

UNIVERSIDAD EAN

**ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PRADERAS DE PASTOS
MARINOS EN BARÚ EN EL CARIBE COLOMBIANO COMO SUMIDEROS DE
CARBONO AZUL**

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN – ESPECIALIZACIÓN

**GABRIELA CASTRO BOBADILLA
HEIDY GARCIA TORRES
DIANA CAROLINA ARIAS YATE**

**BOGOTÁ
2025**

Contenido

Dedicatoria	4
Introducción	5
1. Planteamiento del problema	5
1.1. Descripción del problema.....	5
1.2. Formulación del problema.....	6
2. Justificación	6
3. Objetivo	7
3.1. Objetivo general.....	7
3.2. Objetivos específicos.....	7
4. Área de estudio	8
4.1. Geología de la Isla de Barú.....	9
4.2. Climatología en Isla Barú.....	11
5. Marco referencial	12
5.1. Antecedentes.....	12
5.2. Marco teórico.....	13
5.3. Marco Institucional.....	17
6. Metodología	19
6.1. Tipo, método y enfoque de investigación.....	19
6.2. Desarrollo metodológico.....	21
6.2.1. Tipología de pastos marinos en la zona.....	21
6.2.2. Distribución y estado de las praderas en la Isla de Barú.....	21
6.2.3. Casusas de degradación de pastos marinos en la Isla de Barú.....	22
6.2.4. Técnicas de medición.....	22
6.2.5. Métodos propuestos para medición del carbono azul en praderas de pasto marino.....	24
6.2.6. Diseño de estrategia con metrología ágil (srum).....	27
6.2.7. Elaboración de matriz MICMAC.....	32
6.2.8. Evaluación de la estrategia diseñada.....	36
7. Resultados obtenidos de la evaluación del diseño de la estrategia	40
8. Conclusiones	41
Referencias	44

Imágenes

Imagen 1 Ubicación Isla Barú, caribe colombiano	9
Imagen 2 Localización local del área de estudio	9
Imagen 3 Geología General Isla Barú.....	10
Imagen 4 Columna Estratigráfica de formación de la Popa (Qpp).....	11
Imagen 5 Detalle de una pradera de pasto marinos de Thalassia Testudinum	14
Imagen 6 Fases de investigación del proyecto	20
Imagen 7 Marco en PVC para delimitación del área dentro de la pradera de pastos marinos	24
Imagen 8 Equipo de careteo, flexómetro, tabla dura y lápiz de grasa	24
Imagen 9 Formato de captura de información en campo.	27
Imagen 10 Proceso Scrum.....	28
Imagen 11 Infografía digital para evaluación de la estrategia diseñada.	36
Imagen 12 Video explicativo metodología ágil Scrum	38
Imagen 13 Encuesta realizada de calificación para los evaluadores de la estrategia diseñada	39

Tablas

Tabla 1 Tabla de variables de medición	26
Tabla 2 Roles Scrum.....	28
Tabla 3 Sprint Backlog de tareas para desarrollar.....	29
Tabla 4 Cronograma de trabajo por cuatro ciclos de sprints	30
Tabla 5 Variables Seleccionadas para MICMAC	33
Tabla 6 Matriz de Impactos Cruzados MICMAC simplificada	34
Tabla 7 Resultados de preguntas de la encuesta realizada a los evaluadores	40

Graficas

Grafica 1 Grafica de dispersión de la matriz MICMAC	35
Grafica 2 Grafica de barras para análisis de respuestas	40

Dedicatoria

Primero a Dios y a la Virgen María que siempre hacen posible lo imposible, en segundo lugar, a nuestros padres, hijos, hermanos y familiares que nos apoyan de manera constante e incondicional, más aún en los momentos difíciles, que para nosotras representan el pilar fundamental en actividades diarias y en el desarrollo del proyecto de tesis para optar al título de Especialistas en Gerencia de proyectos de la EAN y no menos importante, a la docente de seminario de investigación que inspira la mejora de este proyecto.

Al los científicos, ambientalistas y gestores sostenibles, que por ellos y para ellos es este trabajo investigativo, en el que podrán apoyarse la población colombiana e incentivar a la ejecución de este pionero proyecto.

Introducción

El presente proyecto representa una iniciativa pionera en la Universidad EAN al abordar, desde un enfoque estratégico, científico y participativo, la restauración y conservación de praderas de pastos marinos en la Isla Barú, Caribe colombiano. Esta propuesta surge ante la creciente degradación de estos ecosistemas marinos, fundamentales como sumideros de carbono azul, barreras naturales contra la erosión costera y hábitats clave para la biodiversidad marina. Conscientes de su relevancia ambiental y social, el proyecto se orienta al diseño e implementación de una estrategia integral que combina el rigor técnico con la innovación metodológica.

Lo que hace singular esta investigación dentro de la Universidad EAN es su carácter integrador, al articular herramientas de análisis estructural como la matriz MICMAC, estándares internacionales de sostenibilidad (normas ISO) y marcos de gestión ágil como Scrum. Además, incorpora de manera activa a las comunidades locales en procesos de monitoreo y sensibilización, generando una propuesta con impacto real, replicable y sostenible. Esta experiencia no solo contribuye a la conservación del medio marino colombiano, sino que posiciona a la Universidad EAN como referente en la formación de profesionales capaces de liderar soluciones transformadoras frente a los desafíos ambientales del siglo XXI.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

El desarrollo de la investigación formativa y aplicada requiere que los investigadores, comunidades y poblaciones cuenten con datos e información estratégica oportuna de calidad y de fácil acceso, que facilite la generación de pastos marinos en el Caribe colombiano, puesto que tienen principal como función ser sumideros de carbono, protectores contra la erosión costera y ser hábitat y refugio para diversas especies marinas.

Sin embargo y a pesar de su importancia, los pastos marinos enfrentan amenazas de actores humanos como naturales así: la contaminación, enfermedades como *Labyrinthula*¹, pesca destructiva, tráfico marítimo, aumento de la temperatura del nivel del mar, turismo, entre muchas otras (La et al., 2006). El caribe colombiano desde hace unos años atrás ha podido evidenciar la pérdida exponencial de esta barrera natural, que podrá traer en su incremento altas consecuencias ambientales y socioeconómicas (Barrios & Gómez, 2001) por eso su conservación y restauración son esenciales para el equilibrio del planeta.

Con la realización de este proyecto, se busca el diseño de una estrategia integral que permita realizar, monitorear, recopilar información de manera eficiente y de fácil acceso sobre el estado de las praderas en el caribe colombiano, permitiendo conservar y restaurar los pastos marinos en este sector. Esta estrategia facilitará la toma de decisiones basadas en datos, promoviendo acciones efectivas para la conservación, restauración y manejo sostenibles de estos sistemas estratégicos.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo pueden las estrategias de restauración y conservación de las praderas de pastos marinos en el Caribe colombiano optimizar su función como sumideros de carbono azul y mitigar los impactos de la degradación ambiental?

2. Justificación

La presente investigación es de gran importancia debido a la necesidad de evaluar y conservar las praderas de pastos marinos en el Caribe colombiano, ecosistemas fundamentales para la estabilidad ambiental y socioeconómica de la región. Los pastos marinos cumplen funciones ecológicas clave, como ser sumideros de carbono azul, la

¹ la enfermedad del desgaste ha causado eventos de mortandad masiva de pastos marinos en diversas regiones del mundo, afectando la biodiversidad marina y la capacidad de estos ecosistemas para capturar carbono azul

estabilización de los sedimentos costeros y la provisión de hábitats para numerosas especies marinas (C. M. Duarte et al., 2005). Sin embargo, estos ecosistemas están en declive debido a factores como el cambio climático, la contaminación, la sedimentación y las actividades humanas sostenibles (Short et al., 2011).

Desde una perspectiva ambiental sostenible y estratégica, las ONG'S científicas permiten la recopilación de información esencial sobre el estado actual de los pastos marinos, lo que facilita la toma de decisiones para su conservación y restauración, creando del mismo modo una conciencia en las comunidades y/o poblaciones costeras impacta la seguridad alimentaria y el equilibrio ecológico, lo que hace urgente su manejo sostenible (Fallis, 2013). Por ende, estudios previos han demostrado que la adquisición de una conciencia medio ambiental sostenible en poblaciones, comunidades y empresas, se han podido realizar actividades de restauración de ecosistemas estratégicos, aumentando así el almacenamiento de carbono y la densidad de especies marinas en las zonas afectadas (Fourqurean et al., 2012).

Por lo tanto, este proyecto permitirá desarrollar estrategias efectivas de conservación, restauración y sensibilización, asegurando la sostenibilidad de los pastos marinos y su impacto positivo en el medio ambiente y la sociedad.

3. Objetivo

3.1. Objetivo general

Diseñar un plan para restaurar praderas marinas, mejorando su capacidad como reservorios naturales de carbono y preservando la biodiversidad.

3.2. Objetivos específicos

- a. Identificar las causas de la degradación de praderas de pastos marinos, su estado y las variables claves a medir para priorizar acciones de restauración en el Isla de Barú

en el Caribe Colombiano.

- b. Diseñar una estrategia de restauración y conservación para mejorar la capacidad de las praderas como sumideros de carbono y hábitats de biodiversidad.
- c. Evaluar por comunidad académica del sector la viabilidad de la estrategia diseñada.

