

Ajuste y actualización del plan básico de restauración para 15 ha de manglar priorizadas participativamente en las islas de Providencia y Santa Catalina

PRY-CAM-011-23

Convenio Interadministrativo 924 de 2023



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras

“José Benito Vives de Andrés” - INVEMAR

Santa Marta D. T. C. H., diciembre de 2023



CUERPO DIRECTIVO INVEMAR

Director General

Francisco Armando Arias Isaza

Subdirector de Coordinación Científica

Jesús Antonio Garay Tinoco

Subdirectora Administrativa

Sandra Rincón Cabal

**Coordinadora de Investigación e
Información para la****Gestión Marina y Costera (GEZ)**

Paula Cristina Sierra Correa

**Coordinador Programa de Biodiversidad
y Ecosistemas Marinos (BEM)**

David Alejandro Alonso Carvajal

**Coordinadora Programa Calidad
Ambiental Marina (CAM)**

Luisa Fernanda Espinosa Díaz

**Coordinadora Programa Geociencias
Marinas y Costeras (GEO)**

Constanza Ricaurte Villota

**Coordinador Programa Valoración y
Aprovechamiento de Recursos Marinos y
Costeros (VAR)**

Mario Enrique Rueda Hernández

Coordinador Servicios Científicos (CSC)

Juan Carlos Márquez

Citar como:

Robles, S. A.; Caraballo, Y., Montes, C., Cortés, I.C. y Lazarus, J.F. 2023. Ajuste y actualización del plan básico de restauración para 15 ha de manglar priorizadas participativamente en las islas de Providencia y Santa Catalina. Convenio 924 - 2023. PRY-CAM-011-23. DAMCRA-INVEMAR. Santa Marta. 69 p.

Preparado por:

COORDINACIÓN DEL PROYECTO**INVEMAR**

Juan Felipe Lazarus

Jefe de Proyecto

Ministerio de Ambiente y**Desarrollo Sostenible**

Ximena Rojas Giraldo

Supervisora

GRUPO DE INVESTIGACIÓN**Programa CAM**

Alejandra Robles

Yusnaira Caraballo

Ingrid Catalina Cortés

Juan Felipe Lazarus

Luisa Fernanda Espinosa

Programa GEZ

Cristian Montes

Diana Romero

Felipe Valencia

Jhonny Garcés

COLABORADORES**Parques Nacionales Naturales de Colombia****Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon**

Pablo Ureña

Violeta Posada

Vanburen Ward

Imagen portada: Manglares en Jones Point. Juan Felipe Lazarus.

INVEMAR

Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero

Santa Marta D.T.C.H., Colombia

Teléfono: (57) (5) 4328600

www.invemar.org.co



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	7
2	METODOLOGÍA	8
2.1	Ajuste al plan de restauración en torno a la identificación de los aspectos socioambientales de los sitios de interés	8
2.1.1	Cartografía social	8
2.1.2	Talleres y Matrices de análisis	9
2.1.3	Desarrollo de Encuestas	9
2.2	Ajuste al plan de restauración en torno a la caracterización biofísica y ambiental de los sitios de interés	10
2.2.1	Diseño de muestreo	10
2.3	Análisis de la cobertura de manglar	11
2.3.1	Vuelos fotogramétricos	11
2.3.2	Identificación de pérdidas y ganancias de las coberturas de manglar, mediante el uso de condiciones espectrales generales y sensores remotos.	12
2.3.3	Adquisición de imágenes	12
2.3.4	Índices espectrales NDVI	12
2.4	Área de estudio	14
3	CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS ÁREAS PRIORIZADAS.....	17
3.1	Aspectos Biofísicos.....	17
3.1.1	Caracterización parcelas de referencia	17
3.1.2	Caracterización parcelas degradadas con intervención	23
3.1.3	Caracterización parcelas degradadas sin intervención	26
3.1.4	Caracterización de áreas de manglar con importancia para la comunidad	30
3.2	Análisis de la cobertura de manglar	33
3.2.1	Comportamiento espectral NDVI OPSC	33
3.2.2	Ortofotomosaicos.....	39
3.2.2.1	PNN Old Providence McBean Lagoon.....	40
3.2.2.2	Santa Catalina, Jones Point y Manzanillo	41
3.2.3	Aspectos socioambientales.....	43
3.2.3.1	Datos de los participantes.....	44

3.2.3.2	Importancia del manglar y sus servicios ecosistémicos	46
3.2.4	Priorización de áreas y actualización tensores	48
3.2.4.1	Conflictos socioambientales	53
3.2.4.2	Grupos comunitarios, base social y acciones de restauración	54
4	PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DE RESTAURACIÓN	56
4.1.1	Priorización de áreas de manglar a restaurar/rehabilitar	56
4.1.2	Identificación de tensores	57
4.1.3	Objetivos del plan de restauración/rehabilitación	58
4.1.4	Metas del plan de restauración/rehabilitación	59
4.1.5	Estrategias, acciones y técnicas para la restauración/rehabilitación	59
5	FASE DE IMPLEMENTACIÓN	63
6	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	63
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
8	BIBLIOGRAFÍA	67
9	ANEXOS	69

Anexo 1: Memoria reunión PNN Old Providence McBean Lagoon

Anexo 2: Memoria Taller Diagnóstico Participativo con entidades locales

Anexo 3: Memoria Taller Diagnóstico Participativo con las comunidades locales

Índice de Figuras

Figura 1. Diseño de parcelas de caracterización.	10
Figura 2. Esquema de medición de regeneración natural en las parcelas de caracterización.	11
Figura 3. Esquema de medición de parámetros fisicoquímicos y extracción de núcleos de suelo.	11
Figura 4. Comportamiento general del índice NDVI en respuesta a diferentes estados de vegetación. Obtenido de Evangelides y Nobajas (2019).	13
Figura 5. Ejemplo de histograma de una banda multispectral de una imagen SPOT. Tomado de: (Smith et al., 2021)	14
Figura 6. Calificación cualitativa del impacto global del huracán IOTA en los manglares de Providencia y Santa Catalina afectada por el huracán IOTA. En rojo con afectación alta: norte del Parque McBean Lagoon, Manchineel Bay, Southwest Bay y Santa Catalina. Con afectación media: parque McBean Lagoon, Jones Point Town. Tomado de INVEMAR 2021.	15
Figura 7. Ubicación de las parcelas en el área del PNN Old Providence McBean Lagoon en la Isla de Providencia – Colombia.	16
Figura 8. Vista general de las parcelas de referencia monitoreadas a: parcela 1, b: parcela 5, y c: parcela 10	21
Figura 9. Análisis fisicoquímicos en los suelos de las parcelas de referencia. a: % de Carbono orgánico total, b: densidad aparente, c: % de materia orgánica volátil y d: % por textura en las parcelas de referencia	22
Figura 10 Reserva de carbono en los sedimentos hasta 50 cm de profundidad de las parcelas de referencia.	23
Figura 11. Análisis físico químicos en los suelos de las parcelas degradadas con intervención. a: % de Carbono orgánico total, b: densidad aparente, c: % de materia orgánica volátil y d: % por textura en las parcelas degradadas con intervención	25
Figura 12. Reserva de carbono en los sedimentos hasta 50 cm de profundidad de las parcelas degradadas con intervención.	26
Figura 13. Vista general de las parcelas degradadas monitoreadas a: parcela 4, b: parcela 8, y c: parcela 9.	28
Figura 14. Análisis físico químicos en los suelos de las parcelas degradadas sin intervención. a: % de Carbono orgánico total, b: densidad aparente, c: % de materia orgánica volátil y d: % por textura en las parcelas degradadas sin intervención	29
Figura 15. Reserva de carbono en los sedimentos hasta 50 cm de profundidad de las parcelas degradadas sin intervención.	30
Figura 16. Vista general manglar Black Sand Bay.	31
Figura 17. a y b. Vista general manglar Manzanillo	31
Figura 18. a y b. Vista general manglares Santa Catalina (A) y Jones Point (B)	32
Figura 19. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) enero de 2020, Isla de Providencia	34

Figura 20. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) diciembre de 2020, Isla de Providencia.	35
Figura 21. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) enero de 2023, Isla de Providencia.	36
Figura 22. Diferencias de NDVI entre diciembre de 2020 y enero de 2020 para los manglares de PSC. 3m/px.....	37
Figura 23. Diferencias de NDVI entre enero de 2023 y diciembre de 2020 para los manglares de PSC. 3m/px.....	37
Figura 24. Diferencias entre el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) diciembre de 2020- enero de 2020. Isla de Providencia.	38
Figura 25. Diferencias entre el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) enero de 2023 – diciembre de 2020. Isla de Providencia.	39
Figura 26. Áreas sobrevoladas para la generación de ortofotomosaicos con DRON en las islas de Providencia y Santa Catalina.	40
Figura 27. Ortofotomosaicos con DRON en el área del PNN Old Providence McBean Lagoon.	41
Figura 28. Ortofotomosaicos con DRON en las áreas de manglar de Santa Catalina y Jones Point.	42
Figura 29. Ortofotomosaico con DRON en las áreas de manglar de Providencia- Manzanillo.	43
Figura 30. a y b: Reconocimiento de sexo.	44
Figura 31. Pertenencia étnica.	44
Figura 32. Edades de los y las participantes.	45
Figura 33. Nivel educativo de los y las participantes.	45
Figura 34. Actividad económica de los y las participantes.	46
Figura 35 a y b. Taller de Cartografía social con Comunidades, autoridades ambientales y actores sociales de influencia	48
Figura 36. Principales tensores del manglar en Providencia y Santa Catalina.....	53
Figura 37. Pertenencia a organización social en Providencia y Santa Catalina.	54
Figura 38. Propuestas de acciones por parte de la comunidad para la rehabilitación de manglares en providencia.	55

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de las imágenes adquiridas para el análisis espectral.....	12
Tabla 2. Ubicación geográfica de las parcelas y áreas de manglar evaluadas para la actualización del plan de rehabilitación de las islas de Providencia y Santa Catalina – Colombia.	16
Tabla 3. Variables estructurales de las Parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). AG: Avicennia germinans.	18
Tabla 4. Índice de valor de importancia para especies de las parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon.....	18
Tabla 5. Atributos de regeneración natural para las parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$).	19
Tabla 6. Variables fisicoquímicas para las parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). * Parcelas con n=1.	20
Tabla 7. Atributos de regeneración natural para las parcelas degradadas con intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). RM: Rhizophora mangle, AG: Avicennia germinans.	23
Tabla 8. Variables fisicoquímicas para las parcelas de degradadas con intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$).	24
Tabla 9. Atributos de regeneración natural para las parcelas degradadas sin intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). RM: Rhizophora mangle, AG: Avicennia germinans.	26
Tabla 10. Variables fisicoquímicas para las parcelas de degradadas sin intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). * Parcelas con n=1.	27
Tabla 11. Variables fisicoquímicas para las áreas de manglar priorizadas por la comunidad y los actores locales de las islas de Providencia y Santa Catalina. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$).	32
Tabla 12. Resultado de encuestas para la categoría de preguntas abiertas- Importancia del ecosistema de manglar, octubre 2023. ¿Por qué considera usted que es importante el ecosistema de manglar?.....	47
Tabla. 13. Zonas priorizadas y escala de valoración.....	49
Tabla 14. Tensores identificados por la comunidad en el manglar de Providencia y Santa Catalina.	51

continuación Tabla 15. Tensores identificados por la comunidad en el manglar de Providencia y Santa Catalina.	52
Tabla 16 Calificación de la priorización de las diferentes áreas de manglar de las islas de Providencia y Santa Catalina	57
Tabla 17 Tensores antrópicos identificados en cada área de manglar priorizada para la rehabilitación en las islas de Providencia y Santa Catalina.	57
Tabla 18. Objetivos y metas de rehabilitación para los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina.	60
continuación Tabla 19. Objetivos y metas de rehabilitación para los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina.	61
Tabla 20. Objetivos, acciones, zonas de implementación e indicadores de rehabilitación para los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina.	62
Tabla 21. Plan de trabajo para implementar las acciones de restauración en islas de Providencia y Santa Catalina.	63
Tabla 22. Indicadores de línea base y seguimiento a las acciones de restauración en islas de Providencia Santa Catalina.	64
Continuación Tabla 23. Indicadores de línea base y seguimiento a las acciones de restauración en islas de Providencia Santa Catalina.	65

1 INTRODUCCIÓN

Los manglares son ecosistemas de un alto valor ecológico, social y cultural debido a los múltiples servicios ambientales que proporcionan. No obstante, su acelerado deterioro, ligado a causas antrópicas y naturales, ha ocasionado que muchos de sus servicios ecosistémicos hayan disminuido, y con esto, la calidad de vida de quienes habitan en sus inmediaciones y se benefician de forma directa.

La restauración ecológica es una de las principales estrategias utilizadas para revertir los procesos de degradación de los manglares, buscando recuperar la estructura y funcionalidad del ecosistema en relación a un estado pre - disturbio. En Colombia, la Guía de Restauración de Ecosistemas de Manglar – GREM - establece los principales lineamientos o pasos para adelantar acciones de restauración en este ecosistema. En ella se prioriza la recuperación pasiva del ecosistema, en la cual, la capacidad de regeneración natural del ecosistema se promueve con la eliminación o mitigación de los tensores que causan la degradación. En caso de que el ecosistema haya perdido su capacidad de regeneración, la guía plantea implementar acciones de restauración activa, las cuales incluyen apertura de caños y enriquecimiento con material vegetal, entre otras. La implementación de acciones pasivas o activas dependerá de factores como el nivel de deterioro del ecosistema y de las limitaciones logísticas y presupuestales propias de cada proyecto, no obstante, ambos tipos de acciones estarán encaminadas al cumplimiento de los objetivos y podrán manejarse de forma adaptativa en las distintas fases del proyecto.

A nivel nacional, se han documentado experiencias de restauración en manglares (Rodríguez et al, 2021), donde se utilizaron acciones de restauración activa y estrategias pasivas. No obstante, el porcentaje de éxito en la mayoría de los casos no supera el 50%. En 2021, en el marco de una iniciativa gubernamental, se diseñaron planes de restauración en algunas zonas priorizadas del territorio donde se incluyen Providencia, Sucre, Córdoba, Magdalena y Cauca, (Rodríguez, 2022). Sin embargo, no todos los planes pudieron ser implementados por factores administrativos y logísticos, y los que se ejecutaron, no superaron la vigencia, por lo cual no fue posible realizar mantenimiento y monitoreo de las acciones.

En 2023, respondiendo a los compromisos nacionales, se suscribió el convenio 924 entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el INVEMAR, cuyas actividades están dirigidas a implementar acciones de restauración, retomando los planes diseñados previamente (2021) e involucrando la participación comunitaria como eje fundamental en el desarrollo de las acciones.

El presente informe técnico de avance busca resumir las actividades realizadas en el marco del convenio DAMCRA – INVEMAR 924 de 2023, específicamente aquellas relacionadas con la implementación de acciones de restauración de 15 hectáreas en las localidades priorizadas de Providencia y Santa Catalina.

2 METODOLOGÍA

2.1 Ajuste al plan de restauración en torno a la identificación de los aspectos socioambientales de los sitios de interés

El abordaje e identificación de los aspectos socioambientales para la actualización del plan de restauración en las islas de Providencia y Santa Catalina tuvo en cuenta diferentes criterios como, línea base disponible, continuidad de los procesos y acciones realizadas en años anteriores.

Para la actualización del Plan de Rehabilitación de manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina se realizaron dos talleres, uno con actores locales y uno con las comunidades de influencia sobre las áreas de manglar (Anexo 2, Anexo 3). En el desarrollo de estos se aplicaron diversas técnicas de investigación, entre ellas la cartografía social, las matrices de análisis, y las encuestas. Asimismo, se realizaron recorridos guiados en las zonas degradadas o deforestadas donde se retomaron técnicas como la observación participante y las entrevistas informales para complementar la información cualitativa recolectada en los talleres. Con esto se buscaba alcanzar los siguientes objetivos:

- Actualizar el plan de rehabilitación de los manglares de Las islas de Providencia y Santa Catalina tras el paso del huracán Iota
- Identificar de forma participativa el estado de las zonas priorizadas en el plan de rehabilitación en términos de: avance en su recuperación, actividades de restauración implementadas desde el año 2021 y los factores/limitantes que pueden estar afectando el proceso de restablecimiento de la cobertura de manglar en las islas
- Identificar las acciones a implementar con la comunidad y los actores de influencia para la rehabilitación de los manglares en Providencia y Santa Catalina.

Por otro lado, al encontrarse un área protegida como el Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon dentro del área de influencia de esta investigación, se realizaron reuniones con los funcionarios del parque con el fin de priorizar acciones de restauración en función de las necesidades biofísicas y ecológicas generadas tras el paso del huracán IOTA (Anexo 1).

2.1.1 Cartografía social

La cartografía social busca “elaborar de manera colectiva una representación espacial del territorio en el pasado, presente o futuro, según diversas temáticas que nos permitan un mayor conocimiento social, cultural, geográfico, económico, político” lo anterior, permite tener una percepción espacial y colectiva del territorio, sus usos y formas de relación”, (Giraldo

Salazar et al., 2021, p. 42) ya sea para realizar un diagnóstico, identificar riesgos o conflictos, entender transformaciones o planificar el territorio” (Giraldo Salazar et al., 2021, p. 42).

Teniendo en cuenta sus alcances, se realizaron dos ejercicios de cartografía social, con el objetivo de identificar de manera participativa el estado de los manglares de Providencia y Santa Catalina (en cuanto a su cobertura, estructura u otros) y priorizar las áreas para la implementación, actualización y ajustes de las acciones de restauración (propuestas en el plan de rehabilitación).

Esta técnica permitió identificar de forma espacial y desde la experiencia de los y las participantes los siguientes resultados:

- Estado de las zonas en las que se realizaron las siembras en 2021.
- Zonas donde se realizaron procesos de restauración posterior al 2021.
- Zonas degradadas y/o con pérdida de cobertura.
- Identificación de los principales tensores o presiones del ecosistema de manglar de Providencia y Santa Catalina.

2.1.2 Talleres y Matrices de análisis

Su objetivo consistió en diseñar una matriz que plasmara las diferentes perspectivas de los actores e interconectar las ideas y sus formas de relación. En ella, se buscaba conocer cuáles eran las principales características de los tensores identificados, principales actores, comunidades, acciones realizadas, y propuestas para la restauración. Con la aplicación de las matrices se obtuvieron los siguientes resultados:

- Estado de los tensores, sus cambios (aumento o disminución) y formas de mitigación.
- Actores locales y/o comunidades de influencia.
- Acciones y/o actividades de restauración y/o rehabilitaciones realizadas en los manglares de Providencia y Santa Catalina.
- Propuestas de restauración potenciales a incluir en la actualización del plan de rehabilitación de Providencia y Santa Catalina.

2.1.3 Desarrollo de Encuestas

Se aplicaron 14 encuestas a representantes de los dos grupos de familias que participaron en la construcción del plan de rehabilitación del manglar de Providencia y Santa Catalina en el 2021. Se indagaron 4 categorías: socioeconómicas, demográficas, político-organizativas y ambientales. Los principales resultados de la encuesta arrojaron los siguientes datos:

- Datos demográficos de los y las participantes.
- Datos sociales, políticos y organizativos de los y las participantes.
- Relacionamiento de los pobladores con el ecosistema de manglar.
- Identificación de tensores con mayor presión en el ecosistema.
- Conflictos ambientales asociados al ecosistema de manglar.

2.2 Ajuste al plan de restauración en torno a la caracterización biofísica y ambiental de los sitios de interés

2.2.1 Diseño de muestreo

La caracterización de los manglares se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Tavera (2014). En cada sector, se establecieron unidades de muestreo con un área mínima de 300 m². En cada una de estas áreas, se realizó el diagnóstico biofísico, el cual se planeó ejecutar en un área de referencia (REF) que permitirá la comparación de los atributos estructurales y funcionales con un área degradada sin intervenciones (DSI) y área degradada con intervenciones (DCI).

Para caracterizar la estructura del bosque, se instalaron tres parcelas permanentes de crecimiento (PPC) de 10x10 m (Figura 1), en las cuales se identificaron y midieron los árboles con un diámetro mayor a 2,5 cm. De cada árbol se registró su especie, diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura máxima. Con los datos obtenidos, se realizaron las principales estimaciones estructurales de la vegetación, como el área basal, la densidad relativa y el índice de importancia ecológica (IVI).

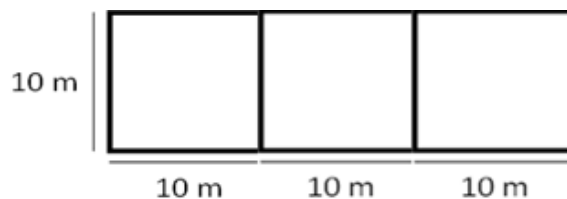


Figura 1. Diseño de parcelas de caracterización.

La regeneración natural se estimó en función del número de plántulas y propágulos. En cada parcela, se instalaron 3 subparcelas de 1x1 m siguiendo el esquema de la Figura 2. En cada una, se realizó el conteo de propágulos, semillas y plántulas por especie. A estas últimas se les midió y registró la altura. Con los datos obtenidos se realizó la estimación del promedio en la densidad de plántulas y propágulos/m²/especie.

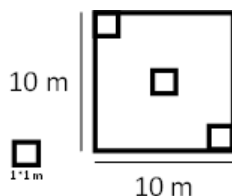


Figura 2. Esquema de medición de regeneración natural en las parcelas de caracterización.

Siguiendo con el esquema de muestreo de la Figura 3, se realizó la medición de las principales variables fisicoquímicas del agua, a nivel superficial e intersticial (50 cm de profundidad) incluyendo la medición de salinidad, temperatura, pH y el potencial REDOX, con la utilización de un equipo multiparamétrico de referencia Hanna HI 98194. Utilizando una sonda rusa, se extrajeron núcleos de sedimento de 50 cm de longitud, los cuales fueron divididos en tres segmentos (0-15 cm, 15-30 y 30 -50 cm) para determinación de carbono orgánico total (COT) y densidad aparente.

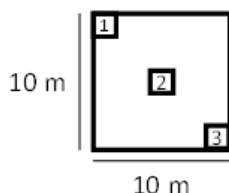


Figura 3. Esquema de medición de parámetros fisicoquímicos y extracción de núcleos de suelo.

