protección y Zonas de Uso Restringido**

Las políticas locales de conservación que regulan el uso y acceso a las áreas de manglar son esenciales para reducir la vulnerabilidad del ecosistema. Establecer zonas de uso restringido o reservas naturales ayuda a minimizar el impacto de actividades como la tala, la pesca no sostenible y la construcción en áreas cercanas, permitiendo que el manglar mantenga sus funciones ecológicas y ofrezca mayor resiliencia ante el cambio climático.

## 8. Conclusiones

En conclusión, los resultados obtenidos a través de la caracterización físico-ecosistémica del ecosistema de manglar de la playa del Municipio De Puerto Colombia muestran que:

- El manglar enfrenta condiciones ambientales comprometidas, probablemente asociadas con la influencia de actividades humanas y efectos de la erosión costera. Las mediciones de parámetros como los sólidos totales disueltos (TDS), la alta turbidez y el pH bajo en comparación con el arroyo cercano reflejan una vulnerabilidad significativa del manglar, especialmente en la parcela MgPC001, la cual es la más cercana a un arroyo que desemboca en la playa y que presenta altos niveles de accesibilidad y exposición a actividades turísticas y vertimientos.
- Estos factores no solo alteran la calidad del agua sino que también contribuyen al debilitamiento estructural y a la degradación del ecosistema, limitando su capacidad de recuperación y su función como barrera protectora contra la erosión costera y como captador de carbono azul, crucial en la mitigación del cambio climático.
- La presencia de especies de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle Zaragoza (*Conocarpus erectus*), aunque reducidas en tamaño, indica que aún se conserva cierta diversidad de flora característica de este ecosistema, la cual es esencial para mantener los servicios ecosistémicos que brinda el manglar, como la protección costera, el refugio de biodiversidad, y la absorción de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el reducido tamaño de estas especies y las condiciones de degradación observadas en la estructura del manglar sugieren que el ecosistema está bajo un estrés significativo que amenaza su sostenibilidad a largo plazo. Estos factores pueden deberse, en parte, a la erosión, la tala de manglares, la construcción de infraestructura cercana y la falta de políticas de conservación adecuadas en la zona.

## 9. Bibliografía

- anillo, h. j., daza, d. a., Sánchez-Moreno, H., & Escobar-Olaya, G. (2019). Influencia de los impactos antrópicos sobre la evolución del bosque de manglar (mar caribe colombiano). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2.
- Atlantico, G. d. (2011). *Puerto Colombia*. Obtenido de <https://www.atlantico.gov.co/index.php/mapasdepartamento/685-puerto-colombia?fontstyle=f-larger>
- Ávila, D. D., Curbelo, E. A., Roca, L. J., & Lanyau, R. D. (2020). Variación espacio-temporal de la respuesta espectral en manglares de la Habana, Cuba, evaluada con sensores remotos. . *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 321 - 335.  
doi:<https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37274>
- Beleño, E. L., Bolívar, G. M., & Pitre, I. J. (2022). Riesgos relacionados con el cambio climático de la flora y fauna asociada a bosques de manglar en el Caribe colombiano. *Intropica*, 17(2: 290 - 300), 11. doi:<https://doi.org/10.21676/23897864.4758>.
- Benfield, S. L. (2005). Coastal management in the wider Caribbean: Resilience, adaptation, and response to global change. . *Ocean & Coastal Management*,.
- BID, C. B. (2019). *Marco para evaluar las inversiones en resiliencia climática*. Obtenido de [https://www.climatebonds.net/files/page/files/principios\\_de\\_resiliencia\\_climatica\\_spanish.pdf](https://www.climatebonds.net/files/page/files/principios_de_resiliencia_climatica_spanish.pdf)
- Brown, D. N., Connolly, R. M., Richards, D. R., Adame, F., Friess, D. A., & Brown., C. J. (2020). Global trends in mangrove forest fragmentation. *Scientific Reports*, 1(10), 7117.  
doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63880-1>