4. Área de estudio

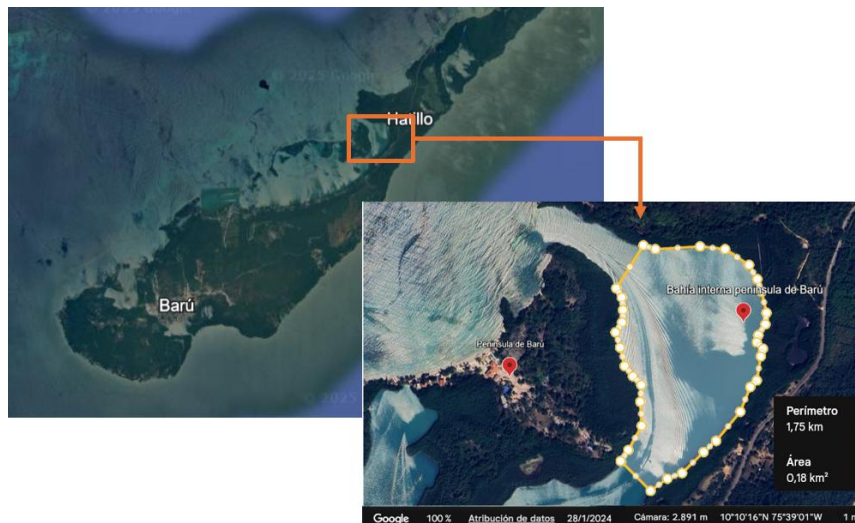
La isla de Barú (Caribe colombiano) se encuentra ubicada en el departamento de Bolívar a 18 km al sur de Cartagena, entre los 10° 19' y 10° 18' N y 75° 42' y 75° 31'' O. Barú abarca una extensión aproximada de 7.550,31 ha y se separa del continente por los caños Guayacá y Estero, y por el Canal del Dique. Sus límites están establecidos de la siguiente manera: al sur y al este con la bahía de Barbacoas, al norte con el archipiélago Nuestra Señora del Rosario (que conforma el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo-PNNCRSB); y al noroeste con la bahía de Cartagena y la isla de Tierrabomba. En Barú existen varias ciénagas o lagunas, entre ellas están las ciénagas de los Vásquez, Portonaíto, Mohan, Cholón y Bahía de Barbacoas (Valle Estrada, 2007).

Es así como, el área seleccionada para la toma de muestras de pasto marino de la especie *Thalassia testudinum*, corresponde a la Isla de Barú (*Imagen 1*) sector de bahía interna la península de Barú, Distrito Turístico de Cartagena, Departamento de Bolívar, país Colombia (*Imagen 2*). En donde, se seleccionaron dos áreas de un metro cuadrado cada una, cuyas coordenadas corresponden a: 10°10'16N – 75°39'01W abarcando las praderas de pastos marinos existentes entre 1.5 y 2.5 m de profundidad.

Imagen 1
Ubicación Isla Barú, caribe colombiano. (Google Earth, s. f.)



Imagen 2
Localización local del área de estudio (Google Earth, 2024)

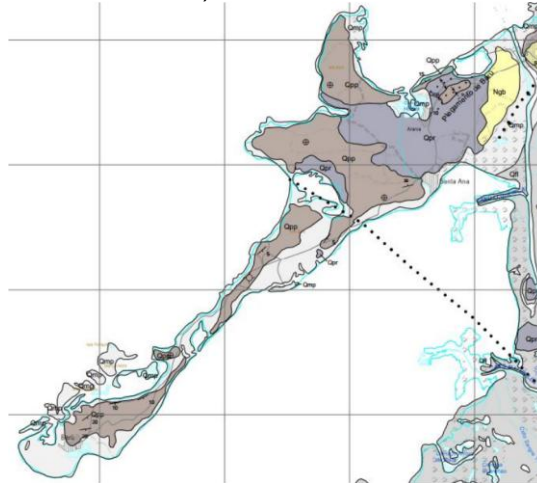


4.1. Geología de la Isla de Barú

La isla de Barú se encuentra sobre la zona geológica conocida como el cinturón del Sinú, donde afloran rocas sedimentarias cuya edad varía del Mioceno hasta el Cuaternario, datadas por métodos micropaleontológicos, con las siguientes formaciones: Formación Arjona

(PgNga), Formación Bayunca (Ngb), Gravas de Rotinet (Qpr), Formación Arroyo Grande (Qpag) y Formación la Popa (Qpp) (De León Ortíz, 2018).

Imagen 3
Geología General Isla Barú (De León Ortíz, 2018)



En la Isla de Barú se encuentran varias formaciones geológicas que muestran la historia natural del lugar como se observa en la *Imagen 3*. Una de ellas es la Formación Bayunca, compuesta por capas delgadas de arena fina y barro con restos de moluscos, que datan de hace millones de años, entre el Mioceno y el Plioceno. También están las Gravas de Rotinet, formadas por piedras de diferentes tipos mezcladas con arenas, que pertenecen al período Pleistoceno. La Formación La Popa incluye capas de arena, barro, piedras y calizas con fósiles marinos, con una antigüedad que va del Plioceno al Pleistoceno. Por último, los depósitos de playa están formados por arenas de diferentes colores, principalmente blancas en Barú, y se encuentran a lo largo de la línea costera.

Imagen 4

Estratigráfica de formación de la Popa (Qpp) (De León Ortíz, 2018)



4.2. Climatología en Isla Barú

El clima tropical costero con una temperatura anual de 27, 7° C (mínima de 21° C y máxima de 33° C), fuertemente influenciado por el mar (humedad relativa de 80-85 %). La zona posee dos estaciones lluviosas y dos secas, definidas por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La época seca está fuertemente influenciada por los vientos Alisios que soplan desde el Norte-Noreste y va desde los meses de diciembre a mayo, en la cual se observa ausencia de lluvias, temperaturas promedio de 27° C, frecuentemente un fuerte oleaje después del mediodía y una humedad relativa media presenta una gran amplitud en esta época del año (50 % de día y 98 % de noche). La época lluviosa transcurre entre los meses de junio y noviembre, con temperaturas promedio de 29° C y suave oleaje, y valores de humedad relativa media prácticamente constante (70-79 %). Los meses de mayor precipitación son septiembre y octubre; en el mes de agosto entre los picos de lluvia se encuentra el “Veranillo de San Juan”, correspondiente a una época en la cual la intensidad de las lluvias baja y la intensidad de los vientos aumenta (Valle Estrada, 2007).

5. Marco referencial

5.1. Antecedentes

Las problemáticas de cambio climático como factor principal aumentada exponencialmente cada día más a lo largo de los años. Sin embargo y como expone de manera clara la escritora Cristina Romera, existe la posibilidad de corregir daños medioambientales que se han sido causa producida por el ser humano, utilizando el océano y todos sus componentes como un aliado para mitigar y desacelerar los efectos del cambio climático (Romera Castillo, 2022). La restauración de ecosistemas marinos, hacen parte de los componentes para que sea efectiva esta estrategia de mitigación, lo que hace que la comunidad científica, sectores marítimos, ONGS y todos los entes se vean involucrados en crear estrategias para salvaguardar el océano y sus componentes.

En el Caribe colombiano las praderas de pastos marinos son un ecosistema estratégico², una barrera natural y hábitats de muchas especies, que a lo largo del tiempo se han sufrido deforestación, contaminación y deteriorado. El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) planteo en que las estrategias de restauración como, el monitoreo y estudios de línea base, mitigación de impactos antropogénicos, reforestación y estabilización de sedimentos, educación y participación comunitaria y la creación de áreas protegidas (Díaz Merlano et al., 2003), buscando recuperar la estructura y función ecológica de las praderas de pastos marinos, fundamentales para la biodiversidad marina y protección de zona costera.

En este proyecto se busca del mismo modo, diseñar un plan estratégico y actualizado con nuevas tecnologías para restaurar praderas marinas, tomando como base proyectos de éxito y sus experiencias.

² Los ecosistemas estratégicos son aquellos que, debido a sus funciones claves en el equilibrio ecológico y los beneficios que brindan a las comunidades humanas, requieren una atención especial para su conservación y manejo sostenible, como los son los manglares, pastos marinos y corales

5.2. Marco teórico

Las praderas de pastos marinos son ecosistemas fundamentales en las zonas costeras del mundo debido a su alto nivel de productividad y su papel en la estabilidad ecológica de los océanos. Proporcionan refugio y alimento a una gran variedad de especies marinas, incluidas muchas de importancia comercial y ecológica, como tortugas marinas, langostas, dugongos y diversas especies de peces (Orth et al., 2006). Además, estabilizan los sedimentos del fondo marino y reducen la erosión costera al disminuir la energía de las olas (Carlos M. Duarte et al., 2013), el cual es una problemática exponencial en la zona de estudio, Caribe Colombiano.

Así mismo, las funciones de las praderas de pastos marinos además de ser un sistema estratégico como los arrecifes de coral y los manglares son hábitats esenciales para el desarrollo juvenil de múltiples especies marinas (Waycott et al., 2009), lo que genera que la baja densidad de estos pastos afecte directamente las comunidades y sector económico del Caribe Colombiano, teniendo impactos de escasez de especies que crecen en este hábitat para consumo, reubicación de comunidades por erosión costera provocando un aumento en la línea de costa y quitando la posibilidad de habitabilidad y turismo.

Pastos Marinos como Sumideros de Carbono Azul

El término "carbono azul" hace referencia a la captura y almacenamiento de carbono en ecosistemas marinos y costeros, incluyendo manglares, marismas y praderas de pastos marinos (Elizabeth Mcleod et al., 2011). Estos ecosistemas juegan un papel crucial en la mitigación del cambio climático, ya que almacenan grandes cantidades de carbono en sus sedimentos por periodos prolongados, superando la capacidad de los bosques terrestres en términos de almacenamiento de carbono por unidad de área (Fourqurean et al., 2012).

Estudios han demostrado que las praderas de pastos marinos pueden almacenar hasta 83,000 toneladas de carbono por kilómetro cuadrado, una cifra considerablemente mayor que

la de los ecosistemas terrestres (Carlos M. Duarte et al., 2013). Sin embargo, cuando estos ecosistemas son degradados o destruidos, el carbono almacenado en los sedimentos puede ser liberado a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global (Pendleton et al., 2012).

Así mismo, praderas de pastos marinos en el Caribe colombiano son extensas y cubren aproximadamente un total de 43.223 hectáreas (Díaz & Acero, 2003). Son un grupo taxonómico la cual se alberga alrededor de 60 especies las cuales, 10 de estas en riesgo de extinción y tres en peligro crítico (Short et al., 2011) .En el Gran Caribe, se han registrado nueve especies de pastos marinos, de los cuales seis están representados en el Caribe colombiano; en la Reserva de Biosfera Seaflower están presentes cuatro especies *Thalassia testudinum* (Imagen 5), *Syringodium filiforme* *Halodule wrightii* y *Halophila decipiens*, como bien lo menciona se en la página de La Reserva de la Biosfera Seaflower³.