2.3 Análisis de la cobertura de manglar

El recorrido contempló la verificación de cobertura e identificación de sitios con algún grado de intervención que pudieran requerir acciones de restauración. Se realizó planes de vuelo fotogramétricos con un equipo RPAS y utilización de datos satelitales disponibles para diagnosticar el estado de cobertura de manglar. La información de los sitios donde se ha identificado pérdida de manglar permite una aproximación de las áreas donde podría desarrollarse cobertura nuevamente, ya que son sitios donde existió manglar y tendrían una alta probabilidad de restaurarse. De acuerdo con las programaciones de vuelo que se diseñaron para el levantamiento fotogramétrico, se dividió el polígono total de cada una de las áreas evaluadas en planes de vuelo, debido a la amplitud y autonomía de vuelo del dron, tratando siempre de iniciar desde el centroide de cada polígono de interés. La aeronave inicialmente se ubicó lo más cercana posible del punto donde finalizaba cada misión. Esto con

el fin de disminuir el tiempo de vuelo, reduciendo el posible riesgo de pérdida de porcentaje de batería y posterior aterrizaje forzoso.

2.3.2 Identificación de pérdidas y ganancias de las coberturas de manglar, mediante el uso de condiciones espectrales generales y sensores remotos.

El presente estudio se enfocó en generar insumos para los planes de restauración de las áreas de Providencia y Santa Catalina en términos de diagnóstico de cobertura de manglar, para ello se utilizaron datos satelitales disponibles para estimar cambios espectrales de cobertura de manglar, en adición se realizaron vuelos fotogramétricos con un equipo RPAS.

2.3.3 Adquisición de imágenes

Para el análisis se usaron imágenes de PlanetScope - imagery © 2023 Planet Labs Inc, obtenidos en GEE con una resolución de 3 m/px; estas imágenes están disponibles gracias a la iniciativa internacional de Noruega sobre el Clima y los Bosques (NICFI en inglés). Las características básicas de los datos utilizados se resumen en Tabla 1.

Tabla 1. Características de las imágenes adquiridas para el análisis espectral.

Sensor	Resolución especial (m/px)	Resolución espectral	Fecha de adquisición
PlanetScope	3	R, G, B, NIR	2020-01-02 15:35:27 UTC
			2020-12-21 15:36:56 UTC
			2023-01-03 15:32:37 UTC

Son imágenes multiespectrales calibradas y ortorectificadas, producidas con proyección cartográfica y geolocalización precisa. El nivel de procesamiento ha eliminado distorsiones de terreno y permite el uso de imágenes para procesamiento como clasificaciones de cubierta terrestre, incluso, contiene correcciones radiométricas aplicadas para corregir artefactos conocidos del sensor y para transformar valores en radiancia en el sensor (Pbc, ©Planet-Labs., 2023).

2.3.4 Índices espectrales NDVI

La información extraída del reflejo electromagnético de los manglares permite evaluar de manera general sus condiciones biológicas. Esta información es observable al obtener la relación entre sus respuestas espectrales para la región visible del rojo y el infrarrojo cercano, como es el caso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). En la Ecuación 1 se detalla el procedimiento matemático para obtener NDVI por pixel de una imagen.

$$NDVI = \frac{(Nir - Red)}{Nir + Red} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

Nir: representa el valor en cada pixel en la banda del infrarrojo cercano NIR del espectro electromagnético

Red: representa el valor de la banda roja para el mismo pixel.

El NDVI permite identificar el comportamiento de las plantas en la banda NIR con respecto a su relación con la banda roja debido a la presencia de clorofila, generando valores que oscilan entre -1 y 1. La Figura 4 ilustra cómo la diferencia entre el infrarrojo cercano y el rojo se ve afectada según la condición de la planta. Esto lleva a asumir que la vegetación saludable tiende a tener valores altos cercanos a 1, mientras que la vegetación estresada o muerta puede caer a valores alrededor de 0.11.

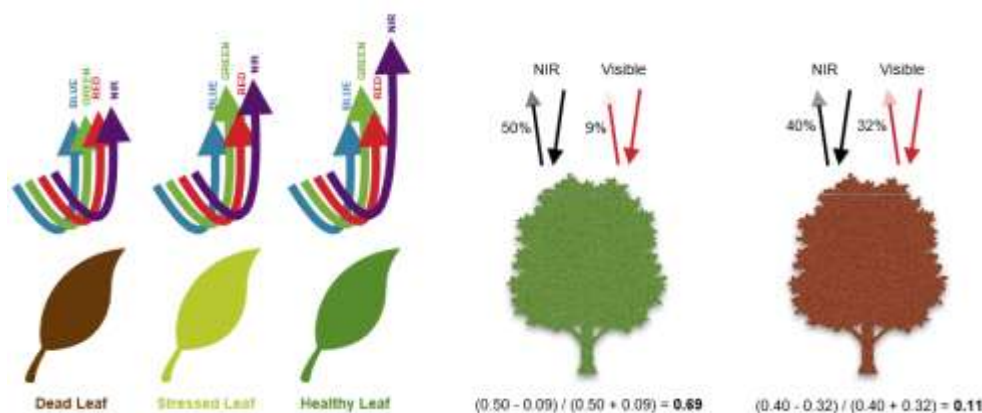


Figura 4. Comportamiento general del índice NDVI en respuesta a diferentes estados de vegetación. Obtenido de Evangelides y Nobajas (2019).

Durante la presente investigación se logró obtener la respuesta NDVI para diferentes fechas en cada sitio de estudio usando las imágenes referidas en la Tabla 1.

En el caso de las Islas de Providencia y Santa Catalina se buscó identificar cambios y respuestas en cuanto a coberturas en los ecosistemas de manglar, causados tras el paso del huracán Iota en noviembre del año 2020 que, además de causar la disminución de la cobertura del manglar, ocasionaron acumulación de escombros, basura y material vegetal en flujos hídricos que llegan a las zonas de manglar, generando impacto futuro sobre el ecosistema (INVEMAR, 2022). Por lo anterior, se calcularon NDVI en 3 fechas diferentes, resultando en 2 periodos de análisis de este sitio que fueron: enero 2020-diciembre 2020 y diciembre 2020 – enero 2023, mostrando

así el comportamiento del manglar en términos espectrales antes, inmediatamente después y dos años después del evento. Para cada uno de los periodos evaluados se calculó la diferencia de la fecha final menos la fecha inicial, obteniendo valores negativos para disminución de NDVI y valores positivos para aumento de NDVI, mientras que los valores cercanos a 0 indicaron cambios mínimo o estabilidad de comportamiento fotosintético.

Tanto los datos ráster de NDVI de cada fecha, como las diferencias obtenidas entre los periodos evaluados pueden ser organizados en histogramas, que representan la frecuencia de aparición de cada dato en un rango e.g (Figura 5), ubicándose para nuestro caso los valores de NDVI o su diferencia en el eje X y la frecuencia de repetición del dato o rango en el eje Y. Se decidió llevar a cabo una clasificación univariante o de histograma para identificar patrones de distribución espacial, teniendo en cuenta únicamente los datos de entrada (NDVI fijo o diferencias de NDVI de cada periodo según sea el caso). La clasificación se realizó en Arcgis bajo el esquema “Standard deviation” que parte de la media y la desviación estándar de los valores de los atributos, clasificándolos según su desviación de la media (transformada Z). Los valores fueron mapeados con 1,0 desviación estándar para cada ráster (Smith et al., 2021)

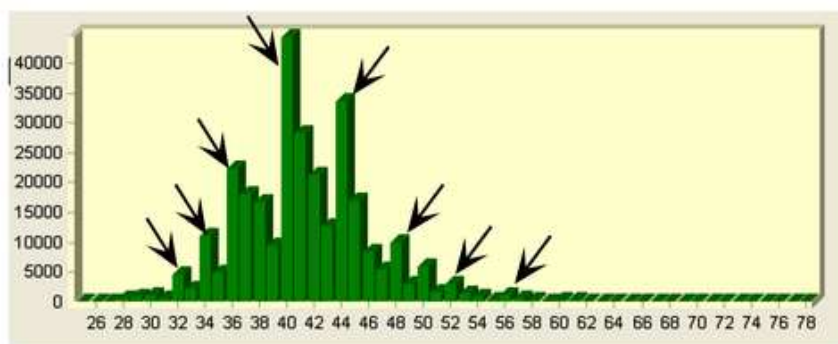


Figura 5. Ejemplo de histograma de una banda multispectral de una imagen SPOT. Tomado de: (Smith et al., 2021)

2.4 Área de estudio

Los manglares de Providencia y Santa Catalina fueron fuertemente afectados por el paso del huracán Iota en el 2020. De acuerdo con los monitoreos realizados en la Expedición Cangrejo negro, el 23% de la cobertura de manglar fue clasificada como fuertemente afectada mientras que el 56% y 21% de la extensión de manglar se identificó como medianamente y poco afectada, respectivamente (INVEMAR, 2021). De las especies de manglar que se desarrollan en la isla la más afectada fue el mangle rojo, *R. mangle* y las zonas donde predomina esta especie, como en el PNN Old Providence McBean Lagoon, Jones Old Point, Santa Catalina y, fueron las que sufrieron los mayores impactos comprometiéndose la regeneración natural (Figura 6).

Debido a la grave afectación sufrida por la vegetación y los manglares de la isla tras el impacto del huracán Iota, la isla fue incluida prioritariamente en la meta presidencial de 180 millones de árboles. Durante este programa, en base a los resultados obtenidos durante la expedición Cangrejo Negro y una salida de campo de monitoreo en mayo 2021 se realizó el diagnóstico socioambiental de la isla. A partir de este se diseñó el Plan de rehabilitación de los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina tras el paso del huracán IOTA (Sánchez-Núñez et al., 2021).

Dicho plan propuso una serie de actividades dirigidas a las zonas de manglar priorizadas y al fortalecimiento de la gobernanza ambiental para potenciar el éxito de las actividades de restauración propuestas, así mismo estableció metas e indicadores para evaluar el éxito de las medidas de rehabilitación diseñadas en el corto y mediano plazo.

Con el propósito de actualizar el plan de rehabilitación diseñado, revisar el estado actual de las áreas de manglar y evaluar el avance en los procesos de rehabilitación en las zonas en donde se implementaron algunas de las acciones de rehabilitación propuestas en el plan (siembra de plantas), se realizaron durante los meses de octubre y noviembre del 2023 dos salidas de campo y dos talleres con la comunidad y los actores locales para la actualización de la caracterización socioambiental de las islas sobre la realizada en el 2021.

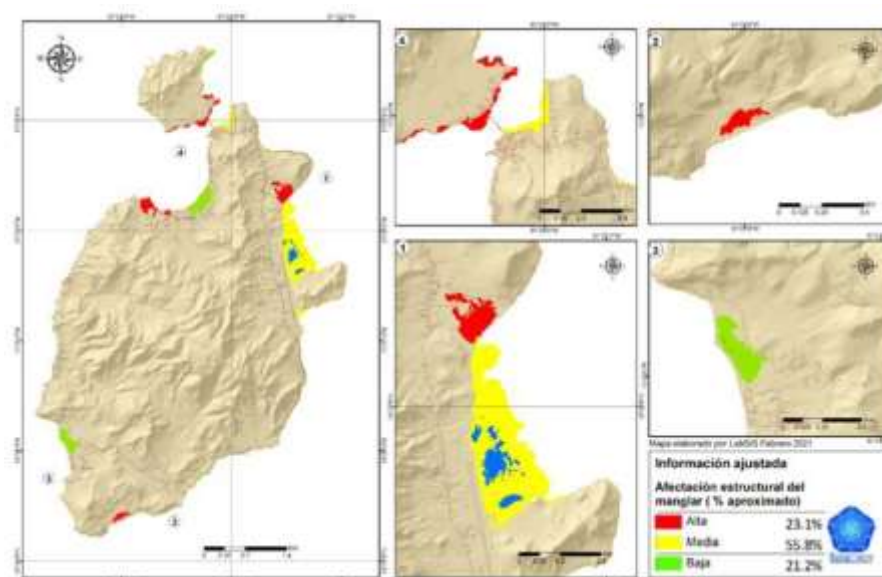


Figura 6. Calificación cualitativa del impacto global del huracán IOTA en los manglares de Providencia y Santa Catalina afectada por el huracán IOTA. En rojo con afectación alta: norte del Parque McBean Lagoon, Manchineel Bay, Southwest Bay y Santa Catalina. Con afectación media: parque McBean Lagoon, Jones Point Town. Tomado de INVEMAR 2021.

A continuación, se presentan las coordenadas geográficas de cada parcela evaluada en el PNN Old Providence McBean Lagoon y área priorizada en las islas (Figura 7 y Tabla 2).

Posteriormente se describen los principales hallazgos en las parcelas del PNN Old Providence McBean Lagoon según su clasificación (referencia, degradada con intervención y degradada sin intervención) y los parámetros fisicoquímicos en las áreas de manglar de menor priorización.

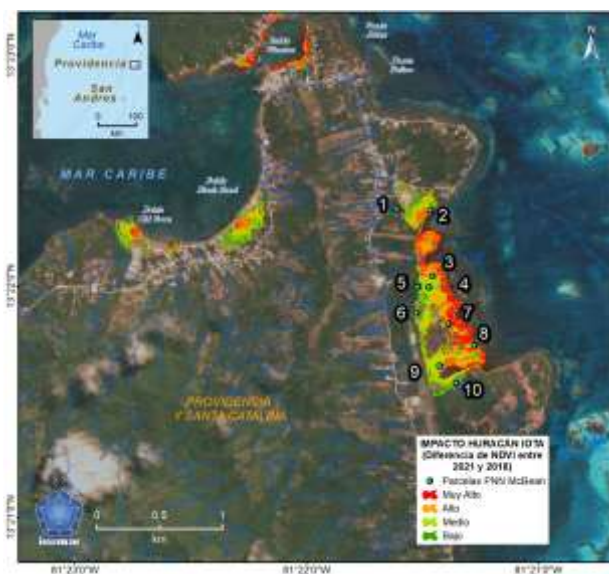


Figura 7. Ubicación de las parcelas en el área del PNN Old Providence McBean Lagoon en la Isla de Providencia – Colombia

Tabla 2. Ubicación geográfica de las parcelas y áreas de manglar evaluadas para la actualización del plan de rehabilitación de las islas de Providencia y Santa Catalina – Colombia.

Estación			Parcela	Latitud	Longitud
PNN Old Providence McBean Lagoon			Parcela 1	13°22'20,2"N	81°21'36,6"W
			Parcela 2	13°22'19,8"N	81°21'28,0"W
			Parcela 3	13°22'02,7"N	81°21'27,4"W
			Parcela 4	13°21'59,8"N	81°21'28,4"W
			Parcela 5	13°21'59,9"N	81°21'31,1"W
			Parcela 6	13°21'35,0"N	81°21'21,3"W
			Parcela 7	13°21'50,3"N	81°21'23,2"W
			Parcela 8	13°21'44,8"N	81°21'16,6"W
			Parcela 9	13°21'39,4"N	81°21'25,6"W
			Parcela 10	13°21'53,08"N	81°21'31,5"W
Manzanillo				13°19'25,2"N	81°23'0,01"W
Santa Catalina			Inicio	13°22'58,2"N	81°22'18,1"W
			Centro	13°22'58,6"N	81°22'15,4"W
			Norte	13°23'09,5"N	81°22'09,7"W

Jones Point	Inicio	13°22'56,6"N	81°22'06,2"W
	Centro	13°22'59,5"N	81°21'59,6"W
	Norte	13°23'02,2"N	81°22'00,1"W
Black Sand Bay		13°22'17,8"N	81°22'13,7"W

3 CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS ÁREAS PRIORIZADAS

3.1 Aspectos Biofísicos

Durante el mes de octubre de 2023 se realizaron talleres con la comunidad y actores institucionales locales para el ajuste del plan de rehabilitación de los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina. Durante este ejercicio dentro de todas las áreas de manglar presentes en ambas islas, la comunidad y los actores locales seleccionaron el Parque Nacional Natural (PNN) Old Providence McBean Lagoon como el área de mayor importancia para la implementación de las acciones de rehabilitación, pues fue la zona más afectada tras el paso del huracán IOTA en el año 2020 y a la importancia de su papel ecológico dentro de las islas (Anexo 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3).

Debido a la necesidad de conocer el estado actual del bosque de mangles del PNN Old Providence McBean Lagoon se llevó a cabo el diagnóstico biofísico integral del área total de manglar, implementando el diseño de muestreo descrito en la metodología general.

El monitoreo de las variables fisicoquímicas, la regeneración natural y la estructura del bosque se realizó en 9 de las 10 parcelas permanentes de crecimiento, establecidas en el área del parque. Esto con el objetivo de fortalecer y concentrar los esfuerzos de monitoreo en el área. Cada una de las parcelas fue clasificada en una de las tres categorías propuestas en este documento (área de referencia, área degradada con intervención y área degradada sin intervención) siguiendo como referencia el índice NDVI calculado en el 2021 y validado posteriormente en campo y con la actualización del índice NDVI para el año 2023.

Aunque el ejercicio de priorización determinó al PNN Old Providence McBean Lagoon como el área de mayor importancia para la rehabilitación, la comunidad y los otros actores locales establecieron una categoría más baja de priorización a algunas zonas de manglar presentes en las islas las cuales fueron: Manzanillo, Santa Catalina, Jones Point y Black Sand Bay. En dichas zonas se realizó el monitoreo de las variables fisicoquímicas tanto en agua superficial como intersticial y se identificaron los tensores descritos por la comunidad.

3.1.1 Caracterización parcelas de referencia

Las parcelas de referencia o en buen estado evidencian una lenta recuperación luego de tres años del paso del huracán IOTA, esto derivado de las alteraciones hidrológicas, la

hipersalinización de los suelos, la afectación de la regeneración natural demostrada por la baja producción de propágulos y plántulas causadas por el ciclón (Sánchez-Núñez et al., 2021). En este sentido, las especies de manglar continúan en proceso de adaptación a la dinámica ambiental actual, lo cual se refleja la ausencia de individuos de *R. mangle* y *L. racemosa* en las áreas de referencia. Por otro lado, se evidencian alturas promedio de los individuos de *A. germinans* menores a 4,5 m de altura y DAP entre 3 y 11 cm, lo cual indica la presencia de árboles de tallas bajas o juveniles no reproductivos que ocupan un área basal mínima (Tabla 3). Aunque la parcela No. 10 se presenta como un área de referencia dentro del parque basados en el índice NDVI del año 2021, la presencia de árboles adultos es nula, lo que sigue siendo consecuencia de la alteración de los factores ambientales originada por IOTA. Aunque en ninguna de las parcelas evaluadas se presentan árboles vivos de *L. racemosa* y *R. mangle*, es importante destacar su presencia en áreas aledañas a las mismas.

Tabla 3. Variables estructurales de las Parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). AG: *Avicennia germinans*.

Parcela	Especie	Individuos	Altura	DAP	Área Basal/ha	Densidad/ha
1	AG	4	4,21 $\pm$ 0,34	3,03 $\pm$ 0,28	0,02 $\pm$ 0,004	44,44
5	AG	21	4 $\pm$ 0,70	11,07 $\pm$ 2,31	0,33 $\pm$ 0,16	233,33
10	N/A	0	0	0	0	0

Por otro lado, los valores del IVI solo lograron calcularse para *A. germinans* lo que se asocia a la ausencia de las demás especies dentro de las parcelas (Tabla 4). El valor más alto de IVI se presentó en la parcela 5 donde el número de individuos de *A. germinans* fue mayor respecto a la parcela 1, esto puede indicar que las condiciones ambientales dentro de dicha parcela son más apropiadas para el desarrollo de la especie. Estos resultados pueden inferir un menor crecimiento de los individuos de *A. germinans* ocasionado por el proceso de adaptación a las condiciones del medio posteriores al huracán IOTA.

Tabla 4. Índice de valor de importancia para especies de las parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon

Parcela	Especie	Abundancia Absoluta	Abundancia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Dominancia absoluta	Dominancia relativa	IVI %
1	AG	4	48	1	150	0,00	20,18	72,73
5	AG	21	252	1	150	0,01	279,82	227,27
10	N/A	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
	Total	25	300	2	300	0,01	300	300

En cuanto a la regeneración natural, la densidad de propágulos fue de 1 propágulo/m² de la especie *A. germinans* en la parcela 5. En el caso de las parcelas 1 y 10 no se reportó presencia de propágulos (Tabla 5). Este resultado muestra una afectación directa en la capacidad de producción de propágulos la cual puede ser causada por dos situaciones: primero, la muerte de los individuos reproductivos de cada especie de manglar posterior al paso del huracán IOTA, los cuales no han logrado recuperarse después de tres años y/o segundo, por el cambio de las variables fisicoquímicas a nivel intersticial y superficial, donde modificaciones en la salinidad generan estrés fisiológico, alterando el desarrollo de los individuos (Elster et al., 1999; Van der Stocken et al., 2019).

Respecto a la densidad de plántulas en las parcelas de regeneración natural, se encontraron solo 3 individuos de *A. germinans* en la parcela, y 1 en la parcela 5, indicando una baja proporción de individuos en las áreas de referencia, para estos individuos las alturas oscilaron entre 203,75 ± 92,82 a 85 cm mientras que el diámetro promedio del tallo fue de 2,55 ± 1,19 a 1 cm. Este resultado puede indicar una afectación en el crecimiento y supervivencia de las plántulas de las especies de manglar asociadas a los cambios en la salinidad intersticial y superficial, derivados del efecto del huracán IOTA, donde el estrés causado por la variación en los factores fisicoquímicos altera constantemente la fisiología de los individuos de manglar, llevando a su colapso durante el asentamiento (Elster et al., 1999; Van der Stocken et al., 2019). Sin embargo, la presencia de un número reducido de plántulas de *A. germinans* puede indicar que la especie está en un proceso lento de recolonización del área, lo cual puede asociarse a la capacidad de la misma de tolerar valores altos de salinidad (Tabla 5) y la fluctuación de la misma llegando incluso a ser resistente frente a la hipersalinización (Tomlinson, 1986).

Tabla 5. Atributos de regeneración natural para las parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$).

