

Catálogo de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

 Isla Colón, Bocas del Toro, Panamá



1. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL)

Isla Colón y Carenero, ubicadas en la provincia de Bocas del Toro en Panamá, enfrentan varios problemas relativos al sistema de abastecimiento de agua potable que afecta tanto a sus residentes como al sector turístico, sector clave en su economía. Las islas dependen principalmente del lago Big Creek como fuente de agua, aunque actualmente la planta de tratamiento también se abastece de pozos situados en el interior de la isla.

El turismo en Isla Colón ha crecido significativamente en los últimos años, aumentando la presión sobre la infraestructura de abastecimiento. Este crecimiento urbano y turístico ha generado una demanda de agua potable que las instalaciones actuales no pueden satisfacer plenamente, sobre todo en

temporadas de alta afluencia de visitantes, y, por tanto, no se garantiza un suministro constante, especialmente en temporada de bajas precipitaciones, donde muchas viviendas y negocios deben recurrir a cisternas o sistemas privados de recolección de agua para complementar el abastecimiento municipal. La mayoría de los negocios de hostelería, cuentan con tanques en los que almacenan el agua que obtienen de la red para tener agua corriente de forma continua.

Adicionalmente, se espera que estas islas puedan sufrir a corto y medio plazo un descenso de las precipitaciones y ascenso de las temperaturas, por efecto del cambio climático, que reducirá la producción de agua superficial en la cuenca del Big Creek, por lo que será necesario buscar fuentes alternativas de abasto como los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), que ya algunas viviendas y negocios han implementado en el área.

Objetivos

- Proveer una fuente alternativa y sustentable de agua a las comunidades que no tienen acceso al recurso, con un sistema que permite almacenar agua en períodos de lluvia y usarla en época de escasez.
- Promover la conservación y uso sostenible del agua, fomentando un uso más racional del recurso hídrico y aliviando la presión sobre otros cuerpos de agua.
- Fomentar la autogestión y descentralización del agua, facilitando que la población no dependa exclusivamente de las redes de abastecimiento, y reduciendo el impacto sobre ellos.



Lago Big Creek, en Isla Colón, Bocas del Toro.

Impactos atendidos

Impactos climáticos

- Escasez de recursos hídricos
- Inundación pluvial
- Erosión

Impactos no climáticos

- Impactos económicos derivados de la escasez de agua
- Salud pública
- Alteración de ecosistemas

Servicios ecosistémicos



Aprovisionamiento

Agua Potable



Sostenimiento

Ciclo de los nutrientes



Culturales

Salud física y mental - Valor educativo



Regulación

Regulación del ciclo del agua - Regulación de la erosión - Purificación del agua y tratamiento de residuos - Control de plagas y enfermedades - Moderación de los eventos extremos

Beneficios y co-beneficios

- Reducción de daños económicos y sociales derivados de la escasez de recursos hídricos.
- Aumento de la disponibilidad de agua en zonas con suministro limitado o sin acceso a infraestructura.
- Alivio de la presión sobre las fuentes y sistemas convencionales.
- Resiliencia ante sequías y cambio climático, al permite almacenar agua durante la temporada de lluvias para uso en épocas secas.
- Empoderamiento de las comunidades y fomenta prácticas de autogestión del recurso.
- Promoción de la conciencia sobre el uso eficiente y la conservación del agua entre los usuarios.
- Reducción de gastos en abastecimiento, al reducir la dependencia de servicios externos o camiones cisterna.

Modelo técnico



Plazo de implementación

Un sistema de captación de agua de lluvia típico en una vivienda puede instalarse en un par de días y en una escuela en unos 5 días. Por las características del equipamiento requerido, estos pueden brindar servicio de agua hasta 20 años con un adecuado mantenimiento.