Imagen 5

Detalle de una pradera de pasto marinos de Thalassia Testudinum (Suárez et al., 2015)



Es de aclarar, que a la fecha no se registra especie alguna de pasto marino en la zona del Pacífico colombiano, posiblemente ocasionado por las condiciones del agua, la cual no cuenta con las características óptimas para el desarrollo de estas especies, tales como; pH

³ La Reserva de la Biosfera Seaflower fue reconocida en el año 2000 por el programa “El Hombre y la Biosfera” de la UNESCO. Está situada en el Caribe Occidental de Colombia e incluye todo el territorio del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

ácido, bajo nivel de salinidad y corrientes turbulentas que generen procesos de sedimentación (Díaz & Acero, 2003).

Pese a todo lo anterior, el presente trabajo se encuentra enfocado en la especie *Thalassia Testudinum*, nombre común pasto Tortuga, por ser la especie considerada en la presente investigación. Esta clase de pasto marino se ubica en la zona Circumtropical y es abundante en las zonas de arrecifes, se encuentra clasificada como planta o fanerógamas angiosperma marina de la familia Hydrocharitaceae, dado que, su sistema de alimentación es fotosintético y su alta producción primaria contribuye al balance de carbonos y otros minerales en las costas (Díaz & Acero, 2003).

Estrategias de Restauración y Conservación de Pastos Marinos

La restauración y conservación de pastos marinos es fundamental para mantener sus servicios ecosistémicos y su papel en la mitigación del cambio climático. Existen diversas estrategias aplicadas a nivel global para su conservación, entre las que se incluyen:

- **Protección de Hábitats Naturales:** La implementación de áreas marinas protegidas ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir la degradación de pastos marinos. En países como Australia y Estados Unidos, se han establecido reservas marinas donde se regulan las actividades humanas que podrían impactar estos ecosistemas (Mtwana Nordlund et al., 2016).
- **Replantación de Pastos Marinos:** Programas de restauración en diversas regiones han utilizado técnicas de trasplante de pastos marinos desde áreas saludables a zonas degradadas, Marieke M van Katwijk et al. (2015) indican que la selección adecuada del sitio y el monitoreo posterior son clave para el éxito de estos proyectos.
- **Mitigación de Impactos Antropogénicos:** La reducción de la contaminación costera, la regulación del turismo y la pesca sostenible son medidas esenciales para garantizar la resiliencia de estos ecosistemas (Grech et al., 2011). En el Caribe colombiano,

diversas iniciativas gubernamentales y comunitarias han trabajado en la reducción de la contaminación por nutrientes y sedimentos provenientes de actividades terrestres.

- Participación Comunitaria y Educación Ambiental: El involucramiento de comunidades locales en programas de conservación ha sido clave en diversas partes del mundo. En regiones como Filipinas y Indonesia, la capacitación de pescadores y operadores turísticos en buenas prácticas ambientales ha mejorado la gestión de los ecosistemas marinos (Richard K.F. Unsworth et al., 2018).

Casos de Estudio en Restauración de Pastos Marinos

A nivel internacional, varios proyectos han demostrado la efectividad de la restauración de pastos marinos:

- Proyecto de Restauración en la Bahía de Chesapeake (Estados Unidos). Un programa de replantación masiva ha permitido recuperar más de 600 hectáreas de pastos marinos en esta bahía, mejorando la calidad del agua y la biodiversidad local (Robert J. Orth et al., 2020)
- Iniciativa de Restauración en Shark Bay (Australia): Después de un evento de mortalidad masiva debido a una ola de calor en 2011, los científicos han implementado técnicas innovadoras de restauración para recuperar los pastos marinos de la región (Arias-Ortiz et al., 2018).

Implicaciones para el Caribe Colombiano

El Caribe colombiano alberga extensas praderas de pastos marinos que enfrentan múltiples amenazas, incluidas la contaminación, el turismo descontrolado y el cambio climático. La implementación de estrategias de conservación adaptadas a la realidad local es crucial para garantizar la permanencia de estos ecosistemas y su contribución a la mitigación del cambio climático.

Programas liderados por universidades y organizaciones ambientales han comenzado a documentar la extensión y estado de los pastos marinos en el Caribe colombiano, proporcionando datos clave para el desarrollo de políticas de conservación más efectivas. Iniciativas como la creación de áreas marinas protegidas y el monitoreo de la calidad del agua son pasos esenciales para su protección a largo plazo (MILLAN et al., 2016).

5.3. Marco Institucional

Las praderas de pastos marinos en el Caribe Colombiano son muy importante y representativo para la biodiversidad marina como para mitigar los cambios climáticos a los que nos enfrentamos actualmente. Dentro de los ecosistemas reconocidos tenemos los sumideros de carbono azul, por su capacidad de almacenamiento de carbono de forma más eficiente en comparación a otros ecosistemas terrestres y marinos. Sin embargo la alta degradación de estos hábitats, que es causada por la contaminación, pesca ilegal, cambio climático y el desarrollo costero, ha afectado su competencia para que actúen como sumideros de carbono.

La Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en 2017, reconoce la importancia de los ecosistemas marinos y costeros, incluyendo las praderas de pastos marinos, en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta política busca fortalecer la resiliencia de estos ecosistemas ante los efectos del cambio climático.

Por su parte, la Ley 99 de 1993 delega al MADS tiene la responsabilidad de proteger y generar ecosistemas marinos y costeros. Además, impulsa la formulación de políticas de conservación y restauración ambiental, asegurando la sostenibilidad de estos hábitats, incluidas las praderas de pastos marinos. Complementando este marco legal, el Decreto 1900 de 2006 regula el ordenamiento del territorio marino y costero en Colombia, estableciendo

directrices específicas para la implementación de proyectos de restauración ecológica en estos ecosistemas estratégicos.

En el ámbito de los compromisos internacionales, la Ley 165 de 1994 ratificó el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), comprometiendo a Colombia con la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Dentro de este marco, los ecosistemas marinos y costeros, como las praderas de pastos marinos, adquieren especial relevancia por su papel en la biodiversidad y el equilibrio ecológico. En línea con estos compromisos, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) ofrece estrategias de adaptación para los ecosistemas costeros, promoviendo la resiliencia de los pastos marinos ante el cambio climático y sus impactos.

A nivel global, Colombia también se ha alineado con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, comprometiéndose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 14, que busca conservar y utilizar de manera sostenible los océanos y los ecosistemas marinos en estado crítico. En el contexto nacional, la Ley 1973 de 2019 establece disposiciones para la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, definiendo lineamientos específicos para la protección y conservación de los ecosistemas marinos. Complementando estas acciones, el Decreto 1120 de 2013 establece directrices para la gestión sostenible de los ecosistemas estratégicos, con un énfasis en la restauración y protección de los pastos marinos como parte de los esfuerzos de conservación del medio ambiente país.

Dentro de las Instituciones claves para la restauración y conservación tenemos las siguientes:

- a. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS): Lidera las políticas ambientales y cuenta con programas que promueven la conservación de ecosistemas marinos.
- b. Corporaciones Autónomas Regionales (CARs): Ejecutan proyectos de conservación y restauración a nivel regional, en coordinación con actores locales y nacionales.
- c. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN): Gestionan la protección de

- parques marinos y costeros, muchos de los cuales incluyen praderas de pastos marinos. Además, establecen medidas de vigilancia y monitoreo de estos ecosistemas.
- d. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR): Se encarga de la investigación y monitoreo de los ecosistemas marinos en Colombia. Ha desarrollado estudios sobre la importancia del carbono azul y su rol en la mitigación del cambio climático.
 - e. Dirección General Marítima (DIMAR): Regula las actividades marítimas y promueve el manejo sostenible de los recursos marinos. También implementa normativas para minimizar el impacto del tráfico marítimo en los ecosistemas costeros.
 - f. Instituciones Académicas y ONG's: Promueven la generación de conocimiento, la educación ambiental y el diseño de estrategias para la conservación de estos ecosistemas. Desarrollan programas de sensibilización y restauración de pastos marinos con la participación de comunidades locales y pescadores artesanales.
 - g. Comisión Colombiana del Océano (CCO): Coordina esfuerzos interinstitucionales para la planificación y gestión de los ecosistemas marinos, incluyendo la implementación de estrategias de protección y restauración de los pastos marinos.

6. Metodología

6.1. Tipo, método y enfoque de investigación

El tipo de investigación que se utilizará es propositiva o aplicada. De acuerdo con Hurtado (2010), afirma que “Tiene como objetivo formular propuestas prácticas (como estrategias, políticas, planes o programas) orientadas a resolver problemas concretos en un contexto real.” (p. 133). (Hurtado Jacqueline, 2010)

Así mismo, el enfoque que tendrá el proyecto será de tipo mixto. De acuerdo con Hernández (2014), afirma que “Consiste en representar un conjunto de procesos sistemáticos,

empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.” (p. 534). (Hernández Sampieri, 2014)

Por último, el método de investigación que se utilizará será inductivo. De acuerdo con Ruiz (2007) afirma que “Generalización a partir de la observación de casos particulares, como la clave para hacer progresar las ciencias. El método inductivo en versión moderna fue desarrollado por el inglés Francis Bacon (1561 - 1626) y se encuentra ligado a las investigaciones empíricas.” (p. 23) (Ruiz Ramon, 2007)

Proceso de investigación

Imagen 6
Fases de investigación del proyecto (Gabriela C. et al. 2025)



Fase 1: Identificar las causas de la degradación de praderas de pastos marinos, su estado y las variables claves a medir para priorizar acciones de restauración en la Bahía interna de Isla de Barú en el Caribe Colombiano.

Fase 2: Diseñar una estrategia utilizando metodologías ágiles (scrum) de restauración y conservación para mejorar la capacidad de las praderas como sumideros de carbono y hábitats de biodiversidad, así mismo, basándonos en la Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación (MICMAC) con el fin de analizar los factores clave

de la estrategia y como se relaciona con el entorno.

Fase 3: Realizar evaluación de la viabilidad de la estrategia diseñada con académicos del sector.

6.2. Desarrollo metodológico

Fase 1

6.2.1. Tipología de pastos marinos en la zona

Las praderas de pastos marinos, como *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*, son ecosistemas clave en ambientes costeros tropicales. Estas praderas actúan como sumideros de carbono, refugio para especies marinas y estabilizadores del fondo marino (García & Londoño-Cruz, 2012). Además, contribuyen a la mitigación del cambio climático al capturar cantidades significativas de carbono azul (Carrasquilla-Henao & Juanes, 2017).