Parcela	Especie	Propágulos/ m ²	Plántulas/ m ²	Altura plántulas (cm)	Diámetro tallo (cm)	Inundación (cm)
1	AG	0	3 ± 0,58	203,75 ± 92,82	2,55 ± 1,19	2,67 ± 0,58
5	AG	1	1	85	1	N/A
10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Los resultados de las variables fisicoquímicas evidencian salinidades promedio entre 9,37 ± 2,53 a 28,07 a nivel superficial y entre 16,55 ± 11,96 a 45,51 ± 17,44 a nivel intersticial (Tabla 6). Esto puede denotar alta variabilidad en la obtención del recurso hídrico dentro de las diferentes parcelas, generando un ambiente muy variable para la recuperación y el asentamiento de nuevas plántulas, afectando el crecimiento de los individuos y la producción de propágulos. Todo debido a la incidencia de la salinidad como factor de estrés hídrico en las especies de manglar que limita el crecimiento y la productividad de las plantas (Boughalleb et

al., 2009) alterando los procesos bioquímicos y fisiológicos (Serrato et al., 1991; Zeng & Shannon 2000) (Figura 8).

Los valores promedio de temperatura tanto para agua intersticial como superficial oscilan entre 29°C a 34°C, lo que evidencia una temperatura óptima de crecimiento ya que no se ve alterada la tasa fotosintética (Noor et al., 2015), lo que permite inferir que este factor fisicoquímico no está afectando el crecimiento y la producción de propágulos de las parcelas de referencia.

En el caso del pH, los valores promedio oscilan entre $6,97 \pm 0,25$ a $8,56 \pm 0,32$ en agua superficial y de $6,53 \pm 0,20$ a $7,91 \pm 0,73$ en agua intersticial (Tabla 6), indicando que este factor puede no estar incidiendo en el crecimiento de individuos y propágulos de las especies de manglar, pues el pH de los suelos y agua de manglar tiende a ser neutro a ligeramente ácido debido a la acción de las bacterias reductoras de azufre y las arcillas ácidas de los suelos, donde no se ve afectada la asimilación de nitrógeno y fósforo (Pazi et al., 2016; Wakushima et al., 1994; Joshi et al., 2003).

En el caso del Potencial ORP los valores promedio en agua tanto superficial como intersticial fueron muy variables, lo cual indica una alteración constante de la presencia de oxígeno. Para el agua intersticial el potencial ORP osciló entre $3,98$ a $71,83 \pm 6,77$, determinando presencia de oxígeno en el agua asociada a las lluvias (Reddy y DeLaune, 2008). Respecto al agua intersticial el potencial ORP osciló entre $-15,07 \pm 51,99$ y $39,17 \pm 17,18$, indicando presencia de oxígeno en el agua intersticial de las parcelas 1 y 10, lo cual podría favorecer los procesos de rehabilitación de manglar. El valor negativo del Potencial ORP en la parcela 5 indica anoxia en los suelos y una mayor presencia de sulfuros y metano, afectando el desarrollo de las plántulas de manglar (Reddy y DeLaune, 2008; Rodríguez-Zúñiga et al., 2018), pero siendo adecuado para el mantenimiento de los individuos adultos de *A. germinans*, lo que puede explicar la presencia de un mayor número de árboles presentes en esta parcela.

El nivel de inundación para las tres parcelas tuvo un rango de 1 a $3,83 \pm 2$ cm, esto establece que una lámina de agua delgada cubre las parcelas, lo cual explica la presencia de oxígeno reportada por las mediciones del potencial ORP.

Tabla 6. Variables fisicoquímicas para las parcelas de Referencia establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). * Parcelas con $n=1$.

Parcela	Nivel	Salinidad	T (°C)	pH	ORP	Inundación (cm)
1	Superficial	$16,68 \pm 11$	$29,22 \pm 2$	$6,97 \pm 0,25$	$35,20 \pm 21$	$3,83 \pm 2$
	Intersticial	$37,58 \pm 17,03$	$30,82 \pm 3,30$	$6,76 \pm 0,24$	$39,17 \pm 17,18$	
5*	Superficial	28,07	29,69	7,43	3,98	1
	Intersticial	$45,51 \pm 17,44$	$29,63 \pm 0,24$	$6,53 \pm 0,20$	$-15,07 \pm 51,99$	
10*	Superficial	$9,37 \pm 2,53$	$34,68 \pm 0,16$	$8,56 \pm 0,32$	$71,83 \pm 6,77$	$1,17 \pm 0,29$

Intersticial	16,55 ± 11,96	32,76 ± 0,98	7,91 ± 0,73	11,60 ± 74,33
--------------	---------------	--------------	-------------	---------------



Figura 8. Vista general de las parcelas de referencia monitoreadas a: parcela 1, b: parcela 5, y c: parcela 10

Respecto a los análisis de suelos no se observa una variación significativa de las propiedades fisicoquímicas entre las parcelas ni entre las profundidades (Figura 9). En el caso de la textura, se evidencia un mayor porcentaje de arenas en las tres parcelas y a las tres profundidades (Figura 9d). En cuanto a la acumulación de carbono en los suelos, los estimados indican que para la parcela 5 existe el mayor stock de carbono en relación a las parcelas de referencia (50,81 MgCorg ha⁻¹) y el menor stock se presenta en la parcela 1 (31,28 MgCorg ha⁻¹) (Figura 10). Este resultado puede estar asociado a la abundancia de individuos de manglar por parcela, demostrando que, aunque en la parcela 5 solo están presentes 21 individuos arbóreos de *A. germinans*, estos siguen prestando el servicio de acumulación de carbono en el ecosistema.

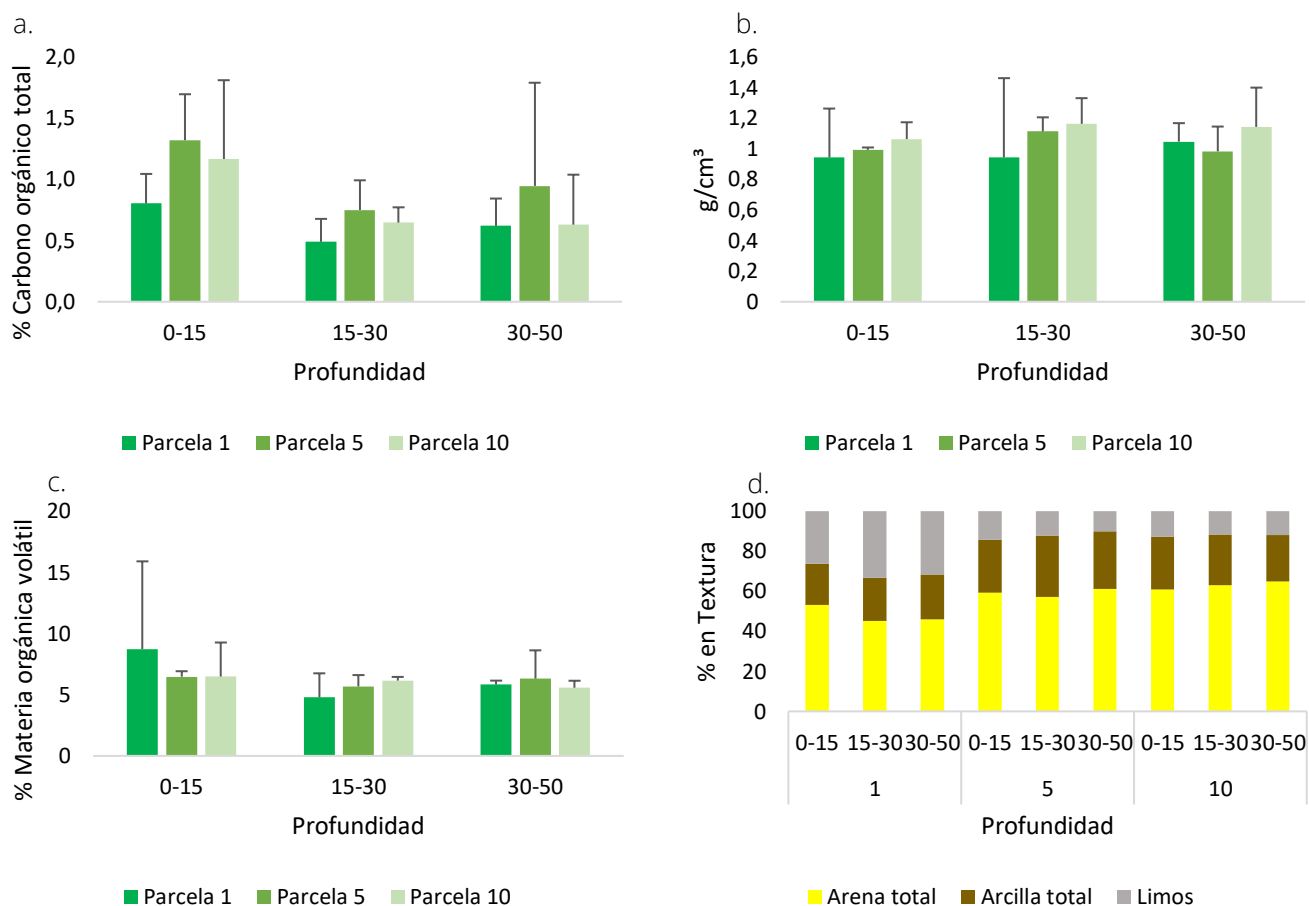


Figura 9. Análisis físicoquímicos en los suelos de las parcelas de referencia. a: % de Carbono orgánico total, b: densidad aparente, c: % de materia orgánica volátil y d: % por textura en las parcelas de referencia

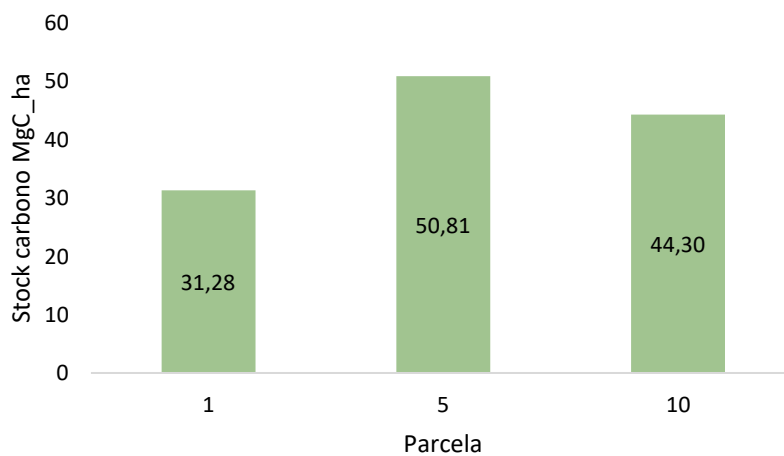


Figura 10 Reserva de carbono en los sedimentos hasta 50 cm de profundidad de las parcelas de referencia.

3.1.2 Caracterización parcelas degradadas con intervención

En las parcelas degradadas con intervención o en mal estado la disponibilidad de propágulos fue de 4 por m² en la parcela 3 y de la especie *A. germinans*, en el caso de las parcelas 2 y 7 no hubo presencia de propágulos de ninguna de las especies (Tabla 7). Estos resultados indican una muy baja disponibilidad de propágulos para la regeneración natural dentro de las áreas degradadas. Esto puede estar relacionado con los cambios de salinidad y disponibilidad de oxígeno en aguas superficiales e intersticiales que se han mantenido después del efecto del huracán IOTA en esta zona.

En el caso de la densidad de plántulas, se encontraron individuos de *R. mangle* en las parcelas 3 y 7 (tres y uno respectivamente) cuya altura osciló entre 75,22 ± 15,50 y 81,75 ± 31,48 cm y el diámetro del tallo entre 1,18 ± 0,21 y 1,58 ± 0,36 cm, demostrando un bajo crecimiento y baja producción de descendencia de la especie, asociada a la afectación ambiental producida por el paso del huracán IOTA, la cual puede haber influenciado la disponibilidad de agua dulce y oxígeno, afectando la supervivencia y crecimiento de la especie (Elster et al., 1999; Van der Stocken et al., 2019).

Tabla 7. Atributos de regeneración natural para las parcelas degradadas con intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). RM: *Rhizophora mangle*, AG: *Avicennia germinans*.

Parcela	Especie	Propágulos /m ²	Plántulas /m ²	Altura plántulas (cm)	Diámetro tallo (cm)	Inundación (cm)
2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3	RM	0	3 ± 1,73	75,22 ± 15,50	1,58 ± 0,36	0
7	AG	4	N/A	N/A	N/A	N/A
	RM	0	1 ± 1,53	81,75 ± 31,48	1,18 ± 0,21	N/A

Dentro de las parcelas degradadas con intervención, la salinidad promedio superficial varió entre 15,84 ± 2,07 a 28 ± 5 indicando agua salobre, mientras que la salinidad promedio intersticial se mantuvo entre 33,14 ± 1,20 a 40,54 ± 3,74 indicando valores euhalinos a nivel intersticial, Esto se asocia en primera medida a la disponibilidad de agua dulce, ya que cerca de las parcelas no se identificaron cursos de agua dulce. Por otro lado, debido a la pérdida de cobertura del dosel ocasionada por el paso del huracán IOTA en 2020 y que hasta el momento no ha logrado recuperarse, la incidencia de la luz solar directa sobre el suelo acelera la evaporación del agua aumentando la acumulación de sales a nivel del suelo y agua superficial e intersticial, ocasionando las condiciones actuales. Esta alteración de la salinidad afecta el crecimiento y la supervivencia de los individuos de manglar (Parida & Jha, 2020), generando un proceso lento en la recuperación del bosque, lo cual puede estar asociado a la poca disponibilidad de propágulos y de plántulas de las diferentes especies.

En cuanto a la temperatura promedio esta tuvo una variación entre $30,75 \pm 0,77$ a 39 ± 2 °C a nivel superficial y de $30,36 \pm 0,19$ a $34,68 \pm 1,58$ °C a nivel intersticial (Tabla 8), indicando valores óptimos que no afectan la producción radicular de las plántulas en crecimiento, ni la tasa fotosintética de las mismas (Noor et al., 2015; Gillis et al., 2019), lo que permite inferir que este factor no está influyendo en el crecimiento y supervivencia de los individuos.

Respecto al pH, los valores promedio oscilaron entre $6,84 \pm 0,61$ a $7,74 \pm 0,26$ en agua superficial y de $6,48 \pm 0,12$ a $6,61 \pm 0,01$ en agua intersticial (Tabla 8), evidenciando valores ligeramente ácidos a neutros indicando una baja alteración en la asimilación de nutrientes, lo cual puede indicar que este factor no está afectando la supervivencia y el crecimiento de los individuos de las parcelas (Pazi et al., 2016; Wakushima et al., 1994; Joshi et al., 2003).

De acuerdo a los valores promedio del potencial ORP en agua tanto superficial como intersticial presentan deficiencia de oxígeno (Tabla 8), siendo este más limitado en agua intersticial ($-71,10 \pm 240,98$ a $-265,90 \pm 4,95$) frente al agua superficial (-13 ± 82 a $-77,2 \pm 55$). Este resultado indica anoxia en los suelos lo cual puede asociarse a una mayor presencia de sulfuros y metano, afectando el desarrollo de las plántulas de mangles (Reddy y DeLaune, 2008; Rodríguez-Zúñiga et al., 2018) y al anegamiento causado por la lámina de agua formada por el agua superficial, la cual se explica por el nivel de inundación encontrado dentro de las parcelas ($2,1 \pm 2$ a 31 ± 25 cm).

Tabla 8. Variables fisicoquímicas para las parcelas de degradadas con intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$).

Parcela	Nivel	Salinidad	T (°C)	pH	ORP	Inundación (cm)
2	Superficial	28 ± 5	$30,75 \pm 0,77$	$7,36 \pm 0,38$	$-77,2 \pm 55$	31 ± 25
	Intersticial	$33,14 \pm 1,20$	$30,36 \pm 0,19$	$6,50 \pm 0,03$	$-224,67 \pm 7,39$	
3	Superficial	23 ± 2	39 ± 2	$6,84 \pm 0,61$	-13 ± 82	$2,1 \pm 2$
	Intersticial	$39,36 \pm 3,27$	$34,68 \pm 1,58$	$6,48 \pm 0,12$	$-71,10 \pm 240,98$	
7	Superficial	$15,84 \pm 2,07$	$35,84 \pm 1,58$	$7,74 \pm 0,26$	$-31,97 \pm 25,40$	$3,77 \pm 1,57$
	Intersticial	$40,54 \pm 3,74$	$31,19 \pm 0,17$	$6,61 \pm 0,01$	$-265,90 \pm 4,95$	

Respecto a los análisis de suelos se observa una diferencia considerable de la acumulación de carbono orgánico entre las parcelas, siendo las de mayor acumulación las parcelas 3 y 7 y la de menor acumulación la parcela 2. Esta diferencia es mayor a profundidad de 30 a 50, donde la acumulación de carbono orgánico total es diez veces mayor en la parcela 7 frente a la parcela 2 (Figura 11a). Respecto a la densidad aparente se observa una variación leve entre las parcelas a las tres profundidades, siendo esta más notoria en la parcela 2 donde la densidad es mayor a menor profundidad (Figura 11b). En cuanto al porcentaje de materia orgánica volátil, se evidencia un mayor porcentaje en la parcela 7 a mayor profundidad (65%), mientras que para las demás parcelas y profundidades el porcentaje varió entre 35 a 52% (Figura 11c). En el caso

de la textura, se evidencia un mayor porcentaje de arenas en las tres parcelas y a las tres profundidades (Figura 11d.).

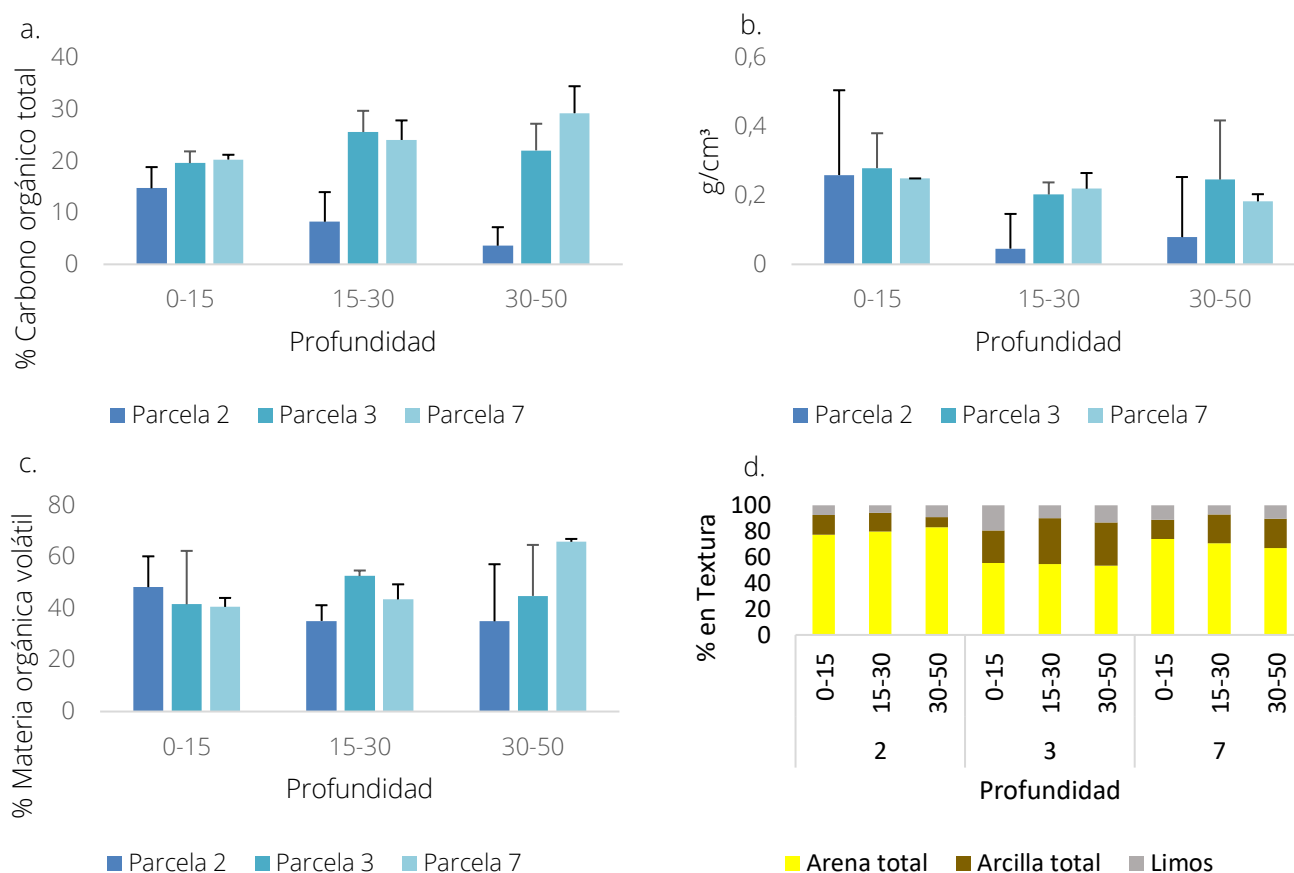


Figura 11. Análisis físico químicos en los suelos de las parcelas degradadas con intervención. a: % de Carbono orgánico total, b: densidad aparente, c: % de materia orgánica volátil y d: % por textura en las parcelas degradadas con intervención

Respecto a la acumulación de carbono en los suelos, los estimados indican que para la parcela 3 existe el mayor stock de carbono en relación con las parcelas degradadas con intervención (269,77 MgCorg ha⁻¹) y el menor stock se presenta en la parcela 2 (69,02 MgCorg ha⁻¹) (Figura 12). Este resultado puede asociarse a diversos factores ambientales (cobertura de la vegetación, geomorfología, inundación, el régimen hidrológico y la influencia antrópica) (Pérez et al., 2018), indicando que el área puede estar presentando condiciones óptimas para el almacenamiento de carbono las cuales aún se conservan después del paso del huracán IOTA. Esto en parte se debe a que siguen siendo suelos con capacidad de mantenerse en estado anaeróbico por la lámina de agua que los cubre, evitando la degradación de materia orgánica y favoreciendo la acumulación de carbono (Perdomo et al., 2021; Howard et al., 2014; Komiyama et al., 2008; McKee, 2011).