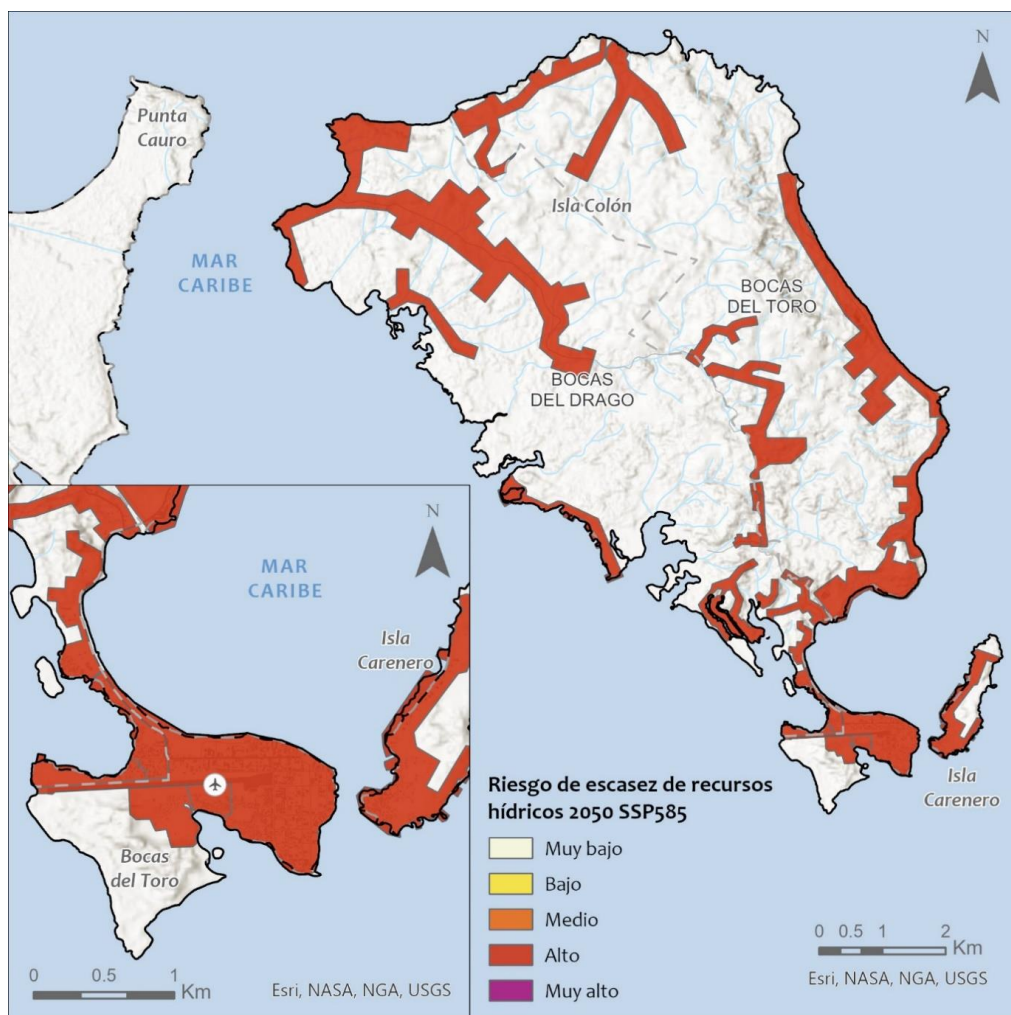


Lugar y escala de aplicación

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) son altamente adaptables y pueden instalarse en viviendas, escuelas, incluso en restaurantes y hoteles, adaptándose a las necesidades específicas de cada lugar. En viviendas y escuelas, estos sistemas son útiles para actividades no potables como riego, limpieza, e incluso, con tratamiento adecuado, para el consumo.

En restaurantes y hoteles, el agua de lluvia puede emplearse para riego de jardines, lavado de áreas comunes y, con sistemas de purificación avanzados, en servicios sanitarios o para cocinar.