6.2.2. Distribución y estado de las praderas en la Isla de Barú

En la Isla de Barú, las praderas se localizan principalmente en el costado de barlovento, donde forman mosaicos ecológicos junto a manglares y arrecifes coralinos. *Thalassia testudinum* domina estas praderas, alcanzando densidades promedio de hasta 440 haces por m² y coberturas mayores al 45% (Pizarro et al., 2017). Sin embargo, se observa fragmentación y pérdida de cobertura vegetal asociada a presiones humanas.

6.2.3. Casusas de degradación de pastos marinos en la Isla de Barú

La degradación de los pastos marinos se debe a diversas causas, tanto naturales como antropogénicas (Jorge Herrera Silvera et al., 2019). Algunas de las principales causas incluyen según:

a. Cambio de Uso del Suelo: La transformación de áreas naturales en tierras para agricultura, urbanización, o desarrollo turístico, afecta la calidad del agua y puede aumentar la carga de nutrientes y sedimento, lo que impacta negativamente a los pastos marinos.

b. Eutrofización: El incremento en nutrientes debido a escorrentías agrícolas y urbanas lleva a la proliferación de algas que puede reducir la luz disponible para los pastos marinos, perjudicando su crecimiento y salud.

c. Desarrollo Turístico: Actividades turísticas pueden resultar en la remoción de praderas de pastos marinos, afectando su capacidad de crecimiento y restauración.

d. Cambios en la Calidad del Agua: La contaminación y la carga de sólidos suspendidos en cuerpos de agua cercana a los estuarios deterioran la calidad del agua, afectando la fotosíntesis y la salud general de los pastos marinos.

e. Eventos Hidrometeorológicos: Huracanes y otras tormentas pueden causar pérdida de vegetación a raíz del fuerte oleaje que afecta tanto la biomasa foliar como subterránea.

f. Actividades de Dragado: La remoción mecánica de praderas de pastos marinos durante actividades de construcción y dragado es un impacto directo que contribuye a su degradación.

g. Mal Manejo de Cuencas: El manejo inadecuado de cuencas, que incluye la deforestación y el cambio de uso del suelo en áreas adyacentes, puede deteriorar la calidad del agua y alterar el ecosistema acuático.

6.2.4. Técnicas de medición

Para tener una identificación de causas de degradación de las praderas de pastos en el sector la Bahía interna se debe La recolección de la información debe realizarse utilizando

un proceso planeado paso a paso, para que de forma coherente se puedan obtener resultados que contribuyan favorablemente al logro de los objetivos propuestos. (Gallardo de Parada Yolanda & Moreno Garzón Adonay, 1999)

Así mismo y considerando que la naturaleza del estudio presente conlleva cualidades de escalas de datos de razón, dado las comparaciones de las variables cualitativas de los pastos marinos de la especie *Thalassia testudinum*, se procedió con anterioridad a la salida de campo a definir las variables de medición y desarrollar el correspondiente formato de captura de información verificando de antemano su congruencia con los objetivos del estudio, tales como:

- Selección de las áreas a muestrear, para lo cual se considera visualmente la densidad de pastos presentes.
- Profundidad del área.
- Coordenadas del área.
- Longitud de hoja.
- Ancho de hoja.
- Anclaje natural del pasto marino

Para realizar la recolección de datos, se utilizan los siguientes instrumentos:

- Equipo de careteo
- Marcos para delimitación de cada área
- Flexómetro
- Tabla dura
- Lápiz
- GPS

Imagen 7

Marco en PVC para delimitación del área dentro de la pradera de pastos marinos (Gabriela C. et al. 2025)

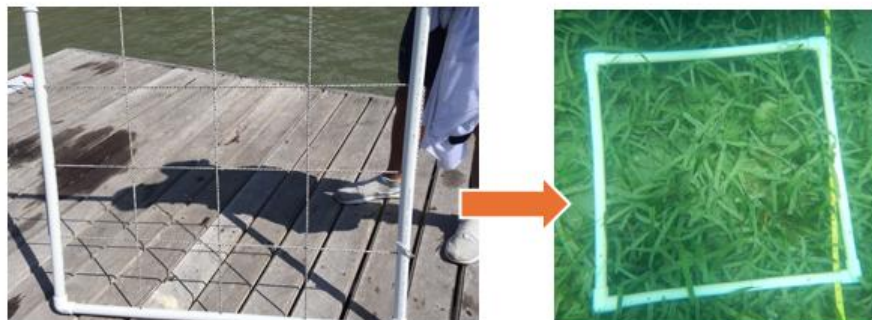


Imagen 8

Equipo de careteo, flexómetro, tabla dura y lápiz de grasa (Gabriela C. et al. 2025)



6.2.5. Métodos propuestos para medición del carbono azul en praderas de pasto marino

Las técnicas de muestreo son esenciales para evaluar la biomasa en pastos marinos del Caribe. Estas metodologías incluyen la recolección de muestras en momentos óptimos, como a finales del verano, y la utilización de parcelas adecuadas y técnicas de buceo. Estas técnicas permiten obtener estimaciones precisas de la biomasa y monitorizar la salud de estos ecosistemas clave para la captura de carbono (James Fourqurean et al., s. f.) .Tomando lo anterior, se evidencian que las técnicas de muestreo de carbono azul por muestreo de biomasa se evidenciarían así:

a. Muestreo de Biomasa Aérea:

Se recomienda realizar la medición de la biomasa cuando las existencias en pie están en su punto máximo, dado que la vegetación puede desaparecer durante el invierno. El muestreo

se debe llevar a cabo en parcelas pequeñas (0.25–1 m²) para obtener estimaciones adecuadas y repetirse en los años siguientes en la misma época.

b. Muestreo en Diferentes Estratos de Profundidad:

Los lechos de pastos marinos varían en estructura a lo largo del gradiente de profundidad. Por lo tanto, se sugiere estratificar el área de estudio según la profundidad y medir la biomasa en puntos aleatorios dentro de intervalos de profundidades conocidos, lo que permite una representación confiable de la variación de la biomasa.

c. Técnicas de Muestreo:

El muestreo de pastos marinos intermareales puede hacerse durante la bajamar, mientras que, para los pastos marinos sumergidos, se requiere el uso de esnórquel o equipo de buceo.

d. Repetición de Muestreos:

Es importante repetir el muestreo de biomasa en los años siguientes en la misma época para poder comparar los resultados y monitorear cambios en la biomasa a lo largo del tiempo, lo cual es fundamental para evaluar la salud y la capacidad de captación de carbono de los ecosistemas de pastos marinos.

e. Consideraciones Ambientales:

Debe prestarse atención a factores ambientales como la salinidad y la energía hidrodinámica, que pueden influir en la composición de las especies presentes y en su capacidad para capturar carbono. Estos factores deben ser considerados al interpretar los datos del muestreo.

f. Estimación del Carbono:

Además de capturar y almacenar el carbono orgánico producido por las plantas, los pastos marinos también tienen la capacidad de atrapar y enterrar carbono originado en otros lugares. Se estima que aproximadamente el 50% del carbono en los sedimentos de las praderas de pastos marinos es alóctono.

g. Consolidación de Datos:

Una vez recolectados los datos de biomasa y profundidad, se pueden agregar al contenido de

carbono del suelo para establecer la existencia de carbono total en el ecosistema de pastos marinos.

Estos enfoques son esenciales para obtener mediciones precisas y efectivas de la biomasa en los pastos marinos del Caribe, lo que a su vez contribuirá a evaluar su rol como sumideros de carbono y apoyar la gestión y conservación de estos ecosistemas críticos.

Variables de medición para muestreo de biomasa

Considerando que la naturaleza del estudio presente conlleva cualidades de escalas de datos de razón, dado las comparaciones de las variables cualitativas de los pastos marinos de la especie (Tabla 1) *Thalassia testudinum*, se procedió con anterioridad a la salida de campo a definir las variables de medición y desarrollar el correspondiente formato de captura de información (Imagen 9), verificando de antemano su congruencia con los objetivos del estudio, tales como:

Tabla 1
Tabla de variables de medición (James Fourqurean et al., s. f.)

Categoría	Variable	Descripción
Tipo de Muestra	Bioma y estado de salud	Estado ecológico del bioma
Tipo de Muestra	Especie dominante (<i>Thalassia testudinum</i>)	Identificación de especies en la pradera
Parámetros de la Muestra	Altura de plantas (m)	Medida desde base del rizoma a la hoja más larga
Parámetros de la Muestra	Grosor de hojas/rizomas (cm)	Medido en el punto medio de la hoja o rizoma
Parámetros de la Muestra	Volumen de muestras (cm ³)	Desplazamiento de agua para estimar volumen
Parámetros de la Muestra	DAP (si aplica, para especies mayores)	Medida adaptada solo si hay plantas estructurales (e.g. mangles)
Estado de Descomposición	Clasificación visual (fresco, en descomposición reciente, descompuesto)	Evaluación del estado de descomposición del material vegetal
Biomasa	Peso fresco y seco (kg)	Medición de peso en campo (fresco) y después de secado en horno
Contenido de Carbono Orgánico	Contenido de carbono orgánico (%)	Estimado a partir de biomasa seca o análisis elemental
Densidad Aparente	Densidad (g/cm ³)	Masa por volumen de muestra seca
Metadatos Asociados	Fecha	Fecha de recolección de datos
Metadatos Asociados	Ubicación (latitud, longitud)	Coordenadas geográficas del sitio
Metadatos Asociados	Especie	Identificación taxonómica
Metadatos Asociados	Método de recolección	Descripción del protocolo de campo
Frecuencia de Muestreo	Frecuencia según temporada o campaña	Definida por condiciones estacionales y objetivos del estudio
Tamaño y Forma de Parcelas	Dimensiones de las parcelas (ej. 0.25 m ²), forma cuadrada o circular	Basado en métodos estándar; considerar balance entre precisión y esfuerzo

Imagen 9

Formato de captura de información en campo (Gabriela C. et al., 2025)

HOJA DE CAMPO - MUESTREO DE BIOMASA DE PASTOS MARINOS		HOJA DE CAMPO - MUESTREO DE BIOMASA DE PASTOS MARINOS	
1. Metadatos Asociados		Estación del año <input type="checkbox"/> Seca <input type="checkbox"/> Lluvias	
Fecha		Fecha del próximo muestreo	
Hora		Observaciones	
Investigador(es)		9. Tamaño y Forma de Parcelas	
Ubicación (Sitio)		Dimensiones (m x m)	
Coordenadas (Lat / Lon)		Forma geométrica	<input type="checkbox"/> Cuadrado <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Otro
Especie dominante		Justificación (precisión/costo/tiempo)	
Método de recolección	<input type="checkbox"/> Cuadrante <input type="checkbox"/> Transecto <input type="checkbox"/> Otro		
2. Tipo de Muestra			
Biomasa observado	<input type="checkbox"/> Hierbas marinas <input type="checkbox"/> Arbustos		
Estado de salud (visual)	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Degradado		
3. Parámetros de la Muestra (promedios por cuadrante)			
Altura (m)			
Diámetro (DAP, cm)			
Grosor (cm)			
Volumen (cm ³)			
4. Estado de Descomposición			
Nivel de descomposición	<input type="checkbox"/> Bajo <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Alto		
Descripción breve			
5. Biomasa			
Peso total fresco (kg)			
Peso seco (kg)			
6. Contenido de Carbono Orgánico			
Carbono Orgánico (g)			
7. Densidad Aparente			
Peso seco (g)			
Volumen (cm ³)			
Densidad (g/cm ³)			
8. Frecuencia de Muestreo			

Nota: Esta tabla de muestreo se diligencia en pruebas de campo.