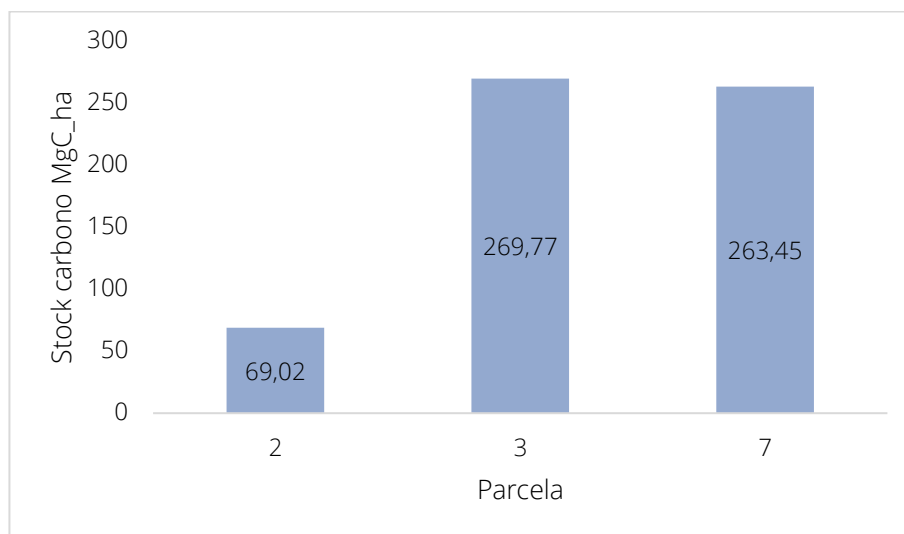


Figura 12. Reserva de carbono en los sedimentos hasta 50 cm de profundidad de las parcelas degradadas con intervención.

3.1.3 Caracterización parcelas degradadas sin intervención

En las parcelas degradadas sin intervención o degradadas la disponibilidad de propágulos fue de $1 \pm 0,58\text{m}^2$ en la parcela 4 y de la especie *A. germinans*. En cuanto a las parcelas 8 y 9 no hubo presencia de propágulos de ninguna de las especies (Tabla 9). Estos resultados indican una disponibilidad de propágulos casi nula, afectando por completo los procesos de regeneración natural de las parcelas degradadas sin intervención, lo cual puede estar relacionado con los cambios de salinidad, la disponibilidad de agua dulce y oxígeno en agua superficial e intersticial, condiciones que han prevalecido después del paso del huracán IOTA (Figura 13). Sumado a ello, es importante recalcar la baja presencia de cursos de agua dulce en el área, que afecta directamente el crecimiento y desarrollo de los individuos de manglar, generando una baja producción de propágulos.

Tabla 9. Atributos de regeneración natural para las parcelas degradadas sin intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). RM: *Rhizophora mangle*, AG: *Avicennia germinans*.

Parcela	Especie	Propágulos /m ²	Plántulas/ m ²	Altura plántulas (cm)	Diámetro tallo (cm)	Inundación (cm)
4	AG	$1 \pm 0,58$	1	$66,67 \pm 56,86$	$1,27 \pm 0,59$	$1,93 \pm 1,79$
8	RM	0	1	104	1,1	N/A
9	RM	0	$1 \pm 1,73$	$65,33 \pm 14,50$	$1,10 \pm 0,17$	N/A
	AG	0	$2 \pm 2,08$	$122,57 \pm 98,01$	$1,56 \pm 0,81$	N/A

En cuanto a la densidad de plántulas, se encontraron individuos de *R. mangle* en las parcelas 8 y 9 (un individuo por parcela) cuya altura osciló entre $65,33 \pm 14,50$ y 104 cm y el diámetro del tallo entre $1,1$ y $1,10 \pm 0,17$ cm. Esto demuestra un bajo crecimiento y poca descendencia de la especie la cual puede asociarse a la afectación ambiental ocasionada por el huracán IOTA, la cual altero los factores fisicoquímicos del medio. Por otro lado, siendo plántulas expuestas a la luz solar de forma directa, se ve afectada la tasa fotosintética, llevando a un bajo crecimiento y cambios en la supervivencia de la especie (Lopez-Hoffman et al., 2007). En cuanto a las plántulas de la especie *A. germinans*, se encontró 1 individuo en la parcela 4 y 2 en la parcela 9, cuya altura osciló entre $66,67 \pm 56,86$ y $122,57 \pm 98,01$ cm y el diámetro del tallo entre $1,27 \pm 0,59$ a $1,56 \pm 0,81$ cm. Este resultado también indica una afectación en la tasa de regeneración natural de la especie dentro de las parcelas degradadas representada en una baja supervivencia de individuos y un lento crecimiento. Esto puede estar asociado a la afectación ambiental ocasionada por Iota, a la exposición directa de la luz solar y a la afectación de la disponibilidad de agua dulce.

Tabla 10. Variables fisicoquímicas para las parcelas de degradadas sin intervención establecidas dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$). * Parcelas con $n=1$.

Parcela	Nivel	Salinidad	T (°C)	pH	ORP	Inundación (cm)
4	Superficial	35 ± 13	38 ± 2	$6,88 \pm 0,29$	-108 ± 3	3 ± 1
	Intersticial	$51,93 \pm 13,90$	$33,78 \pm 1,02$	$6,41 \pm 0,08$	$-246,77 \pm 4,71$	
8*	Superficial	33,6	29,13	6,9	-19,3	10,5
	Intersticial	$34,54 \pm 0,76$	$30,32 \pm 0,24$	$6,63 \pm 0,16$	$-210,15 \pm 5,75$	
9	Superficial	$15,86 \pm 6,87$	$29,56 \pm 0,49$	$6,87 \pm 0,23$	$-152,65 \pm 9,97$	1
	Intersticial	$52,27 \pm 4,15$	$36,72 \pm 5,30$	$6,64 \pm 0,09$	$-231,53 \pm 5,69$	

Respecto a las variables fisicoquímicas la salinidad promedio osciló entre $15,86 \pm 6,87$ a 35 ± 13 en el agua superficial y entre $34,54 \pm 0,76$ a $52,27 \pm 4,15$ en agua intersticial (Tabla 10). Lo cual indica una condición salobre a euhalina en agua superficial y una condición euhalina en agua intersticial. Esto puede estar relacionado con la falta de flujo hídrico de agua dulce cerca de las parcelas, la incidencia directa del sol sobre el sedimento que aceleran el proceso de evaporación, generando condiciones de estrés hídrico para las plántulas en crecimiento (Parida & Jha, 2020), llevando posiblemente a una reducción de supervivencia para las plántulas de las diferentes especies de manglar, lo cual es corroborado por el bajo número de plántulas y propágulos de las especies *R. mangle* y *A. germinans* dentro de las áreas degradadas.

Respecto a la temperatura promedio (Tabla 10), tanto el agua superficial como la intersticial presentaron valores óptimos para el crecimiento de las especies de manglar, la elongación radicular y la tasa fotosintética ($29,13$ a 38 ± 2 °C en agua superficial y $30,32 \pm 0,24$ a $36,72 \pm 5,30$ °C en agua intersticial) (Noor et al., 2015; Gillis et al., 2019). Este resultado puede indicar que este factor no está generando afectación en la producción de propágulos y plántulas. Una

situación similar se presenta con el pH en agua superficial e intersticial, ya que los valores promedio indican suelos ligeramente ácidos a neutros ($6,87 \pm 0,23$ a $6,9$ en agua superficial y $6,41 \pm 0,08$ a $6,64 \pm 0,09$ en agua intersticial), generando una baja alteración en la asimilación de nutrientes, sin afectación del crecimiento de plántulas y producción de propágulos dentro de las parcelas. En cuanto al potencial ORP promedio en agua tanto superficial como intersticial se observan valores altos y negativos indicando una posible deficiencia de oxígeno (Tabla 10) donde este es más escaso en agua intersticial ($-210,15 \pm 5,75$ a $-246,77 \pm 4,71$) frente al agua superficial ($-19,3$ a $-152,65 \pm 9,97$), lo cual indica anoxia asociada posiblemente a una mayor cantidad de sulfuros y metano en el suelo (Reddy y DeLaune, 2008; Rodríguez-Zúñiga et al., 2018) y al anegamiento causado por la lámina de agua formada por el nivel de inundación presente en las parcelas degradadas (1 a 10,5 cm).

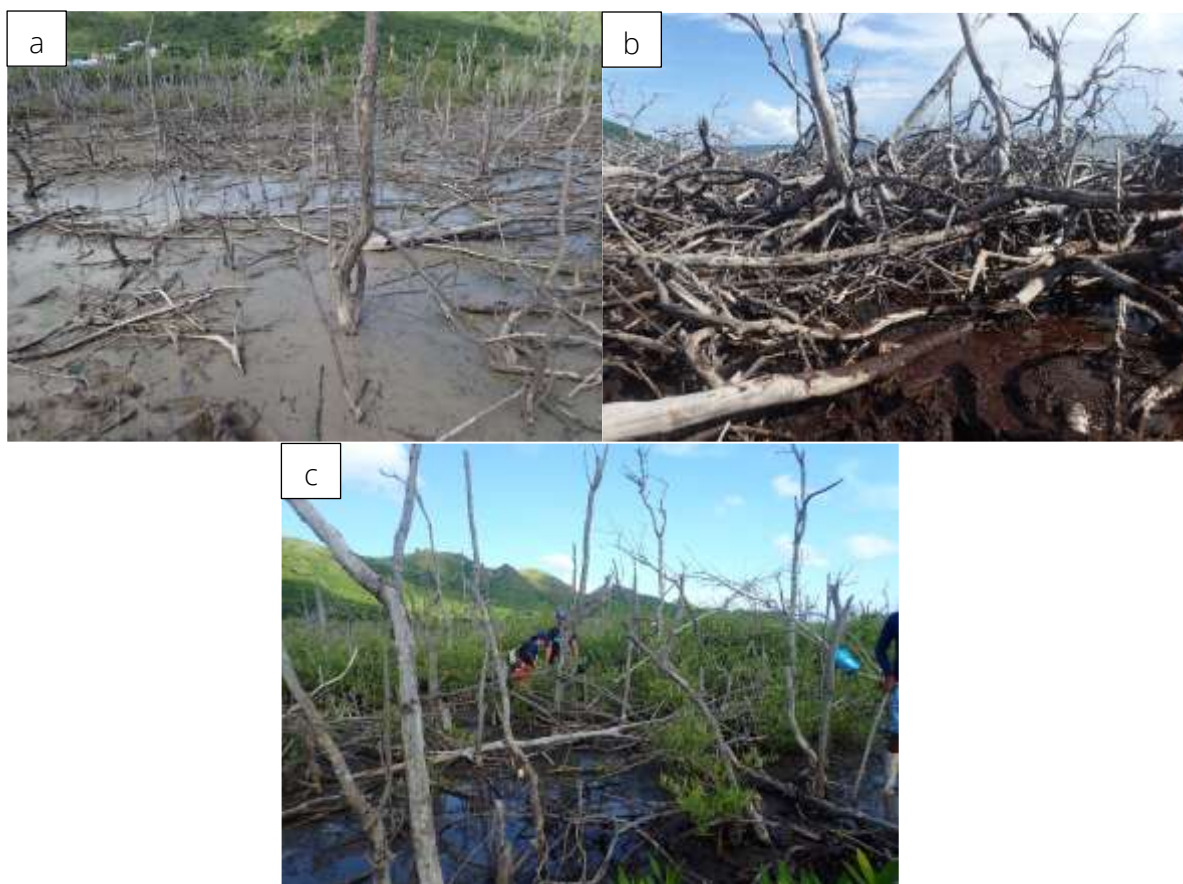


Figura 13. Vista general de las parcelas degradadas monitoreadas a: parcela 4, b: parcela 8, y c: parcela 9.

Respecto a los análisis de suelos se observa una diferencia considerable de la acumulación de carbono orgánico entre las parcelas, siendo la de mayor acumulación la parcelas 8 y la de menor acumulación la parcela 4. En cuanto a la acumulación de carbono por profundidad, se observa que la mayor acumulación se presenta a mayores profundidades (Figura 14a).

Respecto a la densidad aparente se observa una variación leve entre las parcelas a las tres profundidades, siendo esta más notoria en la parcela 4 donde la densidad es mayor a menor profundidad (Figura 14 b). En cuanto al porcentaje de materia orgánica volátil, se evidencia un mayor porcentaje en la parcela 8, mientras que el menor porcentaje se presenta en la parcela 4 (Figura 14 c). En el caso de la textura, se evidencia un mayor porcentaje de arenas en las tres parcelas y a las tres profundidades (Figura 14 d.) con la excepción de la parcela 4 donde a la profundidad de 30 a 50 cm se presenta un mayor porcentaje de arcillas.

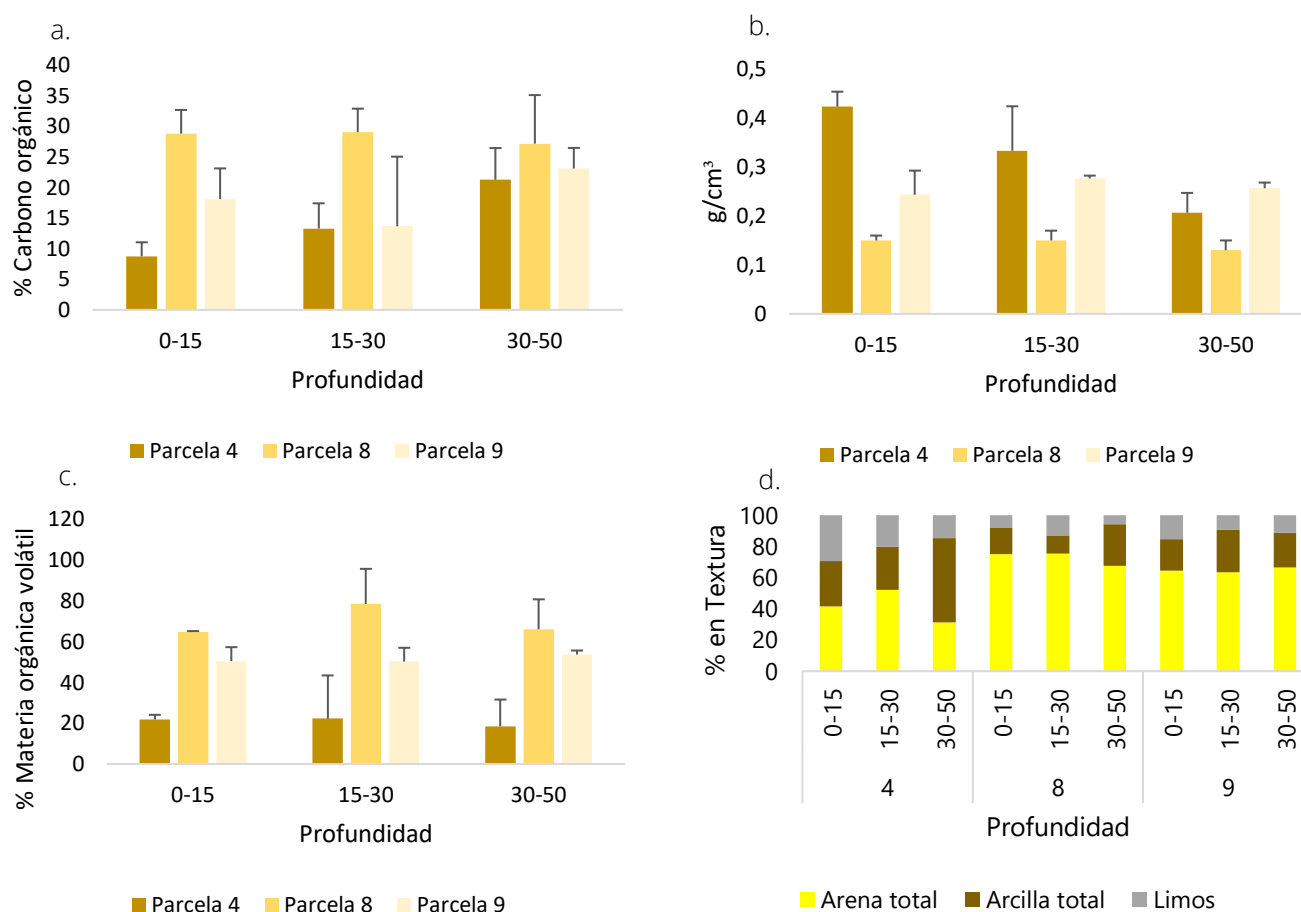


Figura 14. Análisis físico químicos en los suelos de las parcelas degradadas sin intervención. a: % de Carbono orgánico total, b: densidad aparente, c: % de materia orgánica volátil y d: % por textura en las parcelas degradadas sin intervención

Respecto a la acumulación de carbono en los suelos, los estimados indican que para la parcela 9 existe el mayor stock de carbono en relación con las parcelas degradadas sin intervención (241,35 MgCorg ha⁻¹) y el menor stock se presenta en la parcela 2 (200,76 MgCorg ha⁻¹) (Figura 15). En este caso, estas tres parcelas son las que acumulan mayor carbono en suelos frente a

las parcelas de referencia y las parcelas degradadas con intervención. Lo que puede indicar que, aunque ya han pasado tres años tras el paso del huracán IOTA, estos sectores presentan suelos aun con capacidad de mantenerse en estado anaeróbico por la lámina de agua que los cubre, evitando la degradación de materia orgánica y favoreciendo la acumulación de carbono (Perdomo et al., 2021; Howard et al., 2014, Komiyama et al., 2008; McKee, 2011).

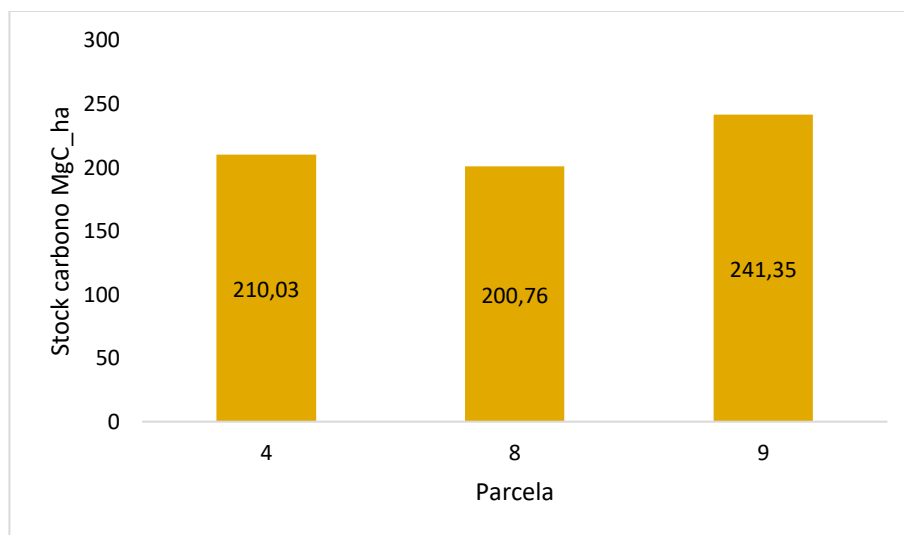


Figura 15. Reserva de carbono en los sedimentos hasta 50 cm de profundidad de las parcelas degradadas sin intervención.

3.1.4 Caracterización de áreas de manglar con importancia para la comunidad

Las otras áreas de interés, definidas por la comunidad, para la restauración muestran valores altos de salinidad tanto para agua superficial como intersticial (Tabla 11). Los valores más altos de salinidad superficial e intersticial se presentaron en el bosque Black Sand Bay, lo cual es confirmado por el estado del mismo ya que la presencia de árboles adultos vivos es muy baja (Figura 16) y la disponibilidad de propágulos y plántulas es escasa. Estos resultados indican unas condiciones de salinidad que generan estrés hídrico y pueden estar afectando la regeneración del bosque. Esta afectación la confirman los valores reportados por el potencial ORP ya que los resultados negativos indican bajo suministro de oxígeno o anoxia.



Figura 16. Vista general manglar Black Sand Bay.

Los valores más bajos de salinidad tanto superficial como intersticial se presentaron en el bosque Manzanillo, indicando condiciones salobres a salinas, lo cual puede indicar una posibilidad de desarrollo de plántulas de manglar, la cual es confirmada por la presencia de plántulas y juveniles dentro del bosque (Figura 17 a y b). Este resultado puede ser confirmado por los valores del potencial ORP, ya que tienden a ser bajos, indicando presencia de oxígeno en agua superficial y una leve anoxia a nivel intersticial.

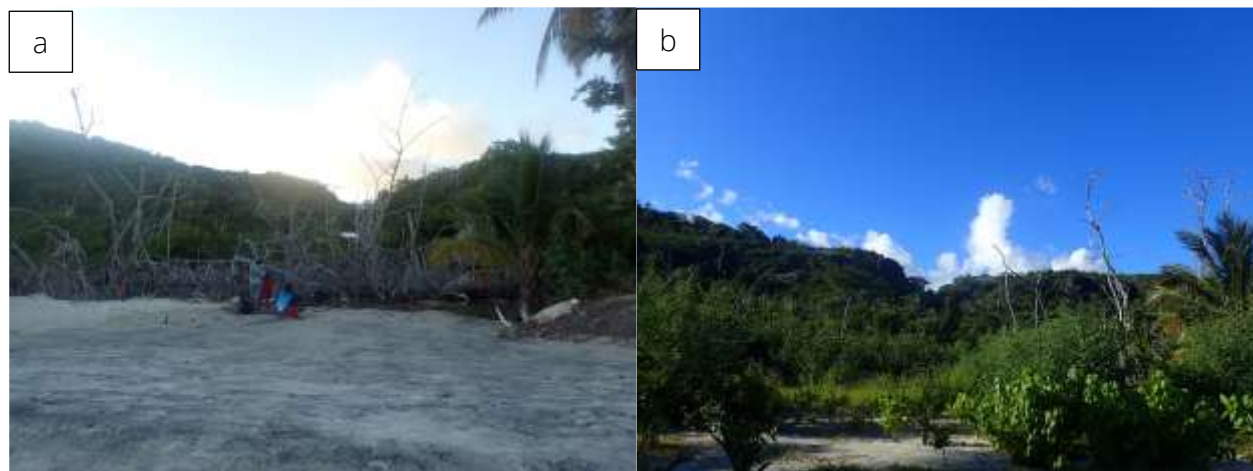


Figura 17. a y b. Vista general manglar Manzanillo

En el caso de los bosques Santa Catalina y Jones Point (Figura 18 a y b), las áreas evaluadas presentan valores de salinidad altos con tendencia leve a salobres, y valores bajos del potencial ORP a nivel del agua superficial, pero negativamente altos en agua intersticial. Estos resultados

indican condiciones de alto estrés hídrico por acceso a oxígeno para el crecimiento de las plántulas, lo cual puede influenciar los procesos de siembra y producción de propágulos en estas áreas de manglar. Aunque la salinidad tienda a ser euhalina, se evidenció en ambos bosques adultos en pie con producción de propágulos en las especies de *R. mangle* y *L. racemosa*, pudiendo indicar que los individuos reproductivos se volvieron tolerantes a las condiciones de salinidad posteriores al paso del huracán IOTA.