Actualmente, las zonas más alejadas del centro urbano de Isla Colón no cuentan con acceso al sistema de abastecimiento, y en las que lo hay, el servicio no es continuo, por lo que la medida se podría aplicar de forma generalizada en las islas, además, de acuerdo con la evaluación de riesgo, para el horizonte 2050 toda el área va a encontrarse en alto riesgo de escasez de recursos hídricos.



Riesgo por escasez de recursos hídricos en Isla Colón y Carenero para el horizonte 2050 y escenario SSP5-8.5. Fuente: IHCantabria, 2024.

Características técnicas



Los **SCALL** permiten la captación de agua de lluvia, utilizando como superficie de captación los techos de edificios y viviendas. El agua se conduce al almacenamiento mediante canaletas y tubos, pasando antes por un filtro de hojas y un tanque de separación primaria del agua de lluvia que lava la superficie y aporta el 60% de la calidad del agua requerida.

Una vez en el almacenamiento, se dispone de tres componentes que contribuyen a mantener la calidad del agua:

- Primero es un reductor de turbulencias para evitar que los sedimentos que han podido pasar queden suspendidos en el agua. Los sedimentos que atrapa este separador se drenan por la parte inferior y forma parte de la operación adecuada del SCALL.
- Un segundo dispositivo de clorado para desinfectar y una toma flotante, que asegura que el sistema de bombeo siempre tomará agua lo más limpia posible.
- Finalmente, el agua pasa por un sistema de filtrado, conformado por dos filtros: uno de malla para eliminar los sedimentos que pudieran llegar a pasar, y uno de carbón activado para eliminar olor y sabor a cloro. Este proceso descrito hace que el agua sea apta y cumpla con el protocolo de uso y contacto.

Modelo económico

El costo de instalar un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) puede variar según el tamaño del sistema, los materiales, y las necesidades específicas del lugar. A continuación, una estimación de costos:

- **Viviendas:** Para una vivienda, el costo promedio de un SCALL básico, que incluye canaletas, tuberías, un tanque de almacenamiento de entre 1,000 a 2,000 litros y un filtro básico, puede variar entre 500 y 1,500 USD \$. Este rango cubre un sistema que recolecta agua para usos no potables. Sin embargo, si el sistema necesita purificación para hacer el agua potable (agregando filtros de carbón activado o luz ultravioleta), el costo puede elevarse a entre 1,500 y 3,000 USD \$.
- **Escuelas y negocios:** un sistema de tamaño medio puede costar entre 3,000 y 10,000 USD \$, dependiendo de la capacidad del tanque (habitualmente entre 5,000 y 10,000 litros) y del nivel de tratamiento del agua que se necesita para los usos específicos.

Modelo financiero

Para la implementación de SCALL en Bocas del Toro, tanto para su instalación como para su mantenimiento, requerirá la integración de diversas fuentes de financiamiento que aseguren su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo. En este sentido, se proponen los siguientes mecanismos e instrumentos financieros:

Financiamiento mixto (público-privado): Este modelo combina fondos públicos municipales y aportes del Gobierno Central, con aportaciones de la empresa privada o inversionistas particulares (nacionales o internacionales).

El municipio, a través del Concejo Municipal, deberá establecer un marco regulatorio y ofrecer incentivos (tributarios o no tributarios) para las empresas privadas o particulares que participen. Las empresas podrán encargarse de la inversión en instalación, operación y mantenimiento de los SCALL durante un período determinado.

En las áreas que se requiera, el municipio deberá gestionar el terreno o ubicación para los SCALL y la infraestructura básica.

Instrumentos de financiamiento basados en el suelo: La Ley 94 de 1973, establece y reglamenta la **Contribución de Mejoras por Valorización**, dispone que los municipios pueden cobrar contribución por mejoras para la ejecución de obras de interés público.

El Concejo Municipal deberá regular este instrumento, estableciendo de manera específica el procedimiento y mecanismos para la implementación de este tributo, así como los incentivos correspondientes. Se debe adoptar una definición amplia de obra pública, que no se limite exclusivamente a las obras grises, e incluir componentes de adaptación al cambio climático en las obras públicas financiadas con este recurso.