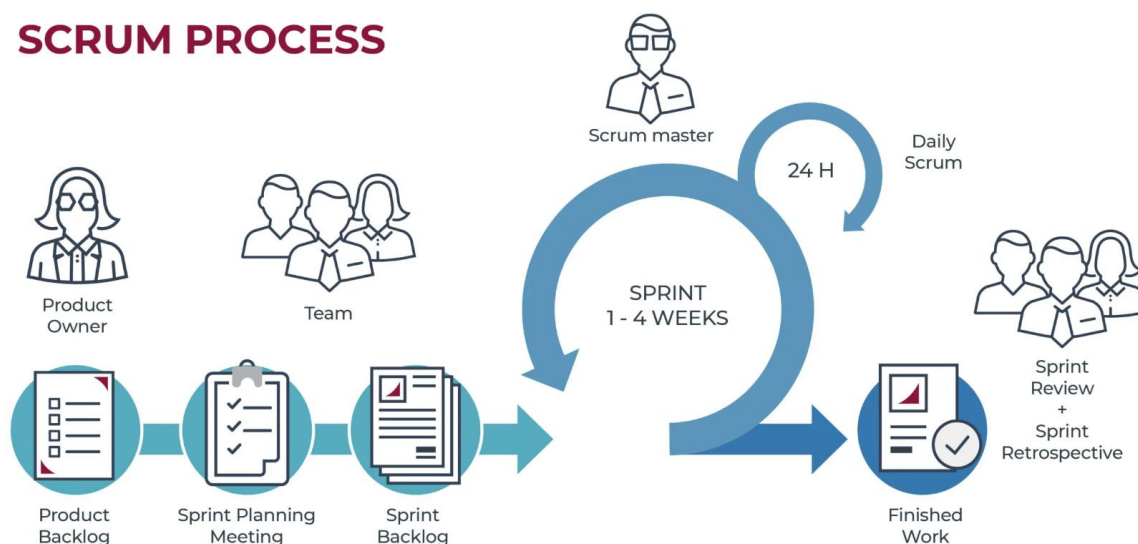
Fase 2

6.2.6. Diseño de estrategia con metrología ágil (srums)

La implementación de la metodología ágil Scrum⁴ en el presente proyecto, permite gestionar de manera eficiente las actividades en un entorno dinámico y cambiante, como la bahía interna de la península de Isla Barú. Este enfoque permite dividir el trabajo en bloques llamados *sprints*, que se ejecutan en periodos cortos, priorizando la entrega de resultados concretos y fomentando la participación activación de todos los actores involucrados, como se observa en la siguiente imagen.

⁴ Metodología ágil de gestión de proyectos que utiliza un enfoque iterativo e incremental para desarrollar productos, especialmente software. Su objetivo principal es la colaboración y la entrega continua de valor a través de equipos multidisciplinarios.

Imagen 10
Proceso Scrum (Ausum Cloud, s. f.)



Objetivo de la aplicación Scrum

Se escoge esta herramienta ágil por su capacidad de optimizar la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de acciones de restauración y conservación de praderas marinas, asegurando que el diseño de la estrategia este centrado en evidencia científica (biomasa y carbono azul), adaptabilidad continua y participación local.

Estructura de Scrum aplicada al proyecto

Los roles son fundamentales para el funcionamiento de un equipo Scrum y el resultado del proyecto. En la siguiente tabla muestra los tipos de roles y la responsabilidad que tiene en el desarrollo y ejecución de la estrategia:

Tabla 2
Roles Scrum (Gabriela C. et al., 2025)

ROL	DESCRIPCIÓN	RESPONSABILIDAD EN EL PROYECTO
Product Owner	Define el valor ecológico esperado, prioriza tareas, garantiza alineación con los objetivos científicos y comunitarios.	Coordinador de investigación, con apoyo de INVEMAR o universidad aliada.
Scrum Máster	Acompaña la ejecución del marco Scrum, elimina bloqueos y asegura la metodología.	Facilitador metodológico del proyecto.

Equipo de desarrollo	Ejecuta las tareas: toma de datos, análisis de biomasa, restauración in situ, comunicación con comunidad.	Técnicos de campo, biólogos marinos, estudiantes, líderes comunitarios.
----------------------	---	---

Artefactos Scrum adaptados al diseño del proyecto

La lista de requerimientos o “Product Backlog” incluye tareas que se deben realizar en toda la fase, organizadas y de forma prioritaria, así:

1. Identificar que el sitio de estudio cuente con una baja o alta cobertura
2. Diseñar protocolo de estandarización en medición de bio masa
3. Capacitar al equipo técnico y comunitario en técnicas de campo
4. Implementar muestreo técnico y comunitario en técnicas de campo
5. Identificar zonas críticas para restauración
6. Ejecutar restauración piloto (trasplante, protección y replantación)
7. Monitorear cambios de biomasa y cobertura tras intervención
8. Realizar sesiones de retroalimentación y mejora continua

Tareas específicas por cada sprint (dos a cuatro semanas), el cual tiene subconjunto de trabajos y actividades específicas como se observa en la tabla.

Tabla 3
Sprint Backlog de tareas para desarrollar (Gabriela C. et al., 2025)

RESTAURACION DE PASTOS MARINOS		
Tarea	Responsable	Herramientas
Delimitación de áreas de muestreo	Equipo técnico	GPS, mapas, drones
Revisión bibliográfica de protocolos de biomasa	Estudiantes, asesor científico	Repositorios académicos
Taller de capacitación comunitaria	Líder comunitario + facilitador	Cartillas, infografías
Ensamble de kits de campo	Logística	PVC, flexómetros, registros

Ciclo de trabajo por Sprints:

Con el objetivo de avanzar de manera estructurada y efectiva en la ejecución del proyecto de restauración ecológica, se ha definido una secuencia de sprints que permite organizar las actividades en ciclos de trabajo enfocados, colaborativos y con entregables concretos, el cual tiene una duración de tres (03) meses y una (01) semana. Cada sprint está orientado a cumplir un objetivo específico dentro del proceso general, desde el diagnóstico inicial del ecosistema hasta la implementación de acciones piloto de restauración y la posterior evaluación de resultados. Esta metodología ágil facilita la adaptación continua, el aprendizaje iterativo y la incorporación de la participación comunitaria en cada etapa. A continuación, se detallan los sprints planeados, sus objetivos, actividades clave y entregables correspondientes.

Tabla 4
Cronograma de trabajo por cuatro ciclos de sprints (Gabriela C. et al., 2025)

RESTAURACIÓN PASTOS MARINOS ISLA BARÚ						
Ciclo Sprint	Objetivo Sprint	Duración	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
1	Establecer las bases operativas y científicas	3 semanas	■ ■ ■			
2	Recolectar y analizar datos de biomasa en campo	4 semanas.		■ ■ ■ ■		
3	Implementar técnicas de restauración ecológica en zonas prioritarias	4 semanas.			■ ■ ■ ■	
4	Medir Impacto, documentar aprendizajes y mejorar el plan	2 semanas				■ ■

1) Sprint 1: Preparación y diagnóstico

Actividades:

- Identificación de zonas de muestreo en campo
- Revisión y adaptación del protocolo de medición de biomasa
- Capacitación técnica (talleres con comunidades)
- Pruebas de campo para calibración de métodos

Resultado: Protocolo validado y mapa georreferenciado de zona de estudio.

2) Sprint 2: Muestreo de biomasa y evaluación de carbono

Actividades:

- Ejecución del muestreo en diferentes estratos de profundidad.
- Registro y análisis de variables: densidad de pastos, longitud de hojas, biomasa húmeda/ seca.
- Estimación de carbono contenido por m².

Resultado: Línea base técnica de biomasa y carbono azul.

3) Sprint 3: Restauración piloto Participativa

Actividades:

- Preparación de sitio y selección de fragmentos de *Thalassia Testudinum*.
- Replantación asistida con voluntarios y líderes comunitarios
- Protección del área (señalización, boyas, cercas)

Resultado: Sitio piloto restaurado y primer monitorio de cambio

4) Sprint 4: Evaluación, ajustes y escalabilidad

Actividades:

- Repetición de muestreo en área intervenida
- Análisis comparativo pre y post intervención
- Taller de retroalimentación con comunidad y expertos

Resultado: Informe de resultados y plan de mejora.