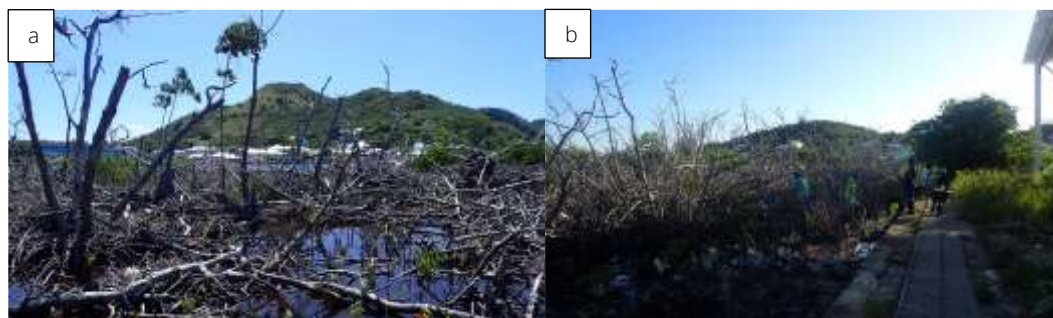


Figura 18. a y b. Vista general manglares Santa Catalina (A) y Jones Point (B)

Las variables fisicoquímicas de pH y temperatura tanto en agua superficial como intersticial de todas las áreas reportan valores óptimos para el crecimiento y desarrollo de los individuos de manglar, indicando una baja incidencia en el deterioro de las áreas posterior al paso del huracán IOTA (Tabla 11).

Tabla 11. Variables fisicoquímicas para las áreas de manglar priorizadas por la comunidad y los actores locales de las islas de Providencia y Santa Catalina. Los valores presentados corresponden al promedio y las desviaciones estándar ($\bar{x} \pm de$).

Estación	Nivel	Salinidad	T (°C)	pH	ORP	Inundación(cm)
Manzanillo	Superficial	32,6 ± 1,16	33,78 ± 0,88	8,24 ± 0,46	4,3 ± 65,05	10,5 ± 4,95
	Intersticial	18,26 ± 8,92	30,93 ± 0,47	6,87 ± 0,20	-80,93 ± 119,59	
Santa Catalina - Inicio	Superficial	38,32 ± 0,08	32,51 ± 0,72	7,70 ± 0,11	-19,17 ± 53,58	8 ± 1,73
	Intersticial	22,72 ± 2,16	33,28 ± 0,86	6,78 ± 0,11	-257,65 ± 6,01	
Santa Catalina - Centro	Superficial	38,34 ± 0,65	34,36 ± 0,44	7,63 ± 0,03	49 ± 3,20	38,3 ± 7,64
	Intersticial	38,04 ± 1,67	31,78 ± 0,31	6,50 ± 0,16	-229,30 ± 14,85	
Santa Catalina - Norte	Superficial	38,46 ± 0,12	32,55 ± 0,19	8,12 ± 0,05	21,37 ± 35,96	49 ± 6,56
	Intersticial	44,30 ± 30,46	32,32 ± 0,57	6,66 ± 0,07	-86,33 ± 267,54	
Jones Point - Norte	Superficial	39,07 ± 0,19	36 ± 0,24	7,72 ± 0,04	27,53 ± 32,89	27,50 ± 0
	Intersticial	28,91 ± 10,08	31,65 ± 0,44	6,36 ± 0,05	-246,37 ± 11,85	
Jones Point - Centro	Superficial	39,88 ± 0,14	38,62 ± 0,24	7,82 ± 0,06	8,20 ± 75,41	25 ± 0
	Intersticial	33,55 ± 11,49	34,10 ± 1,54	6,54 ± 0,12	-287 ± 7,63	

Jones Point -	Superficial	39,49 ± 0,09	36,96 ± 0,10	7,72 ± 0,08	41,93 ± 6,10	15 ± 0
Inicio	Intersticial	29,6	32,35	6,75	-277,8	
Black Sand	Superficial	41,88 ± 0,14	33,70 ± 1,33	7,36 ± 0,04	-24,37 ± 53,34	1,27 ± 0,64
Bay	Intersticial	48,62 ± 9,03	31,90 ± 0,22	6,47 ± 0,19	-189,20 ± 79,28	

3.2 Análisis de la cobertura de manglar

3.2.1 Comportamiento espectral NDVI

Para determinar los cambios en la cobertura actual de manglar de las islas de Providencia y Santa Catalina frente a registros anteriores se realizó la estimación del índice NDVI de los años 2020 y 2023 y sobrevuelo con un vehículo aéreo no tripulado (UAV) o dron sobre las diferentes áreas de manglar de interés.

Durante el período de enero de 2020, antes del paso del huracán IOTA, se observó un patrón consistente en el índice NDVI en la isla de Providencia. En varias áreas como PNN Old Providence, Winston Bay, Manchinnel Bay, South West Bay, Old Town Bay y Black Sand Bay, los valores del NDVI variaron entre 0,5 y 0,9. Estos índices sugieren un estado saludable de la vegetación en los sectores de manglar de estas zonas específicas (Figura 19).

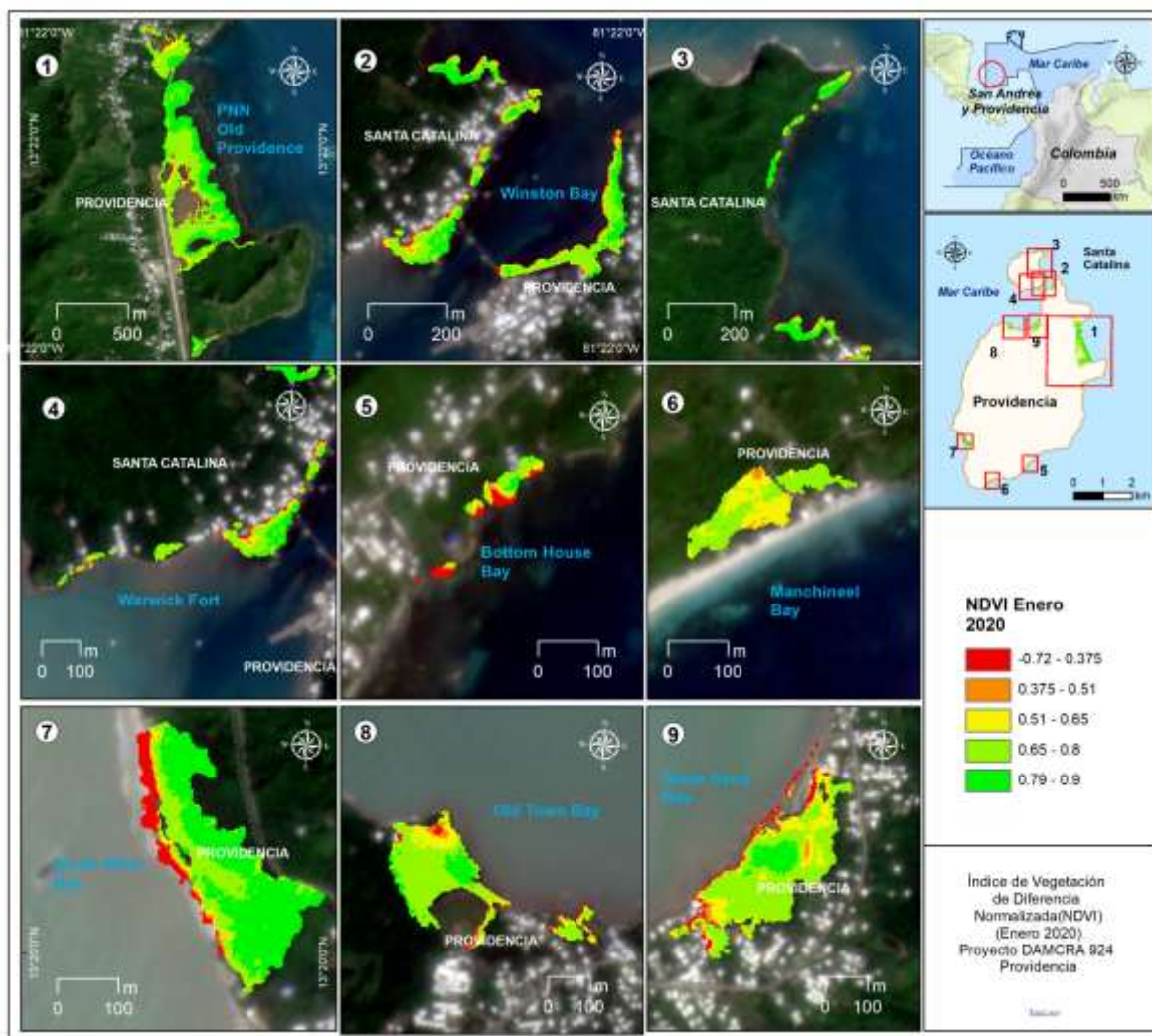


Figura 19. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) enero de 2020, Isla de Providencia

Los datos de NDVI registrados durante diciembre de 2020, tras el paso del huracán IOTA, revelan un impacto significativo en la vegetación de todos los sectores de manglar en la isla de Providencia. Específicamente, se observa una degradación notable en los sectores de PNN Old Providence, Winston Bay, Manchineel Bay y Black Sand Bay, con valores que oscilan entre -0.8 y 0.46 (Figura 20).

Estos valores indican una disminución sustancial en la densidad y salud de la vegetación en estas áreas particulares. Sin embargo, aunque en el área de South Winston Bay se evidencia principalmente una pérdida en el interior del parche de manglar, los bordes mantienen un estado relativamente bueno.

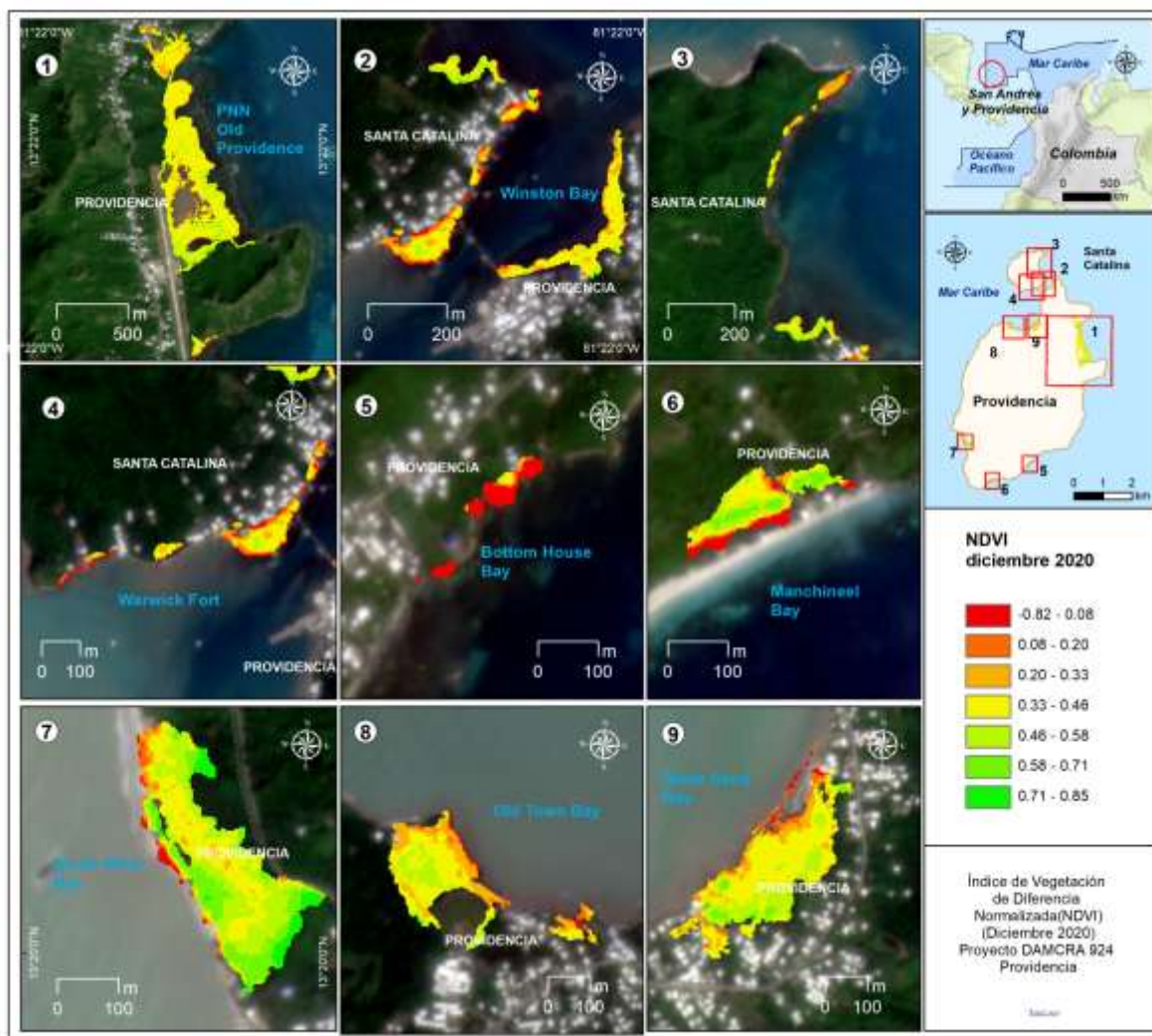


Figura 20. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) diciembre de 2020, Isla de Providencia.

Los datos obtenidos en enero de 2023, tres años después del paso del huracán IOTA muestran signos de recuperación en la salud vegetal en varios sectores específicos. Se observan valores que superan el 0,37 del NDVI en algunos sectores del PNN Old Providence, Winston Bay, Bottom House Bay, Manchineel Bay, South West Bay y Black Sand Bay. Es importante destacar que el alto NDVI no es uniforme en toda el área, ya que también se observan pequeños parches donde el estado vegetal está experimentando NDVI superiores a 0,83 (Figura 21).

Este indicador superior a 0,37 sugiere un retorno gradual de la densidad y salud de la vegetación en ciertas áreas específicas mencionadas después de la devastación causada por el huracán Iota. La presencia de pequeños parches con un índice mayor a 0,6 muestran una recuperación en la salud vegetal que podría indicar un proceso de regeneración en curso en estas zonas particulares.

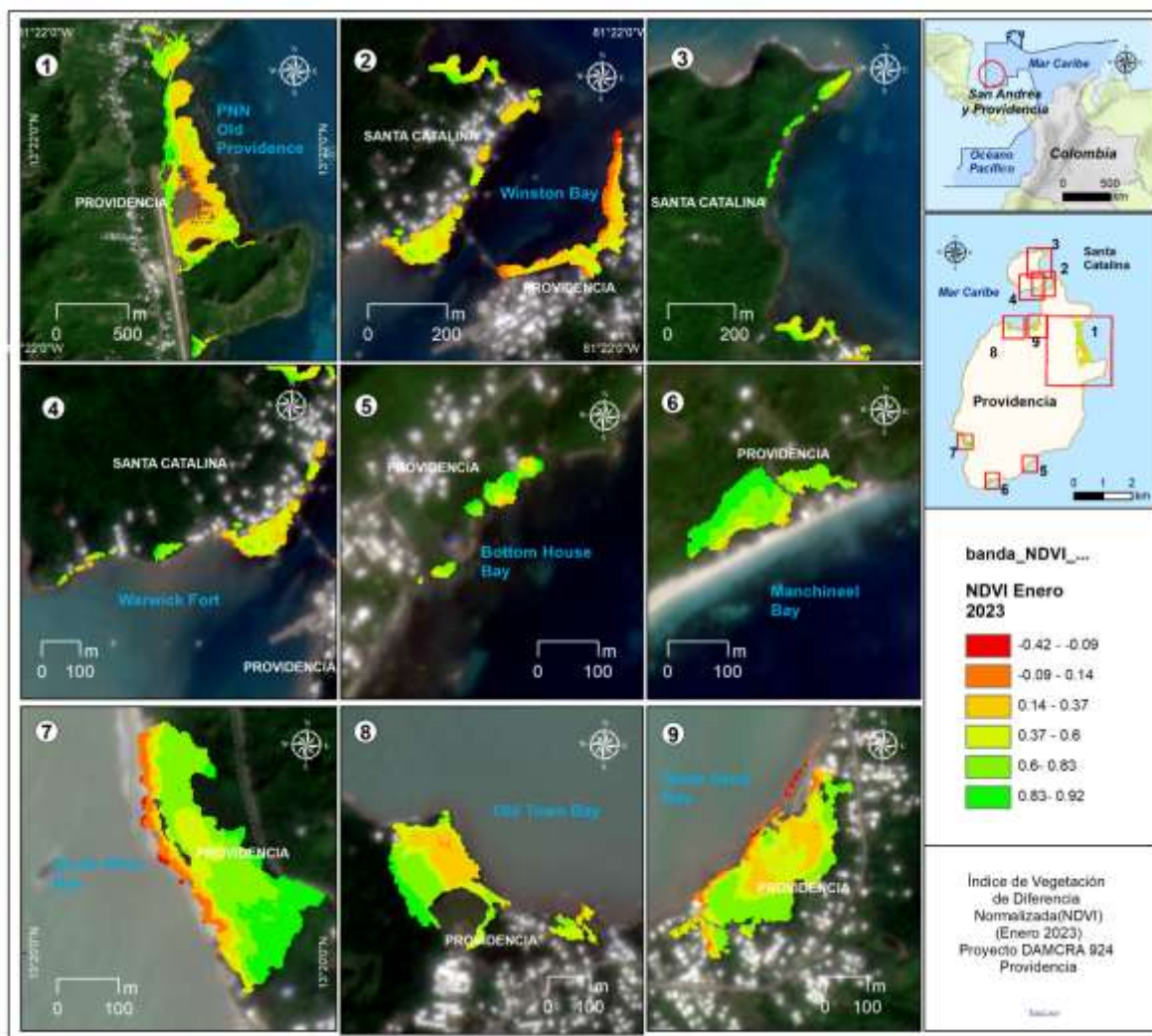


Figura 21. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) enero de 2023, Isla de Providencia.

Como se mencionó antes, una vez obtenido el NDVI para cada una de las fechas, se calculó la diferencia en dos periodos. En la Figura 22 se observa el histograma de frecuencia de la diferencia entre el NDVI de diciembre de 2020 con respecto a enero de 2020, mostrando que la mayoría de los píxeles se ubicaron en valores cercanos a -0,3, esto indica que en promedio se perdió cerca de 0,3 unidades de NDVI para el sitio y periodo evaluado.

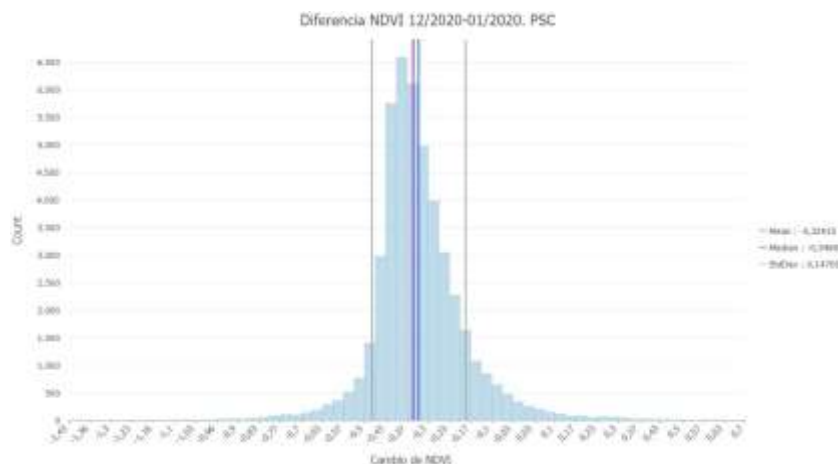


Figura 22. Diferencias de NDVI entre diciembre de 2020 y enero de 2020 para los manglares de PSC. 3m/px.

Para el periodo evaluado entre enero de 2023 y diciembre de 2020 (Figura 23), se observa que una gran cantidad de píxeles se encuentran en un rango de cambio de entre -0,19 y 0,12 indicando por su cercanía a 0, que los cambios son mínimos para enero de 2023 con respecto a diciembre de 2020. Otra porción importante de los píxeles se ubica de 0,12 en adelante, lo que explicaría que las áreas aquí representadas han aumentado 0,12 unidades de NDVI o más, llegando a más de una unidad de incremento para algunos casos.

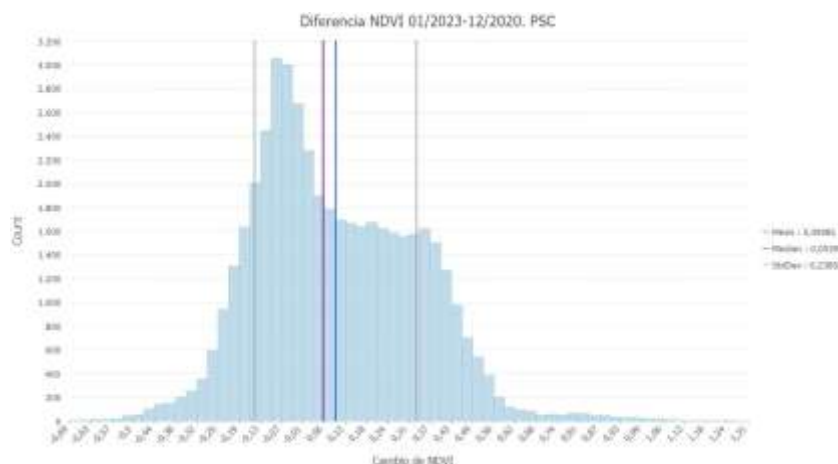


Figura 23. Diferencias de NDVI entre enero de 2023 y diciembre de 2020 para los manglares de PSC. 3m/px.

La clasificación por desviación estándar de la comparación de los datos de NDVI entre enero y diciembre de 2020 revela cambios en la salud vegetal en varios sectores. Se observan valores de disminución que oscilan entre -1,43 y -0,26, representados por tonos que van desde el rojo hasta el amarillo en la escala de colores utilizada. Por otro lado, se identifican posibles valores

de estabilidad que van desde -0,26 a 0,04. Además, se detectan valores de incremento, que varían entre 0,04 y 0,67, principalmente destacados en el sector de South West Bay (Figura 24).