Actores clave

Actores claves	Fases			
	Diseño	Implementación	Monitoreo, evaluación y mejora continua	Escalonamiento y replicación
Autoridades Nacionales				
Autoridades Locales				
Empresas o entidades del sector privado				
Comunidades/ sociedad civil				
Fundaciones, ONGs y OBCs y asociaciones locales				
Promotores				
Instituciones académicas y centros de investigación				
Agencias internacionales y donantes				
Profesionales idóneos/expertos técnicos				
Público objetivo				

Monitoreo y evaluación

Cantidad de agua

- **Indicador:** Cantidad de agua captada.
- **Método:** Medición del volumen de agua recolectada en el tanque (litros) mediante contador o medición directa.
- **Frecuencia:** Mensual.

Calidad del agua

- **Indicador:** Calidad del agua (pH, turbidez, bacterias).
- **Método:** Pruebas de laboratorio para analizar pH, turbidez, y presencia de coliformes fecales u otros patógenos.
- **Frecuencia:** Trimestral o semestral.

Personas beneficiadas

- **Indicador:** Número de personas beneficiadas.
- **Método:** Conteo de familias con un SCALL instalado en la vivienda y alumnos en escuelas con SCALL.
- **Frecuencia:** Tras la instalación del SCALL.

Uso del agua

- **Indicador:** Volumen de agua utilizado para cada uso.
- **Método:** Registro de usos del agua (limpieza, riego, consumo, etc.) mediante encuestas o monitoreo de consumo.
- **Frecuencia:** Mensual.

Reducción en el uso de agua del sistema de abastecimiento

- **Indicador:** Reducción del volumen de agua del sistema de abastecimiento utilizado.
- **Método:** Comparación de los consumos de agua antes y después de la implementación del SCALL, o estimaciones de uso.
- **Frecuencia:** Trimestral.

Reducción de escorrentía

- **Indicador:** Reducción del volumen de agua de escorrentía.
- **Método:** Observación y medición de escorrentía en el área cercana a la estructura para evaluar la disminución de flujos de agua..
- **Frecuencia:** Anualmente.

Barreras y desafíos

- La inversión inicial para los materiales y la infraestructura de un SCALL puede ser alta, dificultando el acceso para comunidades o instituciones con pocos recursos.
- Se requiere capacitación en instalación y mantenimiento para asegurar el funcionamiento adecuado y la calidad del agua, algo que no siempre está disponible en todas las comunidades
- En muchos lugares, faltan normativas claras para los SCALL, lo que genera dudas sobre la seguridad del agua y puede complicar su uso en edificios públicos o para consumo humano
- Las variaciones climáticas y la estacionalidad de la lluvia pueden afectar la eficacia de estos sistemas, especialmente en áreas con temporadas secas prolongadas
- Las actitudes y prejuicios hacia el agua de lluvia pueden limitar la adopción de los SCALL. Programas de educación y sensibilización son clave para cambiar estas percepciones y fomentar su uso.

Bibliografía

FAO, 2023. Captación y almacenamiento de agua de lluvia.

Panama Rainwater, 2024. [En línea] Available at: <https://www.panamarainwater.com/blog/panama-avanza-en-la-implementacion-de-sistemas-para-la-captacion-y-el-aprovechamiento-de-agua-lluvia/>

ONU Programa para el medio ambiente, GEF, 2023. Protocolos de 20 medidas de soluciones basadas en la naturaleza implementadas con enfoque de cuenca en zonas urbanas y peri-urbanas. Proyecto CityAdapt.

United Nations Environment Programme (2014). Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects.