Desarrollo tablero Trello

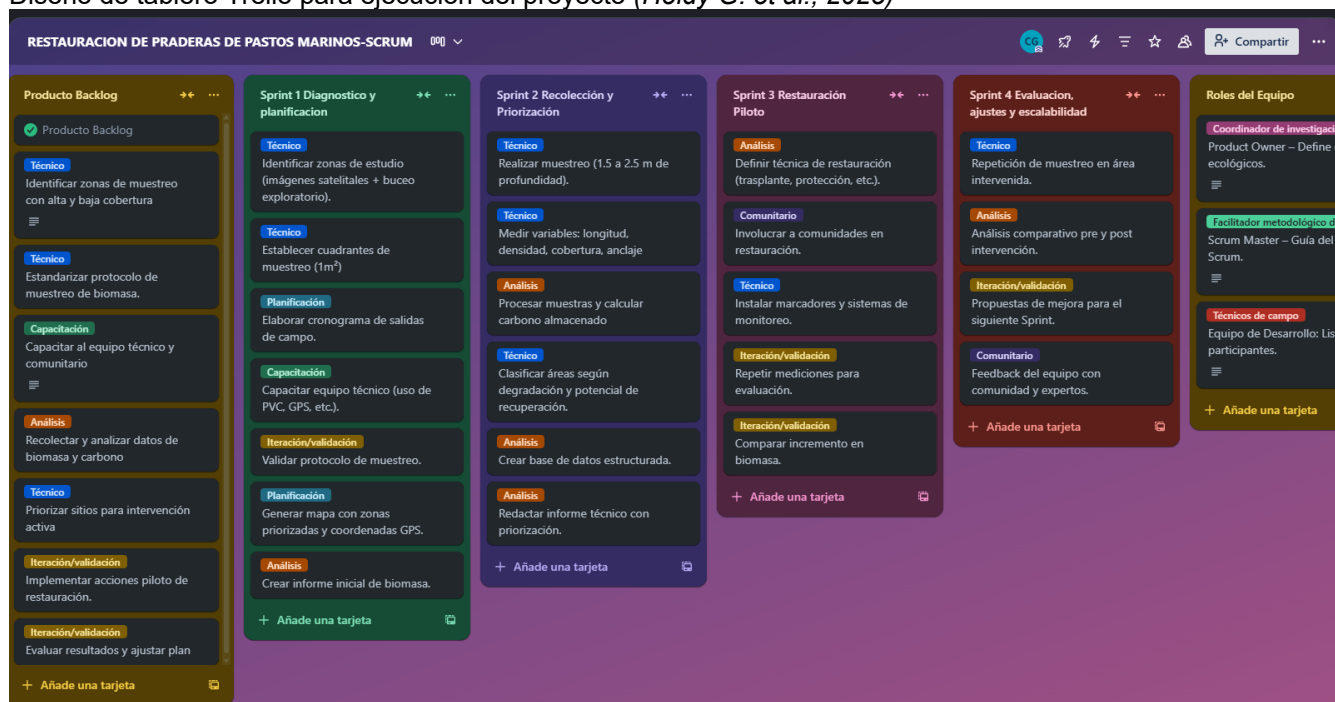
Dentro de la estrategia con metodología ágil scrum, se elige Trello como gestor de tareas y colaboración a este proyecto, ya que ofrece una interfaz basada en tableros, listas y tarjetas, lo que facilita la visualización y el seguimiento del flujo de trabajo.

Se visualiza el avance lo que es útil para el equipo, adicional se tiene colaboración en

tiempo real permitiendo que todos los miembros del equipo puedan acceder al mismo tablero, actualicen tareas, comenten y reciban notificaciones, mejorando así la comunicación y coordinación.

Ilustración 1

Diseño de tablero Trello para ejecución del proyecto (Heidy G. et al., 2025)



Nota: Enlace de tablero creado en plataforma digital “Trello” para restauración de pastos marinos <https://trello.com/b/ekkQMeCQ/restauracion-de-praderas-de-pastos-marinos-scrum>.

6.2.7. Elaboración de matriz MICMAC

La elaboración de una matriz MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación) es fundamental para evaluar la estrategia de restauración y conservación de praderas de pastos marinos en Barú, ya que permite identificar las variables clave que influyen o dependen del sistema estratégico planteado. Esta herramienta facilita el análisis estructural de los factores críticos al clasificar las variables según su nivel de influencia y dependencia, lo cual permite priorizar acciones, anticipar impactos sistémicos y optimizar la toma de decisiones. En este proyecto, aplicar MICMAC permitió reconocer que el éxito de la estrategia depende especialmente de variables motoras como la regulación ambiental, el

financiamiento sostenible, la participación comunitaria y el monitoreo técnico. Así, esta matriz no solo aporta claridad sobre cómo interactúan los elementos del sistema, sino que también fortalece el diseño y la adaptabilidad de la estrategia, alineándola con estándares internacionales como las normas ISO y con los principios de metodologías ágiles como Scrum.

Para el inicio de la elaboración de la matriz, se seleccionaron variables claves de impactos como se muestra en la Tabla 5, verificando Normas ISO (Organización internacional de normalización), con el fin de asegurar estándares de calidad, seguridad y eficiencia de la estrategia diseñada para la restauración de praderas de pastos marinos.

Tabla 5
Variables Seleccionadas para MICMAC (Diana A. et al., 2025)

Nº	Variable	Tipo Propuesto	ISO Relacionada
V1	Regulación ambiental y cumplimiento normativo	Motora	ISO 14001 (Gestión Ambiental)
V2	Financiamiento sostenible del proyecto	Motora	ISO 14008 (Valoración ambiental)
V3	Participación comunitaria activa	Motora	ISO 26000 (Responsabilidad Social)
V4	Cobertura de praderas marinas	Dependiente	ISO 14031 (Indicadores ambientales)
V5	Tasa de acumulación de carbono azul	Dependiente	ISO 14064-2 (GEI: Proyectos)
V6	Cambios en uso del suelo costero	Ligada	ISO 37101 (Desarrollo sostenible)
V7	Presión antropogénica (turismo, pesca, contaminación)	Ligada	ISO 14015 (Evaluación de sitios)
V8	Condiciones oceanográficas (salinidad, temperatura, turbidez)	Autónoma	No aplica
V9	Muestreo y monitoreo de biomasa (tecnificación, calidad, repetibilidad)	Motora	ISO 19011 (Auditoría), ISO 17025
V10	Gestión de riesgos ambientales	Motora/Ligada	ISO 31000 (Gestión del riesgo)

Matriz de Impactos Cruzados MICMAC simplificada:

Esta matriz cualitativa le permite visualizar cómo cada variable influye en las demás, usando una escala básica:

0 = Sin influencia

1 = Influencia débil

2 = Influencia media

3 = Influencia fuerte

Tabla 6

Matriz de Impactos Cruzados MICMAC simplificada ((Diana A. et al., 2025)

Variables	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
V1 Regulación ambiental	0	3	3	3	2	3	2	0	2	3
V2 Financiamiento	2	0	2	2	3	1	2	0	3	2
V3 Participación comunitaria	2	2	0	2	2	1	2	0	2	3
V4 Cobertura de praderas	0	0	0	0	2	0	0	1	1	1
V5 Tasa de carbono azul	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1
V6 Uso del suelo costero	2	1	1	2	2	0	2	1	1	2
V7 Presión antropogénica	2	1	2	2	2	2	0	1	1	2
V8 Condiciones oceanográficas	0	0	0	1	2	1	1	0	1	1
V9 Muestreo de biomasa	1	2	1	3	3	2	1	1	0	2
V10 Gestión de riesgos	2	2	2	2	2	2	3	1	2	0

Análisis cualitativo

VARIABLES CON ALTA INFLUENCIA TOTAL:

- V1 Regulación ambiental (influye sobre 8 variables)
- V2 Financiamiento
- V3 Participación comunitaria
- V10 Gestión de riesgos
- V9 Muestreo de biomasa

VARIABLES ALTAMENTE DEPENDIENTES:

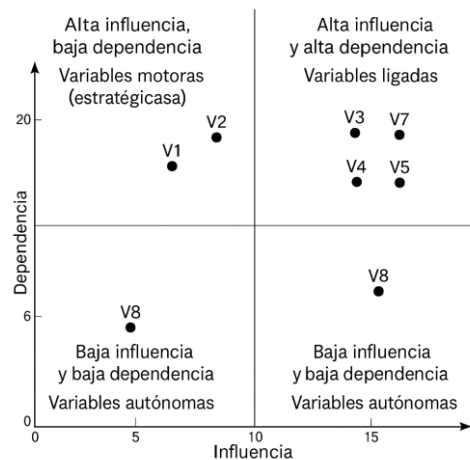
- V4 Cobertura
- V5 Tasa de carbono azul

Variable autónoma:

- V8 Condiciones oceanográficas

Grafica 1

Grafica de dispersión de la matriz MICMAC ((Diana A. et al., 2025)



Dentro del análisis MICMAC del proyecto de restauración de praderas marinas en Barú muestra que el éxito depende principalmente de variables motoras como la regulación ambiental, el financiamiento sostenible, el muestreo técnico y la participación comunitaria. Estas deben gestionarse priorizando normas ISO como la 14001, 14008, 17025, 19011 y 26000 para asegurar un impacto sistémico positivo.

Un segundo grupo, con alta influencia y dependencia, incluye el uso del suelo costero, la presión antropogénica y la gestión de riesgos. Estas variables requieren monitoreo continuo y estrategias adaptativas basadas en normas ISO 14015 y 31000, integrando retroalimentación comunitaria en cada sprint del enfoque ágil Scrum.

Las variables dependientes, como la cobertura de praderas y la acumulación de carbono azul, son indicadores clave que deben monitorearse, no intervenir directamente. Se recomienda su seguimiento con indicadores KPI según ISO 14031 y 14064-2, facilitando la evaluación y el reporte de avances en compromisos internacionales y por último, la variable autónoma de condiciones oceanográficas, aunque no controlable, debe registrarse constantemente para ajustar las acciones según el contexto natural.

En resumen, el análisis MICMAC junto con Scrum y normas ISO ofrece una estrategia integral, adaptable y técnica que fortalece la restauración ecológica de las praderas marinas alineada con estándares internacionales y metas climáticas.

6.2.8. Evaluación de la estrategia diseñada

La infografía digital que se presenta a continuación (ver *Imagen 11*) fue diseñada como una herramienta visual y metodológica para sintetizar y comunicar el proceso de evaluación de la estrategia de restauración de praderas de pastos marinos en la Isla Barú, ubicada en el Caribe colombiano.

Imagen 11

Infografía digital para evaluación de la estrategia diseñada. (Gabriela C. et al., 2025)



Nota: Enlace de la infografía diseñada en plataforma digital "Canva" para evaluación de la estrategia. https://www.canva.com/design/DAGnr-NIBIM/jPkUb-Zl6eDQe7FYHxBMQ/edit?utm_content=DAGnr-NIBIM&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Esta infografía presenta de manera clara y didáctica los principales componentes de

la estrategia diseñada para la restauración y conservación de praderas de pastos marinos en la Isla Barú, en el Caribe colombiano. A través de siete secciones, se resumen los objetivos, métodos, enfoques y resultados esperados del proyecto:

a) ¿Qué busca este proyecto?