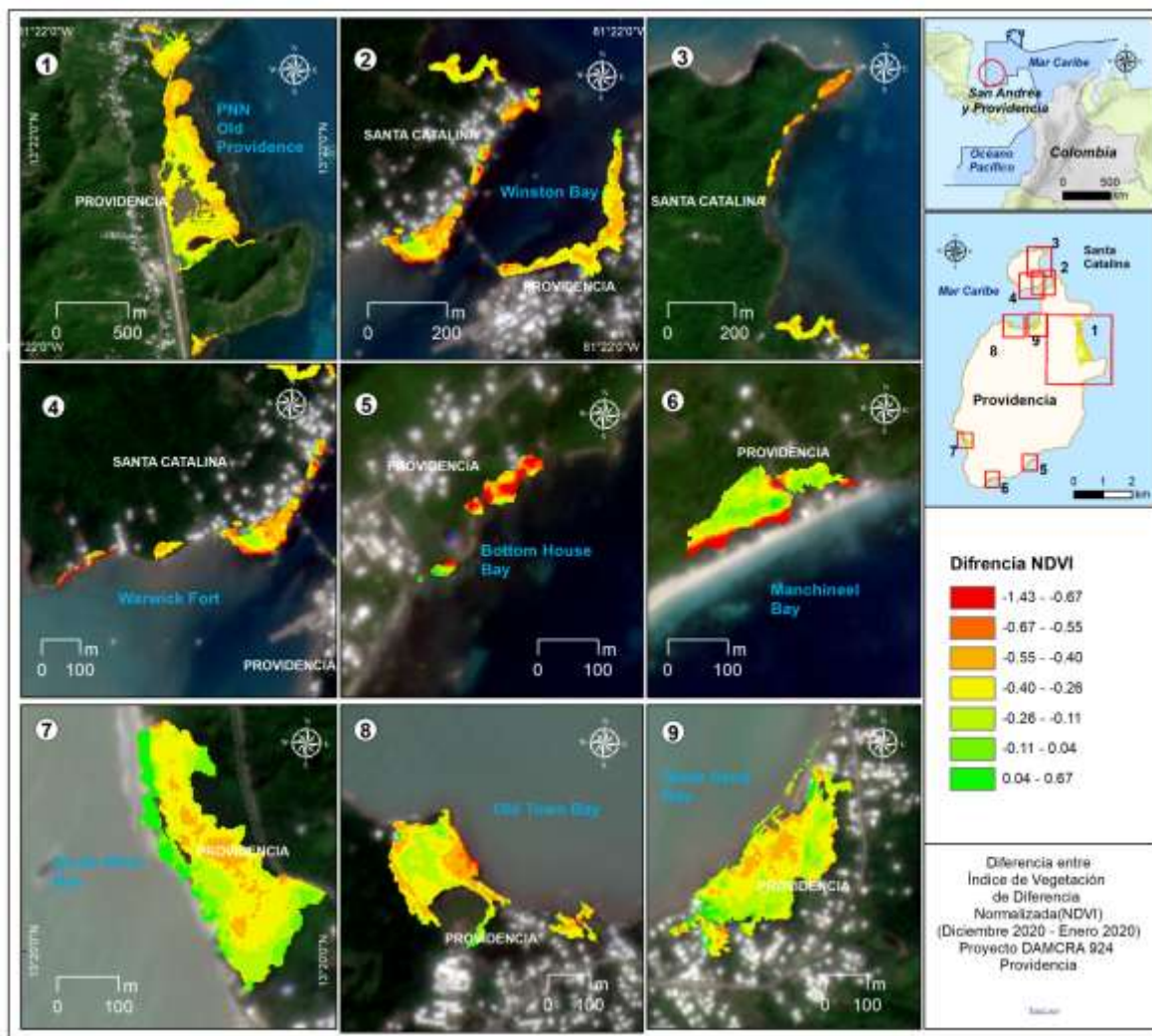


Figura 24. Diferencias entre el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) diciembre de 2020-enero de 2020. Isla de Providencia.

En la comparativa entre el NDVI de diciembre de 2020 y enero de 2023, se observan zonas mayores a 0,21 identificadas en tonalidades de color verde que indican recuperación en cada uno de los sectores evaluados. Se registran valores entre -0,1 y 0,1 que delimitan áreas con estabilidad en comparación con el año de referencia por ser cercanas a 0 en el caso de las diferencias de NDVI. Sin embargo, en el caso específico del parque Old Providence, aunque se identifican regiones en proceso de recuperación de la vegetación, también se evidencian áreas con disminución que oscila entre -0,27 y -0,03, particularmente notoria en la parte central del parche (Figura 25).

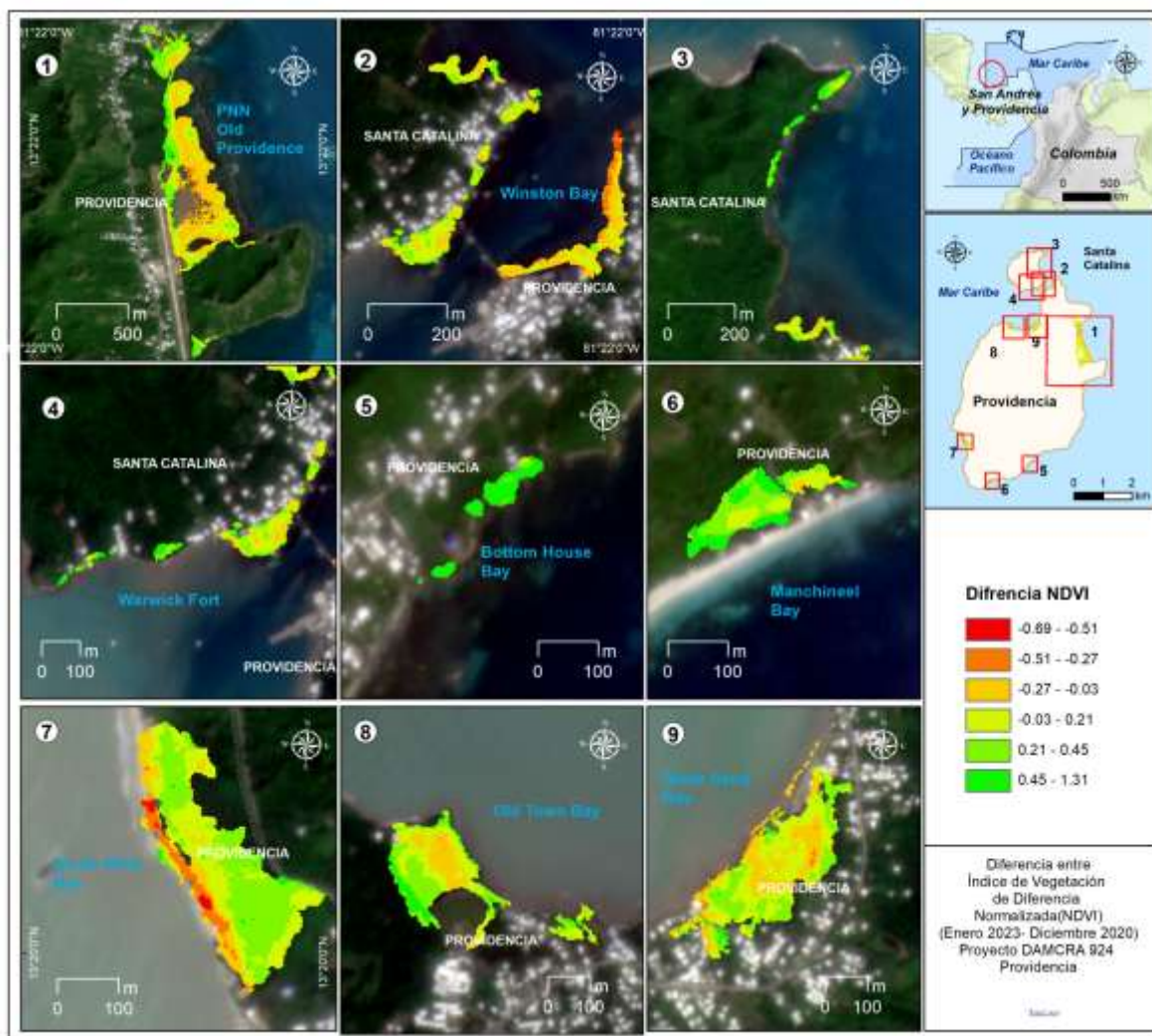


Figura 25. Diferencias entre el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) enero de 2023 – diciembre de 2020. Isla de Providencia.

3.2.2 Ortofotomosaicos

Por medio de los ortofotomosaicos obtenidos a partir de los sobrevuelos con dron se evidenció que en varias de las áreas de manglar de la isla hubo una pérdida de cobertura de manglar tras el paso del huracán IOTA en el 2020, frente a la cobertura previa reportada en el año 2016.

Con los sobrevuelos realizados para el año 2023, se observa en las diferentes áreas de manglar de las islas un cambio de cobertura que favorece la regeneración del bosque (Figura 26).

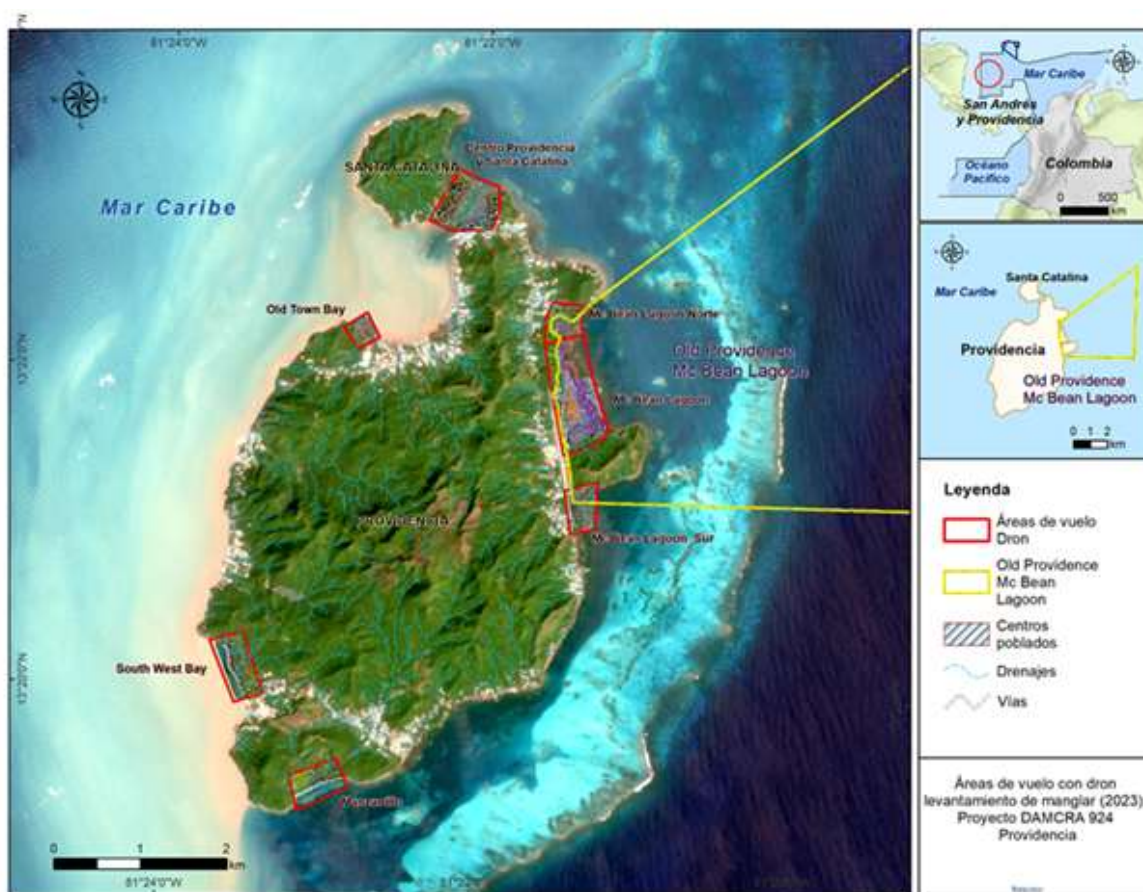


Figura 26. Áreas sobrevoladas para la generación de ortofotomosaicos con DRON en las islas de Providencia y Santa Catalina.

3.2.2.1 PNN Old Providence McBean Lagoon

Las imágenes tomadas en el área del PNN Old Providence McBean Lagoon muestran una pérdida considerable del bosque de manglar entre los años 2016 y 2021. Para el año 2023 se pueden observar dentro de los mosaicos unos parches de manglar al parecer en proceso de recuperación hacia el borde interior del bosque de manglar (Figura 27), lo cual confirma lo observado en el análisis del índice NDVI.

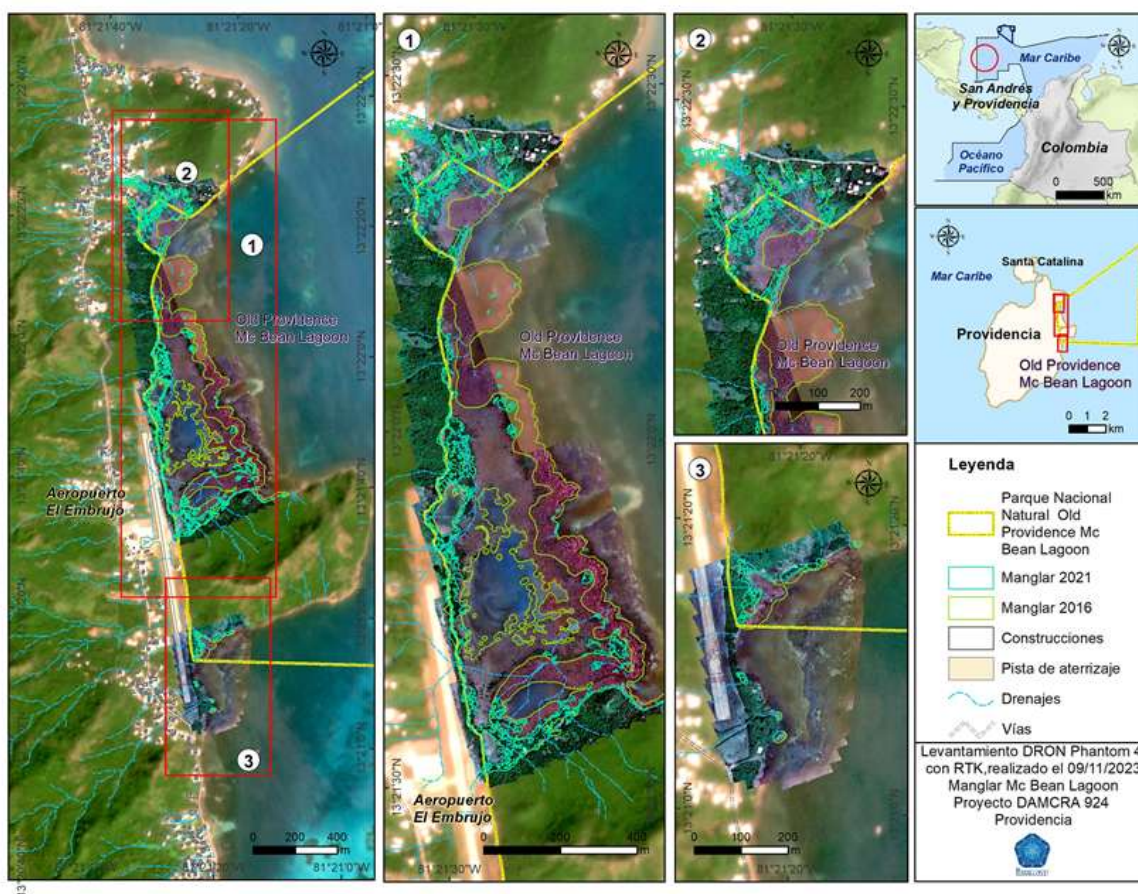


Figura 27. Ortofotomosaicos con DRON en el área del PNN Old Providence McBean Lagoon.

3.2.2.2 Santa Catalina, Jones Point y Manzanillo

Hacia las áreas de manglar de Santa Catalina y Jones Point se observan parches muy pequeños aislados de vegetación de manglar dentro de las áreas degradadas, lo cual puede deberse a un proceso de regeneración lenta (Figura 28).



Figura 28. Ortofotomosaicos con DRON en las áreas de manglar de Santa Catalina y Jones Point.

Dentro del manglar de Manzanillo se observan parches pequeños aislados de vegetación de manglar dentro de las áreas degradadas, lo cual puede deberse a un proceso de regeneración natural dentro del área (Figura 29). Este resultado es acorde a lo evaluado por el índice NDVI, donde se observa una ganancia en la cobertura de manglar para el bosque. Esta información fue confirmada durante la visita de campo donde se observaron individuos juveniles y plántulas creciendo en las áreas degradadas.



Figura 29. Ortofotomosaico con DRON en las áreas de manglar de Providencia- Manzanillo.

3.2.3 Aspectos socioambientales

La actualización del Plan de rehabilitación de manglares en Providencia y Santa Catalina contó con la participación de representantes del Raizal Council, las Juntas de Acción comunal, las Autoridades ambientales, las organizaciones de base comunitaria, docentes, pescadores, líderes sociales del sector, y representantes de las familias que participaron en la construcción del Plan en el 2021.

Es importante resaltar que, para la comunidad de Providencia y Santa Catalina, los ecosistemas de manglar son de gran importancia y significancia, dada a su relación histórica y ancestral con estos bosques (usos, prácticas), y al reconocimiento que se tiene de sus servicios ecosistémicos; siendo este último, de gran valor socioambiental para sus habitantes, debido a que los actores sociales en su gran mayoría sostienen que “el manglar les salvo la vida” ante el huracán IOTA, aspecto que fortalece la relaciones humano-naturales y promueve la apropiación social de la población por el territorio y sus ecosistemas.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el análisis de los aspectos socioambientales estos resultados contemplan aspectos como datos de los participantes, los principales servicios ecosistémicos e importancia del manglar, actualización de tensores, identificación de posibles conflictos socioambientales, actores y acciones de restauración, estas serán descritas con mayor detalle a continuación.

3.2.3.1 Datos de los participantes

El total de la población que participó en el ejercicio de priorización de áreas potenciales para la restauración de manglares en Providencia y Santa Catalina fue de 29 personas. De este total 17 se reconocen en el género femenino y 12 en el género masculino (Figura 30a), lo que evidencia un porcentaje de representatividad significativa de las mujeres en la actualización del Plan de rehabilitación. 10 personas corresponden a representantes de las autoridades ambientales, fundaciones y Universidades y 19 a la comunidad raizal de Providencia y Santa Catalina (Figura 24b).

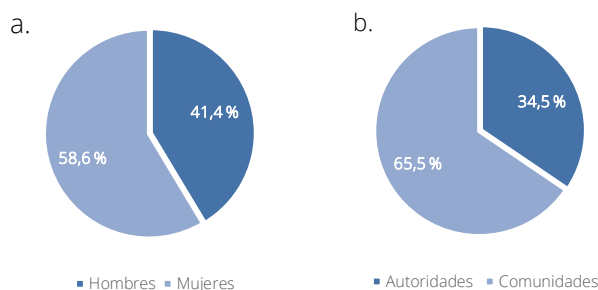


Figura 30. a y b: Reconocimiento de sexo.

Según los datos de pertenencia étnica se identificó que 23 de los participantes vive en Providencia y Santa Catalina y se reconocen como raizales, por su parte, 6 no se reconocen en ningún grupo étnico (Figura 31).

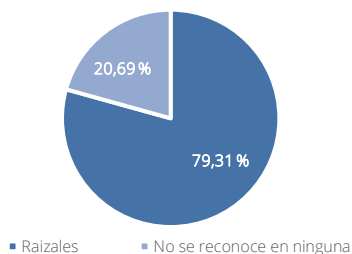


Figura 31. Pertenencia étnica.

Con respecto a la población comunitaria que participó del proceso de construcción y actualización del Plan de Rehabilitación, se evidenció según el total de estos, que 9 personas se encuentran en el rango etario 50-69 años, seguido de 3 correspondientes a las edades de 29-39 años y finalmente 2 entre 40-50 años (Figura 32). Lo anterior, es de gran importancia porque representa una gran diversidad generacional, además de resaltar que, la mayoría de la población participante cuenta con más de 50 años en la isla, lo que es posible traducir en mayor experiencia y conocimiento del territorio.

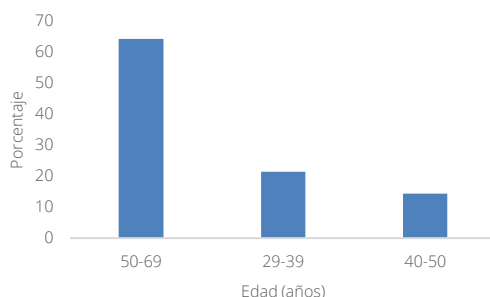


Figura 32. Edades de los y las participantes.

En cuanto al nivel educativo se tiene que 8 de los y las participantes han alcanzado el título de secundaria o bachiller académico, 4 nivel técnico y 2 el tecnólogo (Figura 33).

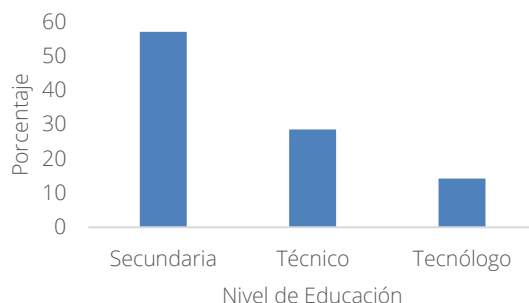


Figura 33. Nivel educativo de los y las participantes.

Finalmente, con relación a la actividad económica que desempeñan, se pudo evidenciar que 4 de los y las participantes son trabajadores independientes. Además, se observa que 8 personas (dividido cada uno en 14,29%) se dedican a ser administradoras del hogar y/o amas de casa; pescadores; prestadores de servicios turísticos y a oficios varios. Finalmente, se encuentran que 2 participantes se dedican a actividades agrícolas (7,14%) y otros a ser empleados del sector privado (7,14%). (Figura 34).