Catálogo de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

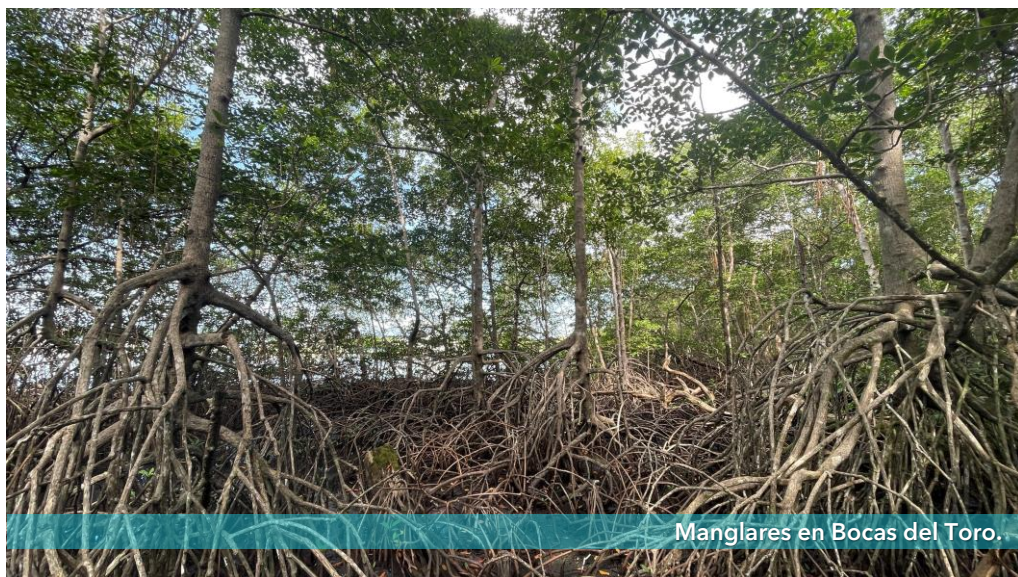
Isla Colón, Bocas del Toro, Panamá



2. RESTAURACIÓN DE MANGLARES

En la actualidad, es frecuente que Isla Colón e Isla Carenero se encuentren afectadas por inundaciones durante eventos costeros extremos que suponen consecuencias directas en las zonas costeras más expuestas. Estas zonas se encuentran principalmente en áreas cercanas al aeropuerto, así como en Isla Carenero.

En el corto y medio plazo Bocas del Toro podría sufrir una variabilidad climática, con impactos en la probabilidad de ocurrencia e intensidad de estos eventos costeros extremos, que implicaría una frecuencia más elevada de eventos de inundación costera, y por consiguiente un incremento de los riesgos para la ciudad.



Manglares en Bocas del Toro.

La existencia de ecosistemas como los manglares puede contribuir durante estos eventos a reducir la velocidad y altura de la inundación, lo que ayuda a mitigar el riesgo en las zonas costeras, además de proporcionar otros beneficios.

La restauración de manglares consiste en realizar esfuerzos para restablecer las características físicas, químicas o biológicas de un manglar antiguo o degradado con el fin de devolverle sus funciones naturales. Estos ecosistemas, en el límite entre terrestres y costeros, son fundamentales en la adaptación y mitigación frente al cambio climático.

Además, los manglares se encuentran entre los ecosistemas más productivos de la biosfera. Estos ecosistemas extraordinarios contribuyen al bienestar, la seguridad alimentaria y la protección de las comunidades costeras. En América Latina y el Caribe, los manglares son también un recurso precioso para las comunidades locales, incluidas las comunidades afrodescendientes y los pueblos indígenas que habitan en las reservas de biosfera costeras.

Objetivos

- Promover y desarrollar acciones de conservación y restauración ecológica de manglares que permita aprovechar sus capacidades como proveedores del servicio ecosistémico de protección costera, eliminando la necesidad de implantar otras medidas de adaptación grises.
- Fomentar el empleo de soluciones basadas en la naturaleza, como parte de la puesta en valor de los servicios de los manglares, incrementando el conocimiento local e indígena de la utilidad de los ecosistemas.