Se plantea el diseño de una estrategia integral para restaurar y conservar praderas de pastos marinos, enfocándose en tres funciones clave: actuar como sumideros de carbono azul, servir de hábitat a la biodiversidad marina y funcionar como barreras naturales contra la erosión costera.

b) Recopila la información

Se detallan las técnicas utilizadas para el levantamiento de datos en campo, incluyendo la medición de biomasa, la estratificación por profundidad y variables clave como densidad, longitud, anclaje y carbono. También se mencionan los instrumentos utilizados como marcos en PVC, GPS, flexómetros y formatos de captura estandarizados.

c) Enfoque comunitario

Se resalta la importancia de la participación de las comunidades locales mediante procesos de capacitación técnica y actividades de sensibilización ambiental, fortaleciendo la apropiación social del proyecto.

d) Impacto y sostenibilidad

Se destacan los beneficios esperados: recuperación de biodiversidad, aumento en la captura de carbono y potencial de replicación de la estrategia en otras zonas similares.

e) Enfoque ágil (Scrum) aplicado

Se explica por medio de un video didáctico realizado con herramientas IA, el uso de la metodología ágil Scrum como marco para organizar y ejecutar las tareas del proyecto en ciclos iterativos (sprints), lo que permite una gestión eficiente, participativa y basada en resultados concretos.

Imagen 12

Video explicativo metodología ágil Scrum (Gabriela C. et al.,2025)



Nota: Enlace del video explicativo de los sprints diseñados de la estrategia de restauración utilizando herramienta IA "Pictori.IA"

<https://video.pictori.ai/v2/preview/1040774059475074465111747364402551>

f) Evalúa la estrategia

Se invita a nueve evaluadores de las áreas de ciencias naturales y marketing, con nivel de posgrado cursado (mínimo nivel de estudio) a revisar la propuesta mediante una de una encuesta diseñada en "Google Forms", teniendo una calificación desde una escala de uno (1) siendo muy deficiente hasta cinco (5) siendo excelente, integrando así al proceso de documentación y mejora continua del proyecto.

Imagen 13

Encuesta realizada de calificación para los evaluadores de la estrategia diseñada (Gabriela C. et al., 2025)



Nota: Enlace del de Encuesta realizada de calificación para los evaluadores de la estrategia diseñada en plataforma de "Google forms" <https://docs.google.com/forms/d/1SR8SHXggDI-ue0OPdJusoe7Bo32EJCFdx7mzEd8hv8o/edit>

g) Recomendación final para el evaluador

La infografía cierra resaltando que la estrategia fue evaluada desde un enfoque multidisciplinario que articula ciencia, comunidad, sostenibilidad y gestión ágil. Se propone como un modelo replicable para la conservación marina en el Caribe colombiano.

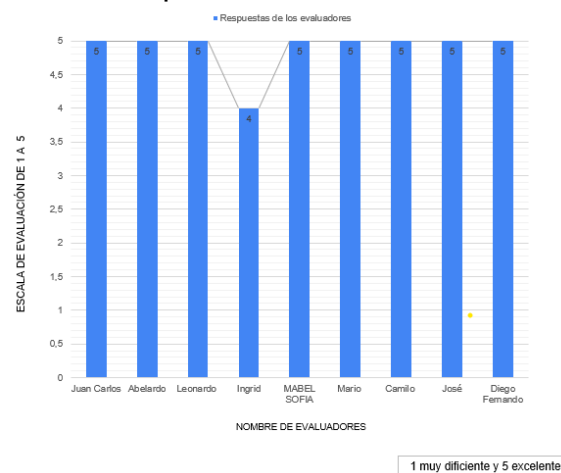
7. Resultados obtenidos de la evaluación del diseño de la estrategia

La tabla y gráfica presentadas a continuación muestran los resultados de la evaluación de la estrategia diseñada para la restauración de praderas de pastos marinos en la Isla Barú, realizada por un grupo de nueve evaluadores expertos en áreas como biología, oceanografía, ingeniería ambiental, organización estratégica organizacional, educación ambiental y gestión de proyectos.

Tabla 7
Resultados de preguntas de la encuesta realizada a los evaluadores (Gabriela C. et al., 2025)

Nombre	Apellidos	Inicie: 1. Pregrado en 2. Posgrado en 3. Lugar donde actualmente labora 4. Cargo que ocupa	Escala de evaluación de 1 a 5 (1 muy deficiente y 5 excelente)	Opinion sobre la estrategia diseñada
Juan Carlos	Castro Parra	1. Ingeniero Forestal, 2. Maestría en gestión ambiental 3. Independiente	5	Se recomienda realizar este tipo de trabajos y estudios en todas las zonas costeras de Colombia e instruir a la comunidad universitaria en el referente.
Abelardo	Castro parra	1. ING. Ambiental 2. Maestría en auditoría ambiental 3. FCN 4. Perito ambiental	5	Este tipo de estudios debería llegar a la cátedra universitaria
Leonardo	Marriaga Rocha	1. Oceanografía Física 2. Oceanografía 3. Viceministerio de Turismo 4. Gestor de Playas	5	El proyecto se ve excelente. Solo recomendaría que consideren incluir de forma muy clara cómo se aplicaría la estrategia y quienes tienen la responsabilidad de aplicarla. La idea es que ojalá el proyecto se lleve a implementación
Ingrid	Bobadilla	Maestría en Marketing Digital, Banco BBVA, Product Manager	4	Importante resaltar el MV, Cada Sprint debe tener un EMC incremental
MABEL SOFIA	MENDOZA	1. Biología marina 2. Maestría en Oceanografía física 3. ENAP 4. Directora GIO	5	Estudiantes, me algra que universitarios tomen este tipo de proyectos de grado en posgrado, las felicito. Respecto a la estrategia, es muy interesante porque usan los metodos adecuados para realizar una buena evaluación y como mejora, recomiendo ser mas claros con el video. Me gustaria verlos en ejecucion.
Mario	Londoño	1. Biología 2. PH. Biología marina 3. Universidad de Antioquia 4. Docente e investigador	5	Señoritas, que buen proyecto, realizan un buen analisis para realizar todas las fases de ejecucion de la restauracion. Me queda la duda se saber cuando empiezan.
Camilo	Platz	Biología marina, Maestría en Oceanografía Física, universidades del Norte, Docente	5	Muy buen proyecto. Hay una estrategia muy solida y no salida de la realidad.
José	Payares	1. Ingeniero de sistemas 2. Maestría Oceanografía Física 3. ENAP 4. Docente e investigador loeseed	5	Me llama mucho la atención su estrategia, mi recomendación sería la mejora del video en la parte grafica.
Diego Fernando	Cruz Saenz	1. Ciencias Navales, Oceanografía Física 2. Especialista en Estrategia Maritima, Maestría en Ciberseguridad y Ciberdefensa 3. Fuerza Naval del Caribe Armada Nacional 4. Jefe de Operaciones de la Fuerza Naval del Caribe.	5	Es un proyecto viable, sostenible, con enfoque científico y con resultados tangibles, involucrando las comunidades como parte fundamental del mismo, desarrollando estrategias que conllevan a una preservación de este importante ecosistema marino, esta acorde al enfoque planteado de Ciencia, comunidad, sostenibilidad y gestión ágil.

Gráfica 2
Gráfica de barras para análisis de respuestas (Gabriela C. et al., 2025)
Respuestas de los evaluadores



Los resultados se definen como positivos, puesto que, ocho de los evaluadores calificaron la estrategia con un puntaje perfecto de cinco (5), mientras que uno otorgó un cuatro (4), lo que arroja un promedio de 4.89 y una tasa de aprobación del 97.77%.

Así mismo, los comentarios de los evaluadores respaldan la pertinencia, solidez y aplicabilidad del diseño. Se destacó el uso acertado de herramientas metodológicas como la matriz MICMAC y el enfoque ágil Scrum, que aportan rigor técnico y permiten una gestión flexible, participativa y basada en resultados. Igualmente, se valoró la incorporación de variables científicas como la biomasa, enfocado en cálculo de carbono azul, así como el enfoque interdisciplinario que articula ciencia, sostenibilidad, comunidad y gestión adaptativa.

Aunque la evaluación fue sobresaliente, una de las observaciones sugirió fortalecer el detalle en la implementación del enfoque incremental dentro del modelo Scrum. Esta observación no implica una falla estructural, sino una oportunidad para afinar aún más la operatividad del proceso metodológico en campo.

En conclusión, los resultados evidenciaron una estrategia sólida, bien diseñada y altamente valorada por profesionales del sector. La alta tasa de aprobación y los comentarios positivos respaldan su viabilidad, pertinencia y efectividad como modelo de restauración ecológica, con gran potencial de escalabilidad y contribución a la conservación marina de la Isla Barú en el Caribe colombiano.

8. Conclusiones

La restauración de las praderas de pastos marinos en la Isla Barú representa una acción urgente y estratégica desde el punto de vista ecológico. Estas praderas, en particular la especie *Thalassia testudinum*, cumplen funciones esenciales como sumideros de carbono azul, estabilizadores de sedimentos costeros y hábitat para una amplia biodiversidad marina. Su recuperación contribuye directamente a mitigar los efectos del cambio climático, frenar la erosión costera y preservar la base ecológica de las comunidades costeras que dependen de

estos ecosistemas.

Desde una perspectiva metodológica, la implementación del enfoque ágil Scrum resultó ser altamente efectiva. Esta metodología permitió estructurar el proyecto en fases claras y manejables (sprints), promoviendo la flexibilidad, la colaboración entre actores y la adaptación continua. El uso de esta herramienta no solo optimizó la ejecución de tareas, sino que también fortaleció la planificación estratégica y la participación de los diferentes grupos involucrados.

El diseño de la infografía para la evaluación de la estrategia los cuales integro los componentes clave del proyecto desde su objetivo ambiental y científico hasta la participación comunitaria, la aplicación del enfoque ágil (Scrum) y el análisis estructural mediante la matriz MICMAC, permitió una comprensión clara y didáctica de cómo se estructuró y evaluó la propuesta. Al combinar elementos técnicos, sociales y ecológicos, la infografía no solo facilita la divulgación del proceso, sino que también actúa como un modelo replicable de gestión estratégica para la conservación de ecosistemas marinos en otras regiones costeras del país.