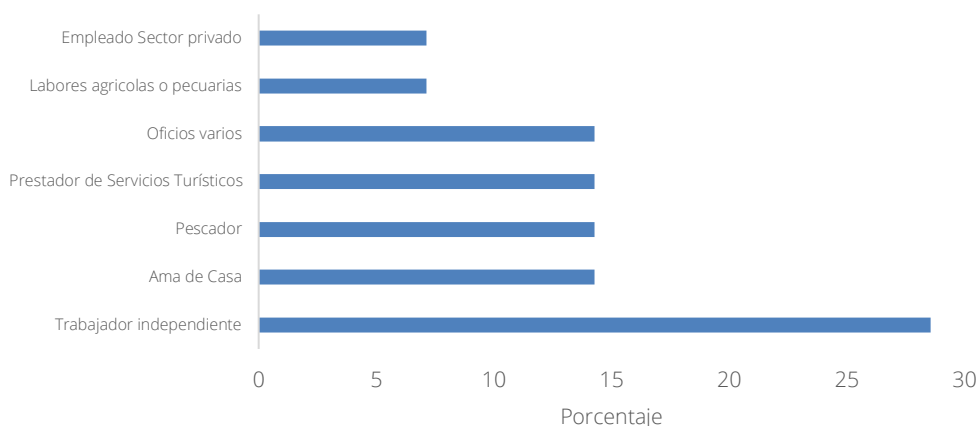


Figura 34. Actividad económica de los y las participantes.

3.2.3.2 Importancia del manglar y sus servicios ecosistémicos

Las islas de Providencia y Santa Catalina son reconocidas por ser un territorio raizal que cuenta con una lengua, cultura, historia y territorio propio, por lo cual, su diversidad es reconocida y protegida por parte del estado colombiano. Además, es importante precisar que los raizales son “uno de los cinco grupos étnicos reconocidos en Colombia. El término raizal describe y expresa, ante todo, un sentimiento de ser de la tierra de las islas, un sentido de pertenencia” (Livingston et al., 2022, p. 21), asimismo, “eran llamados isleños por su carácter de insularidad; luego nativos, por integrar el grupo originario del Archipiélago; y ahora, raizales, hijos de la tierra con antecedentes históricos, culturales y territoriales y con un sentido de pertenencia” (Livingston et al., 2022, p. 22).

Al ser una población étnica y raizal conectada históricamente con sus ancestros, prácticas usos y costumbres, está directamente relacionada con el ecosistema de manglar puesto que hace parte del territorio que conforman. De este modo, podría decirse que es una población que depende altamente de los recursos ecosistémicos que este ofrece, no solo por su valor económico y ambiental si no también cultural.

Adicionalmente, se pudo evidenciar en el apartado anterior con respecto a los resultados obtenidos de la población participante, que, alrededor del 78.57% se dedican a la economía informal, lo que puede estar relacionado con una alta dependencia a los servicios ecosistémicos que ofrece el manglar, ya que se encuentran relacionados con actividades turísticas, pesqueras, agricultura, oficios varios, entre otros.

De acuerdo con lo anterior y a los resultados de las encuestas realizadas (Tabla 12) se puede evidenciar que el manglar es de gran importancia para la comunidad raizal.

Tabla 12. Resultado de encuestas para la categoría de preguntas abiertas- Importancia del ecosistema de manglar, octubre 2023. ¿Por qué considera usted que es importante el ecosistema de manglar?

Servicio ecosistémico	Postulado comunitario
Regulación	"Con el Huracán Iota vimos la protección que nos hizo" "Yo lo considero importante porque nos protege de tormentas tropicales"
Regulación y Provisión	"Para proteger, lo pudimos observar durante el Huracán Iota" "Porque nos protegió cuando estamos en la fase de Iota, alimenta a la comunidad y nos da seguridad alimentaria" "Por su protección ante desastres naturales y sustento contra desastres naturales" "Porque es una protección y nos da algunas cosas para comer" "Porque protege todo, nos da alimento" "Porque nos da vida y nos protege" "Para mantener la vida"
Regulación y soporte	"Porque ayuda a las especies más pequeñas y nos protege de las fuertes brisas" "Nos protege de desastres naturales y es la cuna de nuestras especies" "Nos protege del viento y es incubadora de los peces pequeños"
Regulación y Culturales	"Protección, oxígeno, turismo" "Nos protege y embellece el paisaje"

De acuerdo con lo anterior, se pudo observar que el servicio de regulación fue el que más se repitió en todos los postulados comunitarios, y a su vez este lo relacionaban con otros servicios ecosistémicos como son los de provisión, los de soporte y los culturales. Esto podría entenderse a raíz de los impactos y efectos que dejó el huracán Iota en el territorio, siendo, además, uno de los principales factores de la degradación del manglar en Providencia.

Por ende, se puede entender que dentro de los servicios de regulación identificados por la comunidad se encuentran, los de protección costera y contra fenómenos naturales, control biológico, la captura de carbono, la regulación de oxígeno y el clima. Estos servicios son indispensables para la comunidad debido a la ubicación geográfica del territorio, y a los antecedentes de fenómenos naturales ocurridos.

Con relación a los servicios de provisión se puede observar que fue el segundo más mencionado por los habitantes de la comunidad de Providencia, dentro de estos se encuentran los recursos pesqueros y recursos forestales, aquí los habitantes mencionaron que el manglar les provee de diferentes especies de peces e invertebrados, así como de madera y plantas medicinales.

Seguido, se encuentran los servicios de soporte, aquí la comunidad lo relacionó con los servicios de provisión, manifestando que el manglar funge como protector de la biodiversidad de la isla, ya que funcionan como zona de crianza y refugio de diferentes especies de gran importancia económica para la subsistencia de la comunidad.

Finalmente, se encuentran los servicios culturales, siendo de gran importancia para la isla debido a que gran parte de sus habitantes se dedican a las actividades de turismo y recreación. Frente a esto, los habitantes mencionaban que antes del huracán Iota el manglar aportaba un gran valor estético a la isla, situación que favorecía la actividad turística y el desarrollo de actividades ecológicas que vinculaba a diferentes personas de la comunidad.

De esta forma, se puede concluir que la población raizal de Providencia y Santa Catalina reconoce e identifica la importancia del manglar y cuáles son los servicios ecosistémicos asociados. Es una comunidad que ancestralmente ha estado relacionado con este ecosistema y es altamente dependiente de los bienes y que este ofrece. De igual modo, se pudo evidenciar que, tras el paso del huracán Iota, se ha venido fortaleciendo esta relación de coexistencia y apropiación social de los raizales con el ecosistema de manglar, situación que ha conllevado a la promoción de acciones para su cuidado y protección.

3.2.4 Priorización de áreas y actualización tensores

La priorización de áreas fue realizada por medio de ejercicios de cartografía social que involucraban a las autoridades locales y a las comunidades. En ella se lograron identificar cuáles son las áreas más afectadas y los diferentes tensores asociados (Figura 35 a y b). Para el desarrollo de este ejercicio se le presentó a los y las participantes un mapa espacial con los resultados del análisis multitemporal. Aquí fueron ubicando las zonas mayormente degradadas a la más conservada (Anexo 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3).



Figura 35 a y b. Taller de Cartografía social con Comunidades, autoridades ambientales y actores sociales de influencia

En ese orden, fueron mencionando las acciones que se han realizado y las distintas instituciones vinculadas a estas estrategias. Luego, de esto se les asignó una escala de valoración del 1 al 6 dónde ellos deberían priorizar cuál de las mencionadas era la zona prioritaria, debido a sus tensores y nivel de amenaza para el planteamiento de acciones y actividades de restauración (Tabla. 13).

Tabla. 13. Zonas priorizadas y escala de valoración.

Priorización actores		Priorización comunidades	
Zona	Puntaje de priorización	Zona	Puntaje de priorización
PNN Old Providence McBean Lagoon	1	PNN Old Providence McBean Lagoon	1
Manchineel Bay- Manzanillo	1	Manchineel Bay - Manzanillo	1
Jones Point	2	Jones Point	2
Santa Catalina	2	Santa Catalina	2
Black Sand Bay	3	Old Town	3
Phantom Beach	3	Phantom Beach	3
Boxton	4	Aguamansa	4
Smith Bay – Jonny Bay	4	Suoth West Bay	4
Bottom House	5	Casa Baja	5
South West Bay	6	Freech	6

Con base a lo anterior, se puede observar que en las primeras 4 escalas de valoración tanto las autoridades ambientales como las comunidades coinciden que el parque McBean Lagoon es el área mayormente degradada, seguida de Manchineel Bay – Manzanillo, Jones Point y Santa Catalina. Con respecto a las causas de degradación, la mayoría de los actores coincidió en que el impacto del huracán Iota fue el que afectó directamente el manglar porque anteriormente en la isla este era uno de los ecosistemas mejor conservados. Así lo sustentan:

“Antes de que viniera el huracán esta isla era hermosa, incluso y todo con las malas prácticas de echar basuras a ese manglar no le pasaba nada, yo toda la vida vi creciendo el manglar, pero fue el huracán que acabo con todo eso”

Hombre, comunidad Raizal de Providencia y Santa Catalina (2023)

“El problema aquí es de contaminación y de que no le llega agua al manglar, además, el hecho de que no existan proyectos a largo plazo, que le permita que uno haga todo su proceso como se debe, recoger semillas, sembrar, y luego estar pendiente ahí, así a corto plazo no va a prosperar”

Mujer, comunidad Raizal de Providencia y Santa Catalina (2023)

Por tanto, luego de la priorización se solicitó a los y las participantes que identificaran los tensores que actualmente estaban afectando los ecosistemas de manglar priorizados, luego de esto, las posibles actividades de restauración y los aliados tentativos (Tabla 14 y continuación Tabla 15).

Teniendo en cuenta lo anterior, se preguntó en las encuestas a los y las participantes sobre las principales causas de la degradación de manglar. De estos resultados se identificaron nueve tensores o presiones que estaban generando afectaciones según la perspectiva de la comunidad. Por tanto, se evidenció que 11 de los encuestados coinciden en que la expansión urbana y turística es el principal tensor del manglar, seguido por la contaminación (8 encuestados) y vertimientos líquidos, y luego la alteración de flujos hídricos y quema de basuras (7 encuestados respectivamente) (Figura 36). Cabe resaltar que otros participantes mencionaron también otros factores de degradación como la erosión, la tala, extracción de arena, sedimentación natural y ampliación de la frontera agrícola y pecuaria.

Tabla 14. Tensores identificados por la comunidad en el manglar de Providencia y Santa Catalina.

Zona	Tensor	Actividades propuestas	Actores
PNN Old Providence McBean Lagoon	- Contaminación por residuos sólidos tras huracán en zona de amortiguamiento de parques - Obstrucción y desvío de cauces de aguadulce - Arrastre de sedimentos - <i>Sargassum sp.</i> - Ganadería - Vertimiento de aguas residuales y manejo no adecuado de residuos sólidos	- Reconformación de flujos hídricos - Análisis espacial de la salinidad y variables fisicoquímicas determinantes de la salud del manglar - Retiro de residuos sólidos peligrosos - Manejo de los residuos para manejo especial - Caracterización fisicoquímica - Monitoreo antes y después - Fortalecimiento de unidades de emprendimiento locales basadas en la transformación de residuos	PNN, Alcaldía de Providencia, Gobernación, Aerocivil, Ganaderos locales, Invías, DIMAR, Coralina, Armada Nacional, FONTUR, INVEMAR, UNAL, SENA, PYK, Procina, WWF, CEI, Fondo Acción, ONGs locales, Asociaciones de acción comunal (Rocky Point, Mountain), Comunidad (Baileg, Mountain, Rocky Point), Asociaciones de pescadores
	- Carretera que se construyó está a bajo nivel, lo que impidió el paso del agua y se ahogaron las plantas. - Modificación del flujo parte baja. - Exceso de basuras - Quema - Tala - Aumento de actividad turística - Desarrollo de infraestructura - Depredadores (cangrejos e iguanas) - Sobre carga de <i>Sargassum</i> en el manglar, debido a que son desechados en el bosque cuando hay mucho en la playa	Corto plazo: - Recolecta de basura - Limpieza - Educación ambiental - Limpieza de drenajes - Excavación - Evaluación de las estructuras existentes Largo plazo: - Monitoreo - Gestión de los residuos sólidos y orgánicos (<i>Sargassum</i>, palmeras, coco), material vegetal muerto.	Coralina, Junta acción Comunal Casa Baja, Alcaldía, Comunidad, PYK

continuación Tabla 15. Tensores identificados por la comunidad en el manglar de Providencia y Santa Catalina.

Zona	Tensor	Actividades propuestas	Actores
Santa Catalina	- Vertimiento de gasolina y trabajo con fibra	- Monitoreo - Educación ambiental - Multas por afectación (actividades de limpieza)	Iglesia de Santa Catalina, Coralina, Alcaldía, Instituciones educativas
	- Escombros en los manglares, todo lo limpiado en la casa lo arrojan al bosque - Vertimiento de residuos por planta de tratamiento - Relleno de manglares - Quema de basuras en el manglar - Taponamiento del gullies	- Limpieza de arroyos - Educación ambiental - Multas por afectación (actividades de limpieza)	Coralina, Junta Acción Comunal Casa Baja, Alcaldía, Comunidad, PYK.

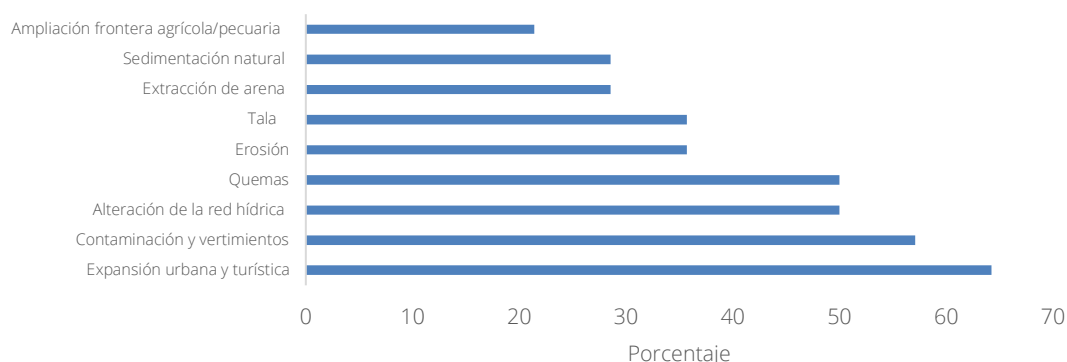


Figura 36. Principales tensores del manglar en Providencia y Santa Catalina.

A modo de conclusión se puede decir que desde la perspectiva de las comunidades y los actores sociales las áreas mayormente degradadas en Providencia y Santa Catalina son el Parque McBean Lagoon, Manch Bay – Manzanillo, Jones Point y Santa Catalina, así mismo, se evidenció que los tensores con mayor afectación son la expansión urbana, la contaminación por residuos sólidos y la alteración de flujos hídricos, los cuales siempre han existido en el territorio, pero tras la llegada del huracán Iota el impacto generado actualmente es altamente significativo.

3.2.4.1 Conflictos socioambientales

Como se ha mencionado los conflictos socioambientales, surgen por las designaciones desiguales de la naturaleza e inequidades frente al manejo, destinación, uso, control y apropiación de los beneficios obtenidos de la misma, repercutiendo en la degradación de los ecosistemas y acentuando la vulnerabilidad de los actores sociales implicados.

Por tanto, aunque no era objeto realizar un análisis de la conflictividad socioambiental asociada al manglar de Providencia y Santa Catalina, se evidenció tanto en los talleres realizados y en los resultados de las encuestas que, tanto la comunidad, como los actores locales indicaron que existe una problemática ambiental asociada a la construcción de la pista del Aeropuerto El Embrujo.

Dicho conflicto, surge posterior a la construcción de la carretera debido a que ocurrió un taponamiento de la red hídrica proveniente de la microcuenca McBean, generando un bloqueo para el flujo de agua dulce hacia el área de manglar del PNN Old Providence McBean Lagoon. Este bloqueo afectó el estado del manglar y puede tener una alta incidencia en la recuperación del ecosistema debido a que el suelo permanece constantemente salinizado, generando condiciones de estrés ambiental para las plántulas y pocas posibilidades de supervivencia y crecimiento. Al respecto, la comunidad afirma que al ser un área protegida se deben garantizar

todas las condiciones para asegurar su conservación y de ser necesario se realicen todas las acciones pertinentes para garantizar su protección.

Por tanto, es importante precisar que este tipo de tensiones, tal como se habían mencionado anteriormente, están relacionados según el “Atlas de Justicia Ambiental” (Martínez-Alier, 2021) como conflictos de tipo infraestructura y ambientes construidos; los cuales se han convertido actualmente en una de las principales causas de degradación de los ecosistemas, debido al crecimiento de los proyectos de extensión urbanística y a la generación de ideas de desarrollo y progreso (desconectado de acciones de sostenibilidad) que se potencian cada vez más, tanto en espacios urbanos como rurales.

A modo de conclusión se hace necesario seguir fortaleciendo las organizaciones y los grupos de base comunitaria para la defensa de los derechos ambientales y colectivos asociados a los ecosistemas de manglar de la Isla de Providencia y Santa Catalina, con el objetivo de crear una red de actores que puedan confluir en la búsqueda de alternativas para la resolución y transformación de conflictos socioambientales.

3.2.4.2 Grupos comunitarios, base social y acciones de restauración

En el desarrollo de la actualización del plan básico de restauración de los manglares de Providencia y Santa Catalina se logró identificar una base social comunitaria de gran importancia para la implementación, y desarrollo de los procesos de rehabilitación hidrológica de manglares en las zonas priorizadas de la isla de Providencia y Santa Catalina. Siendo así, se logró evidenciar que 9 de los encuestados pertenece a un tipo de organización social asentada en el territorio, por lo cual pueden fungir como aliados estratégicos debido a su experiencia y conocimiento del entorno (Figura 37).

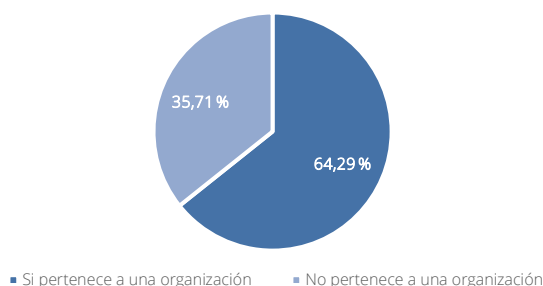


Figura 37. Pertenencia a organización social en Providencia y Santa Catalina.

Dentro de las organizaciones participantes se lograron identificar los siguientes grupos: Raizal Council (máxima autoridad en el territorio); juntas de acción comunal de Providencia y Santa Catalina; asociaciones de pescadores; asociación Art and Grafts; asociación Ecofamars y

asociación de agricultores. Asimismo, se pudo evidenciar que estas organizaciones tienen experiencia de restauración en las siguientes acciones:

- Limpieza de caños y canales.
- Desarrollo de viveros y/o siembra de plántulas.
- Remoción de sedimento.
- Monitoreo de calidad de agua, estructura y regeneración natural del manglar.
- Apertura manual de caños y canales.

Con respecto a las acciones de restauración que se deben implementar en el manglar de Providencia y Santa Catalina se tiene que 12 de los participantes manifiesta la realización de actividades para la limpieza de caños y canales; seguido de 11 participantes que se inclinan por los programas de educación ambiental (Figura 38). Lo anterior, evidencia la necesidad planteada por la comunidad en trabajar articuladamente acciones de restauración de la mano de procesos de formación que garanticen la sensibilización y apropiación social del territorio por parte de los actores locales.

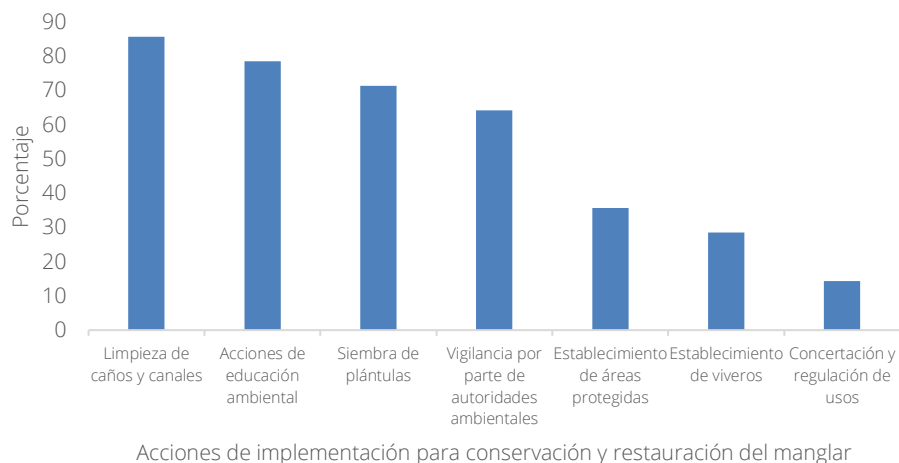


Figura 38. Propuestas de acciones por parte de la comunidad para la rehabilitación de manglares en providencia.

Finalmente, la comunidad agrega que, para garantizar el éxito de estos procesos de rehabilitación, se hace necesario que estos proyectos sean pensados a largo plazo y desde la participación de las comunidades y de múltiples instituciones que tengan influencia en el territorio. Asimismo, agregan que el papel de la población de influencia debe ser indispensable en el desarrollo de estos proyectos, ya que es importante fortalecer los procesos de

apropiación social y de gobernanza ambiental para que estos ecosistemas no se degraden por la falta de intervención o ausencia del estado.

“Es cierto que uno tiene que sobrevivir, pero no siempre me van a dar un sueldo para que uno mantenga el manglar. Eso lo tienen que hacer uno a conciencia, yo nací y me crié alrededor del manglar, cuando yo era Chiquito, había unos cuantos manglares, unos cuantos arbolitos, a medida que yo voy creciendo, yo veo que ese sistema se va poniendo mucho más grande. Entonces yo digo que si yo no vivo al lado de manglar a mí muy poco me ha interesado este ecosistema. ¿Por qué? Porque yo no sé cuáles son las funciones del manglar, pero si yo vivo cerca del manglar yo quiero saber cuál es la función, yo lo voy a estudiar, voy a preguntar (...) pero si no vivo cerca, a mí no me interesa que lo talen, que lo corten, que lo quemen, que le echen basura”

Hombre, población raizal de Providencia y Santa Catalina (2023)

Por su parte, otros habitantes sostienen que, aunque es indispensable la protección de estos ecosistemas debido a los servicios ecosistémicos que estos ofrecen, (sobre todo por la protección natural que este genera), se torna inestable trabajar sin remuneración económica en el tiempo debido a que gran parte de los raizales depende de diversas actividades económicas informales para su subsistencia.