- Carmona, M., Rey, J., & Diaz, P. (2020). *Proyecto Ambiental Educativo como estrategia pedagógica para la generación de conciencia ambiental en los estudiantes*. Obtenido de Repository.libertadores:  
[https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/4383/Carmona\\_Diaz\\_Rey\\_2021.pdf?sequence=1](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/4383/Carmona_Diaz_Rey_2021.pdf?sequence=1)
- Chan-Keb, C. A., Agraz-Hernández, C. M., Pérez-Balan, R. A., & Mas-Qui., O. O. (2024). Relationship between Carbon Sequestration and Soil Physicochemical Parameters in Northern Campeche, Mexico. *Land*, 13(139), 12.  
doi:<https://doi.org/10.3390/land13020139>
- Colombia, A. d. (2023). *Alcaldía de Puerto Colombia*. Obtenido de <https://www.puertocolombia-atlantico.gov.co/publicaciones/57/informacion-del-municipio/>
- Colombia, N. (2022). *NaturaLista Colombia*. Obtenido de <https://colombia.inaturalist.org/taxa/60335-Rhizophora-mangle>
- Cordero, G. D. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227 - 240.  
doi:[doi.org/10.22206/CYS.2012.V37I2.PP227-240](https://doi.org/10.22206/CYS.2012.V37I2.PP227-240)
- CRA. (2018). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE MANGLARES DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO*. Barranquilla : Ecoafa.
- CRA, I. (2005). ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE DEL DIAGNÓSTICO Y ZONIFICACIÓN DE LOS MANGLARES DE LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO, CARIBE COLOMBIANO. *INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -; -C.R.A., Corporación Autónoma Regional del Atlántico*.  
Barranquilla: A. López y P.C Sierra Correa.
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*,



- Herr, D. &. (2016). Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. . Gland, Switzerland: IUCN.
- IDEAM. (2021). *Protocolo de monitoreo Y seguimiento de agua*.
- INVEMAR. (2013). *Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con marinos, playas de arena y manglares con*.
- Jia, S.-L., Zhe Chi, G.-L. L., Hu, Z., & Chi, Z.-M. (2020). Fungi in mangrove ecosystems and their potential applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(6), 1 - 13.  
doi:<https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1789063>
- Kandasamy, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. *ADVANCES IN MARINE BIOLOGY*, 4.
- Kumano, N., Tamura, M., Inoue, T., & Yokoki, H. (2021). Estimating the cost of coastal adaptation using mangrove forests against sea level rise. *Coastal Engineering Journal*, 63(3), 263 - 274. doi:DOI: 10.1080/21664250.2021.1892968
- León, R. Á., & Puerto, J. R. (2016). LEGISLACIÓN COLOMBIANA RELACIONADA CON LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR. *LABOMAR: archivos de ciencias do mar*, 49(2), 115 - 131. doi:10.32360/acmar.v49i2.6587
- Livia, W. P. (2023). *HUELLA DE CARBONO Y SISTEMA DE CAPTURA DE CO2 EN PROCESOS INDUSTRIALES*. PUBLICIA . doi:978-3-639-55692-6
- Marquez, A. (3 de noviembre de 2020). *Ecología verde*. Obtenido de Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-monitoreo-ambiental-3113.html>
- Moreno, H. S., Anillo, H. B., Daza, D. V., & Olaya., G. E. (2019). Influencia de los impactos antrópicos sobre la evolución del bosque de manglar en Puerto Colombia (Mar Caribe colombiano). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* , 15(1), 1 - 16.  
doi:<https://www.researchgate.net/publication/333678143>

Naciones Unidas . (12 de septiembre de 2013). *CEPAL.ORG*. Obtenido de CEPAL.ORG:

<https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>

NASA . (1 de marzo de 2024). *NASA*. Obtenido de NASA: [https://climate.nasa.gov/en-](https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/?intent=111)

[espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/?intent=111](https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/?intent=111)

Nations, U. (2023). *¿Qué significa adaptación al cambio climático y resiliencia al clima?*

Obtenido de [https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-](https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima#:~:text=Se%20refiere%20a%20cambios%20en,asociadas%20con%20el%20camb)

[significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-](https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima#:~:text=Se%20refiere%20a%20cambios%20en,asociadas%20con%20el%20camb)

[clima#:~:text=Se%20refiere%20a%20cambios%20en,asociadas%20con%20el%20camb](https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima#:~:text=Se%20refiere%20a%20cambios%20en,asociadas%20con%20el%20camb)

[i o%20clim%C3%A1tico.](https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima#:~:text=Se%20refiere%20a%20cambios%20en,asociadas%20con%20el%20camb)

Nellemann, C. C. (2009). Blue Carbon: The role of healthy oceans in binding carbon.