La dimensión social fue también central en este proceso. La inclusión de las comunidades locales, a través de talleres, capacitaciones y participación en el monitoreo, permitió no solo fortalecer el tejido social, sino también garantizar la apropiación y sostenibilidad de la estrategia en el tiempo. La restauración ecológica, cuando se integra con procesos de educación y empoderamiento comunitario, genera resultados más duraderos y resilientes frente a amenazas futuras.

En términos evaluativos, la estrategia obtuvo una calificación promedio de 4.89 sobre 5 por parte de evaluadores expertos en distintas disciplinas, lo cual demuestra una alta aceptación y validez. Los comentarios recibidos resaltaron la pertinencia del enfoque, la claridad del diseño metodológico y la posibilidad de adaptación de la estrategia en otros contextos. Este respaldo valida el enfoque propuesto como una herramienta sólida y útil para la gestión ambiental costera.

Finalmente, desde un enfoque estratégico, este proyecto se consolida como un modelo replicable. La articulación entre ciencia, tecnología, comunidad y planificación ágil convierte a la estrategia en una propuesta integral adaptable a otras zonas costeras del país que enfrentan problemáticas similares. Su aplicación en diferentes contextos contribuiría significativamente a la conservación marina, a la adaptación al cambio climático y a la promoción de una gestión costera más sostenible y participativa.

Referencias

- Arias-Ortiz, A., Serrano, O., Masqué, P., Lavery, P. S., Mueller, U., Kendrick, G. A., Rozaimi, M., Esteban, A., Fourqurean, J. W., Marbà, N., Mateo, M. A., Murray, K., Rule, M. J. & Duarte, C. M. (2018). A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. *Nature Climate Change*, 8(4). <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0096-y>
- Ausum Cloud. (s. f.). *Scrum: qué es y por qué se ha convertido en una de las metodologías ágiles más populares*. Ausum Cloud. Recuperado 10 de mayo de 2025, a partir de <https://ausum.cloud/scrum-metodologia-agil-mas-popular-en-empresas/>
- Barrios, L. M. & Gómez, D. I. (2001). Estado de las praderas de pastos marinos. En *informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia* (Número Tabla 2).
- Carrasquilla-Henao, M. & Juanes, F. (2017). Blue carbon: Seagrasses, climate change, and coastal resilience. *Frontiers in Marine Science*, 4(261).
- De León Ortiz, J. D. (2018). *Estimación del nivel de intrusión salina en el acuífero de Barú, empleando los software visual al modflow y seawat*. Universidad e Cartagena.
- Díaz, J. M. & Acero, A. (2003). Marine Biodiversity in Colombia: Achievements, Status of Knowledge, and Challenges (Biodiversidad Marina En Colombia: Estado Actual Del Conocimiento Y Desafíos Futuros). *Actas del primer taller sudamericano de Biodiversidad Marina*, 67(July).
- Díaz Merlano, J. Manuel., Barrios S., L. Maria. & Gómez-López, D. Isabel. (2003). *Las praderas de pastos marinos en Colombia : estructura y distribución de un ecosistema estratégico*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" (INVEMAR).
- Duarte, C. M., Middelburg, J. J. & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2(1). <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>
- Duarte, Carlos M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I. & Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. En *Nature Climate Change* (Vol. 3, Número 11). <https://doi.org/10.1038/nclimate1970>
- Elizabeth Mcleod, Gail L Chmura, Steven Bouillon, Rodney Salm, Mats Björk, Carlos M Duarte, Catherine E Lovelock, William H Schlesinger & Brian R Silliman. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *ESA*, 9(10), 552–560.
- Fallis, A. G. (2013). Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J. & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7). <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>
- Gallardo de Parada Yolanda & Moreno Garzón Adonay. (1999). "El proyecto de investigación", 3ª edición. Serie Aprender a Investigar. *ICFES*, " , 3ª edición. Serie Aprender a Investigar, Módulo 3.
- García, C. B. & Londoño-Cruz, E. (2012). Estado de los pastos marinos en Colombia. *INVEMAR*, 85–102.
- Google Earth. (s. f.). *Captura de pantalla de Google Earth que muestra la ubicación de Isla Barú, Colombia*.
- Google Earth. (2024). *Captura de pantalla de Google Earth que muestra la península de Barú, Colombia*.
- Grech, A., Coles, R. & Marsh, H. (2011). A broad-scale assessment of the risk to coastal

- seagrasses from cumulative threats. *Marine Policy*, 35(5).
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.03.003>
- Hernández Sampieri. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.).
- Hurtado Jackeline. (2010). *Metodología de la investigación. Guía para la comprensión Holística de la ciencia*. .
- James Fourqurean, Beverly Johnson, Hilary Kennedy, Catherine Lovelock, J. Patrick Megonigal, Abdullha Rahman, Neil Saintilan & Marc Simard. (s. f.). Carbono Azul. *The blue carbon initiative*.
- Jorge Herrera Silvera, Juan Enrique Mendoza Martinez, Sara M Morales & Israel Medina-Gomez. (2019). Pastos Marinos. *Researchgate, Capitulo 8*.
- La, D. E., Económica, Z., De, E., Rica, C., Marino Costeros De Costa, A., Editores, R., Nielsen Muñoz, V., Alpizar, M. A. Q., Nielsen Muñoz, V. & Quesada Alpizar, M. A. (2006). *COMISIÓN INTERDISCIPLINARIA MARINO COSTERA INFORME TÉCNICO*.
- Marieke M van Katwijk, Anitra Thorhaug, Nuria Marba, Robert J Orth, Carlos M. Duarte, Gary A Kendrick, Inge Althuizen, Elena Balestri, Guillaume Bernard, Marion Cambridge, Alexandra H Cunha, Cynthia Durance, Wim Giesen, Qiuying Han, Shinya Hosokawa, Wawan Kiswara, Teruhisa Komatsu, Claudio Lardicci, Kun-Seop Lee, ... Jennifer Joan Verduin. (2015). Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting. *Applied Ecology*.
- MILLAN, S., BOLANOS, J. A., GARCIA-VALENCIA, C. & GOMEZ-LOPEZ, D. I. (2016). Remote sensing applied to recognition of seagrass meadows in low visibilities environments: La Guajira, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 45(2), 289–315.
- Mtwana Nordlund, L., Koch, E. W., Barbier, E. B. & Creed, J. C. (2016). Seagrass ecosystem services and their variability across genera and geographical regions. *PLoS ONE*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163091>
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M. & Williams, S. L. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. En *BioScience* (Vol. 56, Número 12). [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)
- Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D. & Baldera, A. (2012). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>
- Pizarro, V., Díaz, J., Garzón-Ferreira, J. & López-Victoria, M. (2017). Estructura y estado de conservación de las praderas de pastos marinos en el Caribe colombiano. *INVEMAR*.
- Richard K.F. Unsworth, Lina Mtwana Nordlund & Leanne C. Cullen-Unsworth. (2018). Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters*, 12(1).
- Robert J. Orth, Jonathan S. Lefcheck, Karen S. McGlathery, Lillian Aoki, Mark W. Luckenbach, Kenneth A. Moore, Matthew P. J. Oreska, Richard Snyder, David J. Wilcox & Bo Lusk. (2020). Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services. *Science Advances*, 6(41). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abc6434>
- Romera Castillo, Cristina. (2022). *AntropOcéano : cuidar los mares para salvar la vida*. Espasa.
- Ruiz Ramon. (2007). *El método científico y sus etapas*.
- Short, F. T., Polidoro, B., Livingstone, S. R., Carpenter, K. E., Bandeira, S., Bujang, J. S., Calumpong, H. P., Carruthers, T. J. B., Coles, R. G., Dennison, W. C., Erftemeijer, P. L. A., Fortes, M. D., Freeman, A. S., Jagtap, T. G., Kamal, A. H. M., Kendrick, G. A.,

- Judson Kenworthy, W., La Nafie, Y. A., Nasution, I. M., ... Zieman, J. C. (2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, 144(7). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.010>
- Suárez, A. M. , Martínez Daranas B & Alfonso Y. (2015). Macroalgas marinas de Cuba. *revistaccub*.
- Valle Estrada, A. G. (2007). *Estructura del bosque de manglar y algunos aspectos sobre la fauna asociada a las raíces de Rhizophora mangle (L., 1773) en la Ciénaga de Cholón, Isla de Barú, municipio de Cartagena, Caribe Colombiano*. UTADEO.
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Short, F. T. & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(30). <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>
- Godet, M. (1994). From anticipation to action: A handbook of strategic prospective. UNESCO Publishing.
- Duperrin, J.-C., & Godet, M. (1973). Méthode de scénarios et stratégie d'entreprise. CNAM.
- Vargas, J., & Márquez, J. (2016). Aplicación del análisis estructural MICMAC para la identificación de variables estratégicas en proyectos ambientales. *Revista Ingeniería y Región*, 14(1), 34–45. <https://doi.org/10.25054/22154004.401>
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 – Environmental management systems – Requirements with guidance for use. ISO.
- International Organization for Standardization. (2019). ISO 14008:2019 – Monetary valuation of environmental impacts and related environmental aspects. ISO.
- International Organization for Standardization. (2001). ISO 14015:2001 – Environmental management — Environmental assessment of sites and organizations (EASO). ISO.
- International Organization for Standardization. (2013). ISO 14031:2013 – Environmental management — Environmental performance evaluation — Guidelines. ISO.
- International Organization for Standardization. (2019). ISO 14064-2:2019 – Greenhouse gases — Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements. ISO.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 19011:2018 – Guidelines for auditing management systems. ISO.
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 26000:2010 – Guidance on social responsibility. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 – Risk management — Guidelines. ISO.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The definitive guide to Scrum*. The

rules of the game. Scrum.org. <https://scrumguides.org/>

Poppendieck, M., & Poppendieck, T. (2003). *Lean software development: An agile toolkit*. Addison-Wesley.

Highsmith, J. (2009). *Agile project management: Creating innovative products* (2nd ed.). Addison-Wesley.

Duarte, C. M., Agustí, S., Barbier, E., Britten, G. L., Castilla, J. C., Gattuso, J.-P., ... & Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. *Nature*, 580(7801), 39–51. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., ... & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377–12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

UNESCO-IOC. (2021). *Global ocean science report 2020: Charting capacity for ocean sustainability*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375147>