“A mí no me, pero si yo vivo cerca, a mí sí me va a interesar, eso es lo que yo quiero decir, es la conciencia de cada uno. Lógico que el gobierno tiene que dar recurso porque yo como persona tengo que sobrevivir, yo no puedo estar siempre vigilándolo, sembramos muchos y hay muy poquitos, pero no puedo estar todos los días, el gobierno debe tomar conciencia y debe ser a largo plazo”

Hombre, población raizal de Providencia y Santa Catalina (2023)

Por tanto, a modo de conclusión, se puede inferir que es importante poder establecer acuerdos comunitarios con la población raizal de Providencia y Santa Catalina, con el objetivo de poder celebrar convenios o alianzas que garantice a sus habitantes algunos ingresos económicos para su subsistencia. Por otro lado, se hace necesario precisar que los proyectos de rehabilitación hidrológica que se vayan a ejecutar en el territorio deben contar con la participación de las comunidades locales en todas las fases de su desarrollo para poder garantizar así, el éxito y sostenibilidad de los procesos en el tiempo.

4 PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DE RESTAURACIÓN

4.1.1 Priorización de áreas de manglar a restaurar/rehabilitar

Los talleres de priorización para la rehabilitación de manglares realizados con la comunidad y los actores locales de las islas de Providencia y Santa Catalina, y los recorridos de identificación por los manglares de borde priorizados dentro de la misma actividad permitieron establecer

el siguiente listado de calificación de priorización para rehabilitación (Anexos 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3).

La escala de calificación fue de 1 a 3 puntos, donde 1 indica el bosque o área de manglar de mayor priorización para rehabilitación y cuya intervención debe ser inmediata, 2 una prioridad intermedia donde se deben realizar actividades de rehabilitación a corto y mediano plazo y 3 las áreas de manglar donde el impacto del huracán Iota fue menor, por ende, la rehabilitación no es prioritaria. La calificación de priorización para rehabilitación para cada área se observa en la Tabla 16.

Tabla 16 Calificación de la priorización de las diferentes áreas de manglar de las islas de Providencia y Santa Catalina

Zona	Calificación de Priorización
PNN Old Providence McBean Lagoon	1
Manch Bay - Manzanillo	2
Jones Point	2
Santa Catalina	2
Black Sand Bay	2
Old Town	3
Phantom Beach	3
Aguamansa	3
South West Bay	3
Casa Baja	3
Freech	3
Rak Point	3
Free Town	3

4.1.2 Identificación de tensores

Los tensores de acción antrópica identificados en las áreas de manglar priorizadas fueron la alteración de los flujos hídricos, el vertimiento de desechos, basuras y escombros por parte de la comunidad en las áreas de manglar, la quema y tala de material vegetal (Anexo 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3). Los tensores identificados en cada área de manglar priorizada se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17 Tensores antrópicos identificados en cada área de manglar priorizada para la rehabilitación en las islas de Providencia y Santa Catalina.

Área	Tensores
PNN Old Providence McBean Lagoon	Basura proveniente del mar Alteración de los flujos hídricos de la zona por la construcción de la pista del aeropuerto sobre los mismos

Manzanillo	Exceso de Basuras originado por las comunidades aledañas Quema y tala de material vegetal Tensión por actividad turística que sobrepasa la capacidad de carga del sistema Desarrollo de infraestructura con fines turísticos que afecta el área del manglar Mala disposición de <i>Sargassum sp.</i> recolectado en la playa Alteración hidrológica por construcción de carretera de principal acceso a la playa
Santa Catalina y Jones Point	Mala disposición de residuos sólidos Vertimiento de residuos por la planta de tratamiento Relleno de manglares para infraestructura Quema de basuras dentro del área de manglar Taponamiento de gullies

4.1.3 Objetivos del plan de restauración/rehabilitación

Objetivo general

Reestablecer la capacidad de protección costera de los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina a través de la recuperación de la estructura y capacidad reproductiva de los bosques priorizados.

Objetivos específicos

- Favorecer los procesos de regeneración de los bosques de mangles mediante la siembra activa de plántulas de las especies que componen las áreas priorizadas.
- Restaurar la conectividad hídrica de las áreas de manglar de para restablecer las condiciones fisicoquímicas adecuadas para el establecimiento exitoso de plántulas y propágulos de manglar.
- Promover la gobernanza comunitaria ambiental para facilitar la cooperación y coordinación entre las partes interesadas, que potencie el éxito de las medidas de rehabilitación en el largo plazo, el liderazgo comunitario y la capacidad adaptativa por medio de la formación de formadores en temas de restauración ecológica, importancia del manglar, monitoreo de manglar y servicios ecosistémicos.

4.1.4 Metas del plan de restauración/rehabilitación

En la Tabla 18 y continuación Tabla 19 se describen las metas para el logro de los objetivos propuestos, estas metas de rehabilitación están planteadas en el corto, mediano y largo plazo y pueden ajustarse según la respuesta de los manglares (mortalidad, crecimiento y reclutamiento) y la articulación entre los diferentes grupos de interés en las islas.

4.1.5 Estrategias, acciones y técnicas para la restauración/rehabilitación

El conjunto de las acciones de rehabilitación propuestas para alcanzar cada uno de los objetivos de rehabilitación y las metas planteadas en el corto, mediano y largo plazo se describen a continuación (Tabla 20).

Tabla 18. Objetivos y metas de rehabilitación para los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina.

Objetivo	Metas
Restaurar la conectividad hídrica de las áreas de manglar de Providencia para restablecer las condiciones fisicoquímicas adecuadas para el establecimiento exitoso de plántulas y propágulos de manglar	Corto plazo (6 meses) Identificación del estado y funcionamiento de la red hídrica de los manglares priorizados Reconformación de 4 flujos hídricos del área de manglar del PNN Old Providence McBean Lagoon Mediano plazo (5-10 años) Restablecimiento de la conectividad hídrica en dos de los manglares con alteraciones hídricas (PNN Old Providence McBean Lagoon, Manzanillo, Jones Point, Santa Catalina, Black Sand Bay) Largo plazo (15-20 años) Restablecimiento de la conectividad hídrica en tres de los manglares con alteraciones hídricas (PNN Old Providence McBean Lagoon, Manzanillo, Jones Point, Santa Catalina, Black Sand Bay)
Favorecer los procesos de regeneración de los bosques de mangles mediante la siembra activa de plántulas de las especies que componen las áreas priorizadas.	Corto plazo (6 meses) Retiro de todos los tubos de PVC que cubren las plantas que se sembraron en el 2021 en la primera implementación del plan de rehabilitación posterior al paso del huracán IOTA en los sectores de Santa Catalina y Jones Point. Adecuación de 15 hectáreas para el establecimiento y desarrollo de los manglares a través de la remoción de material vegetal muerto en exceso y la eliminación de residuos sólidos ajenos al ecosistema de manglar. Alcanzar la supervivencia del 50% de las plántulas de <i>R. mangle</i> y <i>A. germinans</i> sembradas. Mediano plazo (5-10 años) Recuperación de la capacidad de <i>R. mangle</i> de producción de propágulos a partir de los árboles sembrados (4—8 años) en las áreas de manglar priorizadas (PNN Old Providence McBean Lagoon, Manzanillo, Jones Point, Santa Catalina, Black Sand Bay). Largo plazo (15-20 años) Recuperación de 65—85 % de la cobertura de manglar afectada por el huracán IOTA de las áreas priorizadas (PNN Old Providence McBean Lagoon, Manzanillo, Jones Point, Santa Catalina, Black Sand Bay).

continuación Tabla 19. Objetivos y metas de rehabilitación para los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina.

Objetivo	Metas
Promover la gobernanza comunitaria ambiental para facilitar la cooperación y coordinación entre las partes interesadas, que potencie el éxito de las medidas de rehabilitación en el largo plazo, el liderazgo comunitario y la capacidad adaptativa.	Corto plazo (6 meses)
	Formación de al menos 10 personas locales o un integrante por junta local como líderes formadores en los temas de restauración ecológica, importancia del manglar, monitoreo del manglar y servicios ecosistémicos.
	Mediano plazo (5-10 años)
	Consolidar una (1) estrategia formal de gestión comunitaria con enfoque diferencial, articulada con las autoridades ambientales para actividades de rehabilitación de manglares.
	Largo plazo (15-20 años)
	Mantener en funcionamiento una (1) estrategia formal de gestión comunitaria con enfoque diferencial, articulada con las autoridades ambientales para actividades de rehabilitación de manglares.

Tabla 20. Objetivos, acciones, zonas de implementación e indicadores de rehabilitación para los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina.

Objetivo	Acciones	Zonas de implementación
Restaurar la conectividad hídrica de las áreas de manglar de Providencia para restablecer las condiciones fisicoquímicas adecuadas para el establecimiento exitoso de plántulas y propágulos de manglar	- Limpieza de material vegetal y residuos en canales (corto plazo). - Análisis del estado de la red hídrica de los manglares priorizados. - Análisis de flujos preferenciales basados en modelos de elevación micro topográficos (mediano plazo). - Diseño de acciones de rehabilitación hidrológica (mediano plazo). - Ejecución de acciones de rehabilitación hidrológica (mediano y largo plazo). - Monitoreo de variables fisicoquímicas (mediano y largo plazo).	PNN Old Providence McBean Lagoon, Santa Catalina, Manzanillo, Jones Point
Favorecer los procesos de regeneración natural de los bosques de mangles mediante la siembra activa de plántulas de las especies que componen las áreas priorizadas	- Análisis espacial de la salinidad y variables fisicoquímicas determinantes de la salud del manglar - Remoción de residuos sólidos ajenos al ecosistema de manglar y fragmentación de escombros vegetales excesivos (corto plazo) - Mantenimiento de las plántulas sembradas en el 2021 (retiro de tubos PVC) en Santa Catalina y Jones Point - Recolección de propágulos de <i>R. mangle</i> y <i>A. germinans</i>. - Siembra de plántulas de <i>R. mangle</i> y <i>A. germinans</i> (mediano y largo plazo) - Monitoreo de la estructura y la regeneración	PNN Old Providence McBean Lagoon, Santa Catalina, Manzanillo y Jones Point
Promover la gobernanza comunitaria ambiental para facilitar la cooperación y coordinación entre las partes interesadas, que potencie el éxito de las medidas de rehabilitación en el largo plazo, el liderazgo comunitario y la capacidad adaptativa	- Realizar los Talleres de educación ambiental con la comunidad local y líderes de juntas de acción comunal para la formación de formadores en temas de restauración ecológica, importancia del manglar, monitoreo del manglar y servicios ecosistémicos.	Comunidades locales de Providencia y Santa Catalina

5 FASE DE IMPLEMENTACIÓN

El plan de trabajo para la implementación se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Plan de trabajo para implementar las acciones de restauración en islas de Providencia y Santa Catalina.

Actividades	Meses implementación				
	1	2	3	4	5
Socialización actividades con PNN Old Providence McBean Lagoon (gestión de permisos y notificaciones).					
Reunión con la comunidad para socialización del objetivo del proyecto y presentación de las actividades a implementar.					
Visita reconocimiento área INVEMAR e implementadores.					
Restaurar la conectividad hídrica de las áreas de manglar de Providencia para restablecer las condiciones fisicoquímicas adecuadas para el establecimiento exitoso de plántulas y propágulos de manglar.					
Identificación del estado y funcionamiento de la red hídrica de los manglares priorizados.					
Reconformación de 4 flujos hídricos del área de manglar del PNN Old Providence McBean					
Favorecer los procesos de regeneración de los bosques de mangles mediante la siembra activa de plántulas y/o propágulos de las especies que componen las áreas priorizadas.					
Retiro de todos los tubos de PVC que cubren las plantas que se sembraron en el 2021 en los sectores de Santa Catalina y Jones Point.					
Adecuación de 15 hectáreas para el establecimiento y desarrollo de los manglares a través de la remoción de material vegetal muerto excesivo y la eliminación de residuos sólidos ajenos al ecosistema de manglar					
Siembra material vegetal en las áreas priorizadas					
Promover la gobernanza comunitaria ambiental para facilitar la cooperación y coordinación entre las partes interesadas, que potencie el éxito de las medidas de rehabilitación en el largo plazo, el liderazgo comunitario y la capacidad adaptativa.					
Desarrollo de 3 talleres de formación para formadores (restauración ecológica, importancia del manglar, monitoreo del manglar)					

6 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Para verificar el cumplimiento de las metas de rehabilitación propuestas a corto plazo para cada objetivo, se seleccionaron indicadores específicos por cada actividad. La frecuencia de monitoreo de estos indicadores, la unidad muestral correspondiente y la unidad de medida asociada. Se describen en la Tabla 22 y Continuación Tabla 23.

Tabla 22. Indicadores de línea base y seguimiento a las acciones de restauración en islas de Providencia y Santa Catalina.

Objetivo	Criterio	Indicador	Cuantificador	Unidad	Frecuencia de monitoreo	Verificador
Restaurar la conectividad hídrica de las áreas de manglar de Providencia para restablecer las condiciones físicoquímicas adecuadas para el establecimiento exitoso de plántulas y propágulos de manglar	Conectividad hídrica	Conexiones hídricas	Flujos identificados y evaluación de su estado	Metros (m)	Al inicio y al final de la implementación	Informes de seguimiento Bases de Datos
		Flujos priorizados y reconfigurados	Cantidad de flujos reestablecidos	Metros (m)	Mensual, al final de la implementación	
		Parcelas permanentes: Variables físicoquímicas (superficial e intersticial 50cm de profundidad) y nivel de inundación	Salinidad intersticial	Unidad	Mensual, al inicio y final de la implementación	
			Temperatura	°C		
			pH	Unidad		
	Nivel de inundación	cm				
	Limpieza de material vegetal y residuos en canales	Peso del material recolectado por canal	kg/m²	Mensual		
	Estructura de la vegetación y regeneración	Parcelas permanentes: estructura, regeneración natural y estado fitosanitario.	Altura	cm	Mensual	
			DAP	cm		
			Diámetro del tallo	cm		
Propágulos			Unidad			
Plántulas			Unidad			
Patógenos y/o heridas			Unidad			
Retiro de tubos de PVC a plántulas sembradas en 2021			Tubos	Unidad	Mensual	
Altura de plántula			cm			
Diámetro de plántula			cm			
Especie	Unidad					

Continuación Tabla 23. Indicadores de línea base y seguimiento a las acciones de restauración en islas de Providencia y Santa Catalina.

Objetivo	Criterio	Indicador	Cuantificador	Unidad	Frecuencia de monitoreo	Verificador
Promover la gobernanza comunitaria ambiental para facilitar la cooperación y coordinación entre las partes interesadas, que potencie el éxito de las medidas de rehabilitación en el largo plazo, el liderazgo comunitario y la capacidad adaptativa.	Impacto Social	Educación ambiental para la formación de líderes en temas de restauración ecológica, importancia del manglar, monitoreo de manglar y servicios ecosistémicos	Talleres Personas capacitadas Líderes formados	Unidad Unidad Unidad	Al inicio y durante la implementación	Informes de seguimiento Bases de Datos

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Aunque en el plan de rehabilitación se prioriza la recuperación de 4 flujos hídricos dentro del PNN Old Providence McBean Lagoon como una de las actividades principales para la rehabilitación del manglar, es importante revisar el estado de los flujos que colindan con la pista del Aeropuerto el Embrujo, debido a que la comunidad, las entidades locales y el monitoreo en el área evidenció que esta red hídrica es crucial para la recuperación del bosque de manglar en el parque.
- Debido a que el PNN Old Providence McBean Lagoon fue el área más afectada por el paso del huracán Iota se hace necesaria la articulación de todas las entidades locales para llevar a cabo los procesos de rehabilitación del bosque y de acciones urgentes como lo son el retiro de basuras traídas por el mar, la presencia de ganado dentro del área y el desmantelamiento del centro de acopio localizado en el área de amortiguación del parque.
- Debido a los problemas de vertimientos en las áreas de manglar de Santa Catalina y Jones Point, se hace necesaria la intervención y articulación de la entidad encargada de los procesos de limpieza y alcantarillado con la comunidad y demás organizaciones locales para dar el manejo óptimo a estos desechos.
- Para el manejo de los tensores antrópicos identificados en las diferentes áreas de manglar de las islas como la quema de basuras, el desecho de escombros, el vertimiento de gasolina, el relleno de suelos es crucial realizar actividades de educación ambiental como las planteadas dentro del plan de rehabilitación para la formación de formadores en temas de rehabilitación, restauración ecológica, importancia del manglar, monitoreo del manglar y servicios ecosistémicos.
- Es importante realizar mayores esfuerzos para lograr un trabajo articulado con los diferentes actores locales bajo un propósito común que favorezca el éxito de la restauración de manglares no solo en los sectores priorizados sino en toda la isla.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Boughalleb, F., Denden, M., & Tiba, B. B. (2009). Anatomical changes induced by increasing NaCl salinity in three fodder shrubs, *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5), 947-960.
- Elster, C., Perdomo, L., & Schnetter, M. L. (1999). Impact of ecological factors on the regeneration of mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. In *Diversity and Function in Mangrove Ecosystems: Proceedings of Mangrove Symposia held in Toulouse, France, 9–10 July 1997 and 8–10 July 1998* (pp. 35-46). Springer Netherlands.
- Evangelides, C. & Nobajas, A. (2020). Red-Edge Normalised Difference Vegetation Index (NDVI705) from Sentinel-2 imagery to assess post-fire regeneration. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 17: 100823.
- Giraldo Salazar, J., Ortiz Fonseca, J., Buenaventura Rodríguez, B., Matiz González, M., Villa Ernel, Peralta, M., . . . Brito Pushaina, A. (2021). Metodologías participativas para la defensa del territorio. Cinep/Programa por la Paz.
- Gillis, L. G., Hortua, D. A., Zimmer, M., Jennerjahn, T. C., & Herbeck, L. S. (2019). Interactive effects of temperature and nutrients on mangrove seedling growth and implications for establishment. *Marine environmental research*, 151, 104750.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.
- INVEMAR. (2021). Expedición Cangrejo Negro - Providencia 2021: Respuesta a los impactos del huracán Iota en los ecosistemas marino costeros, recomendaciones al proceso de restauración y primeras acciones implementadas. Informe Técnico Final. Santa Marta 113 p.
- INVEMAR. (2022). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2021. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 254 p.
- Joshi, Hema, and M. Ghose. "Forest structure and species distribution along soil salinity and pH gradient in mangrove swamps of the Sundarbans." *Tropical Ecology* 44.2 (2003): 195-204.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic botany*, 89(2), 128-137.
- Lopez-Hoffman, L., Anten, N. P., Martínez-Ramos, M., & Ackerly, D. D. (2007). Salinity and light interactively affect neotropical mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. *Oecologia*, 150, 545-556.

- Livingston, J., Archbold, I., & Robinson, D. (2022). Raizales, una etnia por conocer. Alcaldía de Bogotá- Secretaría de educación.
- Martínez Alier, J. (2021). El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración. Icaria Editorial.
- McKee, K. L. (2011). Biophysical controls on accretion and elevation change in Caribbean mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91(4), 475-483.
- Noor, T., Batool, N., Mazhar, R., & Ilyas, N. (2015). Effects of siltation, temperature and salinity on mangrove plants. *European Academic Research*, 2(11), 14172-14179.
- Parida, A. K., & Jha, B. (2010). Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. *Trees*, 24(2), 199-217.
- Pazi, A. M. M., Gandaseca, S. E. C. A., Rosli, N. O. R. A. I. N. I., Hamzah, A. H., Tindit, A. E., & Nyangon, L. A. U. R. N. A. (2016). Soil pH and carbon at different depth in three zones of mangrove forest in Sarawak, Malaysia. *The Malaysian Forester*, 79(1-2), 164-173.
- Pbc, ©. Planet Labs. (2023). PlanetScope Product Specifications. Planet.com. https://assets.planet.com/docs/Planet_PSScene_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf#page=18&zoom=100,72,190.
- Perdomo-Trujillo, L. V., Mancera-Pineda, J. E., Medina-Calderón, J. H., Sánchez-Núñez, D. A., & Schnetter, M. L. (2021). Effect of restoration actions on organic carbon pools in the lagoon—Delta Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Water*, 13(9), 1297.
- Pérez, A., Libardoni, B. G., & Sanders, C. J. (2018). Factors influencing organic carbon accumulation in mangrove ecosystems. *Biology letters*, 14(10), 20180237.
- Reddy, R. & DeLaune, R. (2008). Biogeochemistry of wetlands: science and applications. CRC Press. 800 p.
- Rodríguez-Rodríguez, J. A., Mancera-Pineda, J. E., & Tavera, H. (2021). Mangrove restoration in Colombia: Trends and lessons learned. *Forest Ecology and Management*, 496, 119414.
- Rodríguez-Rodríguez, J.A. (Ed.) (2022). La restauración de los manglares en Colombia: Técnicas, saberes y experiencias. Serie Publicaciones Generales No. 123 de INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 176 p.
- Rodríguez-Zúñiga M. T., E. Villeda Chávez, A. D. Vázquez-Lule, M. Bejarano, M. I. Cruz López, M. Olguín, S. A. Villela Gaytán, R. Flores (Coordinadores). (2018). Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 272 pp.

- Sánchez-Núñez, D., Rodríguez-Rodríguez, J.A., Gil Torres, W, Vega A., Zamora A. (2021). Plan de rehabilitación de los manglares de providencia. Fortalecimiento de la restauración de manglares en Colombia: Técnicas, saberes y experiencias. MinAmbiente - INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. P.
- Serrato, V. G., Ferro, M., Ferraro, D., & Riveros, F. (1991). Anatomical changes in *Prosopis tamarugo* Phil. seedlings growing at different levels of NaCl salinity. *Annals of Botany*, 68(1), 47-53.
- Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2021). Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools.
- Tavera, H. (2014). Documento final de los lineamientos para el monitoreo de ecosistemas de manglar en Colombia. Tercer Informe. Contrato de prestación de servicios No. 52 -14, en el marco del Convenio No. 156 del 2014 suscrito entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS y la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible – ASOCARS. Bogotá, Colombia. 57 p.
- Tomlinson PB (1986) The botany of mangroves. *Cambridge University Press*, London
- Van der Stocken, T., Wee, A. K., De Ryck, D. J., Vanschoenwinkel, B., Friess, D. A., Dahdouh-Guebas, F., ... & Webb, E. L. (2019). A general framework for propagule dispersal in mangroves. *Biological Reviews*, 94(4), 1547-1575.
- Wakushima, S., Kuraishi, S., & Sakurai, N. (1994). Soil salinity and pH in Japanese mangrove forests and growth of cultivated mangrove plants in different soil conditions. *Journal of plant research*, 107, 39-46.
- Zeng, L., & Shannon, M. C. (2000). Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. *Agronomy Journal*, 92(3), 418-423.

9 ANEXOS