Impactos atendidos

Impactos climáticos

- Inundación costera
- Aumento del nivel del mar
- Erosión costera
- Inundación fluvial
- Inundación pluvial

Impactos no climáticos

- Impactos económicos indirectos
- Alteración de ecosistemas
- Pérdida de biodiversidad
- Pérdida de sumideros de carbono

Servicios ecosistémicos



Aprovisionamiento

Materias primas - Fuente de energía - Agua potable



Sostenimiento

Formación del suelo - Fotosíntesis - Ciclo de los nutrientes



Culturales

Valores estéticos - Recreación y ecoturismo - Patrimonio cultural - Valor educativo



Regulación

Regulación de la calidad del aire - Regulación del clima - Regulación del ciclo del agua - Regulación de la erosión - Purificación del agua y tratamiento de residuos - Control biológico - Polinización - Moderación de los eventos extremos

Beneficios y co-beneficios

- Creación de empleo.
- Impacto sobre la seguridad alimentaria y los medios de vida.
- Reducción de daños derivados de la inundación provocada por eventos climáticos extremos (precipitación o eventos costeros).
- Contribuyen a la producción sostenible de combustibles, madera para la construcción, pesca, acuicultura, textiles, cuero y productos como pulpa para papel y miel de manglar. También pueden generar oportunidades de turismo basado en la naturaleza.
- Mejora de la calidad ambiental de áreas degradadas que sirven para el desarrollo de la biodiversidad.
- Balance de carbono.
- Conectividad del paisaje.
- Control de la erosión.
- Aportación de nutrientes.
- Creación de áreas naturales de esparcimiento y recreación.
- Creación de espacios ambientales y ecológicos educativos.

Modelo técnico



Plazo de implementación

La restauración de un bosque de manglar se lleva a cabo en dos fases principales:

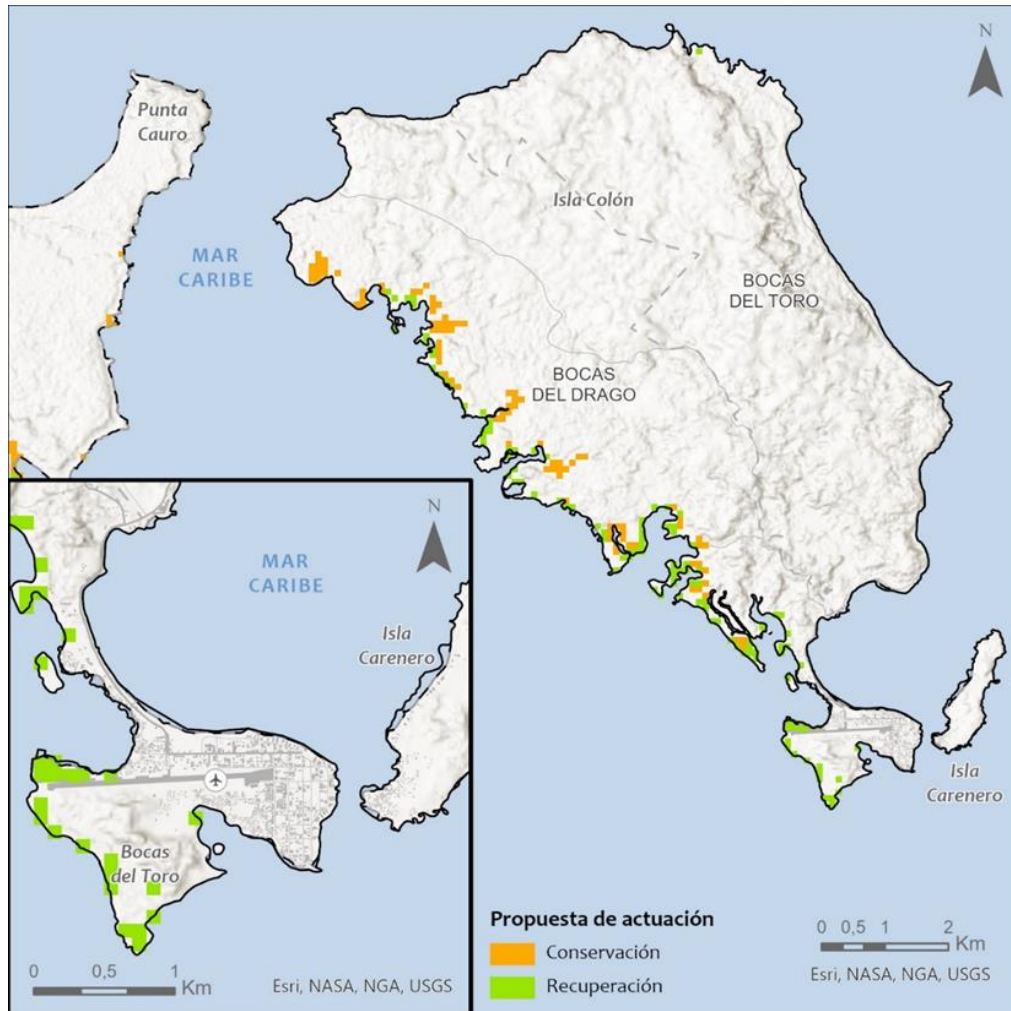
- **Fase de implementación** (tanto para la restauración activa como para la pasiva) (6 a 12 meses): Incluye planificación, preparación del sitio y plantación.
- **Monitoreo y mantenimiento** (5 a 10 años): Asegura la supervivencia y el crecimiento del manglar, con supervisión más intensa los primeros 2 años.