UNEP/Earthprint.

Ocean & Coastal Management. (2013). Site-specific and integrated adaptation to climate change

in the coastal mangrove zone of Soc Trang Province, Vietnam. 17(3), 545-558. *Journal of*

*Coastal Conservation*.

Osland, M. J. (2017). Climatic controls on the global distribution, abundance, and species

richness of mangrove forests. *Ecological Monographs*,, 341-359.

doi:<https://doi.org/10.1002/ecm.1248>.

Pelckmans, I., Belliard, J. P., Granda, L. E., Slobbe, C., Temmerman, S., & Gourgue., O. (2023).

Nature-based flood risk mitigation in the Guayas delta: Insights from a delta-scale

hydrodynamic modelling study. *Revista de Investigación en Ciencias Ambientales*, 15(3),

45 - 58. doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-23-3169-2023>

Reales, R. R. (31 de agosto de 2022). *Evaluación de la influencia de parámetros fisicoquímicos*

*del agua y el suelo en la estructura, composición y almacenamiento de carbono de la*

*comunidad de mangles en la Ciénaga de Mallorquín, Barranquilla, Colombia*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad del Norte : <http://hdl.handle.net/10584/10973>

Ripka de Almeida, A. d. (2018). METODOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL: INSTRUMENTOS PARA EL DESARROLLO DE POLITICAS AMBIENTALES. *universidad y sociedad*, 4(10), 246 - 255. doi:recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202018000400246&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000400246&lng=es&tlng=es).

Roldán, J. J., Libreros, J. F., & Rodríguez, S. R. (2023). Mapeo de manglares utilizando cómputo en la nube y un índice espectral específico para apoyar acciones de manejo: un caso. *ecosistemas*, 32(3), 2599. doi:<https://doi.org/10.7818/ECOS.2599>

Samantha Chacón Abarca, M. C.-A., Serrano, M. C., Anillo, H. J., Daza, D. A., Moreno, H. S., & Anfuso., G. (2020). Bosques de manglar del Caribe Norte Colombiano: Análisis, evolución y herramientas de gestión. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 31 - 54. doi:<https://doi.org.1033154/rlrn.2020.01.04>

Sánchez-Páez H., R. A.-L.-N.-A.-R.-P.-H. (1997). Diagnostico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia. *MINAMBIENTE/ OIMT*, 511.

Sasmito, S. M. (2016). Can mangroves keep pace with contemporary sea level rise? *Wetlands Ecol Manage.*, 263-278.

Sierra, C. A., Mendoza, C. A., Figueroa, C. J., Yepes, G. Y., & Leal, J. d. (2020). Estado del arte del marco juridico de proteccion de los humedales frente al cambio climatico. *Revista Juridicas*, 17(2), 321 - 336. doi:<https://doi.org/10.17151/jurid.2020.17.2.17>

Song, S., Ding, Y., Li, W., Meng, Y., Zhou, J., Gou, R., . . . Lin, G. (2023). Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than afforestation for mitigating global

climate change. *nature communications* , 14(756), 11. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-023-36477-1>.

Uribe., A. N. (2019). ESTUDIO DE LOS CUERPOS LÉNTICOS EN EL ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO, UNA MIRADA A COLOMBIA. *Revista Pertinencia Académica*, 3(3), 29 - 50. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.3516301>

Velazquez, M. I., & Luna., A. R. (2020). Valoración social de los servicios ecosistémicos de humedales costeros:. *Acta Biologica Colombiana* , 25(3), 403 - 413. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n3.80387>