En general, el proyecto requiere 6 meses a 1 año para la restauración inicial y 5 a 10 años para consolidar su éxito.



Lugar y escala de aplicación

Mediante la evaluación de los ecosistemas clave para la provisión de servicios a la ciudad se han identificado áreas potenciales para establecer medidas de preservación y restauración de los bosques de manglar, y que pueden ser el punto de partida para la implementación de la medida. Se han identificado las zonas de manglar que presentan un estado de conservación óptimo, clasificándolas como **'Zonas de conservación'**, mientras que aquellas áreas que muestran signos de degradación o pérdida de cobertura se han catalogado como **'Zonas de restauración'**.



Características técnicas

La restauración ecológica de manglar tiene como objetivo recuperar las condiciones del ecosistema que permitan el crecimiento y recuperación del mismo, así como su establecimiento en zonas potenciales para ello.

El tipo de restauración a realizar debe basarse en un análisis previo de ecología forense que determinará un plan de acción específico, basado en las características topográficas, hidrológicas, fisicoquímicas y biológicas del ecosistema.

Es esencial que el plan de acción incluya el monitoreo de la restauración, ya que esto permite evaluar la efectividad de las acciones implementadas y determinar si es necesario realizar ajustes según el enfoque de manejo adaptativo, en línea con las metas y objetivos establecidos por el equipo de trabajo.

Las acciones de restauración se pueden dividir en dos tipos: **pasiva (restauración hidrológica)** y la **activa (rehabilitación topográfica y/o reforestación)**.

- El principal objetivo de la **rehabilitación hidrológica** es restablecer la hidrología a través de la reconexión de los flujos hídricos con las fuentes de agua dulce y/o marina- salobre en la zona degradada, con el fin de restaurar el nivel, duración y frecuencia de la inundación que restaure las condiciones fisicoquímicas del agua y el suelo. Se lleva a cabo a través del desazolve de canales naturales, la habilitación de canales nuevos, y el desazolve de pasos de agua.
- La **rehabilitación topográfica** busca modificar el nivel del terreno que permita restablecer los patrones y niveles de inundación apropiados para el establecimiento y crecimiento de la vegetación. Se logra mediante la remoción de sedimento o la elevación topográfica.
- Por último, la **reforestación** tiene por objetivo acelerar la recuperación de la estructura y función del manglar. Se implementa solo si las condiciones ambientales son adecuadas para el establecimiento y supervivencia de las plántulas, y consiste en la siembra directa o de ejemplares de vivero.

Propuesta de SbN basadas en medidas de conservación y recuperación del bosque de mangle para Isla Colón, Bocas del Toro. Fuente: IHCantabria, 2024.

Modelo económico

El coste de rehabilitación y recuperación de un bosque de manglar puede variar significativamente dependiendo de varios factores, como el grado de degradación del área, la ubicación, y las técnicas utilizadas.

En términos generales, estos costes deben incluir aspectos como el diagnóstico, la planificación, la propia intervención, los costes de materiales y equipos, y por último los asociados al seguimiento y evaluación.

A modo de orientación, los costes de recuperación de manglares pueden suponer unos \$12,000 USD por hectárea.

Modelo financiero

Para el desarrollo de un proyecto de restauración de bosque de manglar, tomando en cuenta sus diversas fases de implementación, monitoreo y mantenimiento, se propone la integración de diversas fuentes de financiamiento que aseguren su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

En este sentido, se proponen los siguientes mecanismos e instrumentos financieros:

Financiamiento mixto (público-privado): Este modelo combina fondos públicos municipales y aportes del Gobierno Central, con aportaciones de la empresa privada o inversionistas particulares (nacionales o internacionales).

El municipio, a través del Concejo Municipal, deberá establecer un marco regulatorio y ofrecer incentivos (tributarios o no tributarios) para las empresas privadas o particulares que participen. Las empresas podrán encargarse de la inversión inicial para la implementación del proyecto de restauración de bosque de manglar, su monitoreo y mantenimiento durante un período de tiempo determinado.

El municipio deberá gestionar la identificación de los espacios correspondientes, así como gestionar los fondos para el monitoreo y mantenimiento de las áreas restauradas, posterior al periodo acordado con los actores privados.

Instrumentos de financiamiento basados en el suelo: La Ley 94 de 1973, establece y reglamenta la **Contribución de Mejoras por Valorización**, dispone que los municipios pueden cobrar contribución por mejoras para la ejecución de obras de interés público.

El Concejo Municipal deberá regular este instrumento, estableciendo de manera específica el procedimiento y mecanismos para la implementación de este tributo, así como los incentivos correspondientes. Se debe adoptar una definición amplia de obra pública, que no se limite exclusivamente a las obras grises, e incluir componentes de adaptación al cambio climático en las obras públicas financiadas con este recurso.

Actores clave

Actores claves	Fases			
	Diseño	Implementación	Monitoreo, evaluación y mejora continua	Escalonamiento y replicación
Autoridades Nacionales				
Autoridades Locales				
Empresas o entidades del sector privado				
Comunidades/ sociedad civil				
Fundaciones, ONGs y OBCs y asociaciones locales				
Promotores				
Instituciones académicas y centros de investigación				
Agencias internacionales y donantes				
Profesionales idóneos/expertos técnicos				
Público objetivo				

Monitoreo y evaluación

Disponibilidad de agua

- **Indicador:** Hidroperiodo
- **Métodos:** Existen varias opciones metodológicas: observación directa, piezómetros, sensores automáticos o modelado hidrológico.
- **Frecuencia:** Semanal o mensual.

Calidad del agua

- **Indicadores:** Salinidad, pH, potencial redox, sulfitos y otras variables químicas.
- **Método:** Análisis físico-químicos de muestras de agua obtenidas en el manglar.
- **Frecuencia:** Semanal o mensual.

Presencia de fauna (peces, crustáceos, aves, reptiles)

- **Indicador:** Riqueza de especies que se establece en el área restaurada.
- **Métodos:** De forma sencilla se puede realizar un conteo de especies; más avanzado es el empleo de índices de diversidad (Shannon o Simpson).
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Efectividad de la restauración

- **Indicadores:** Reclutamiento de plántulas, composición de especies, tasa de supervivencia o crecimiento.
- **Métodos:** Conteo directo, inventarios de vegetación, medición de altura y diámetro.
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Cambios en cobertura vegetal

- **Indicador:** Área cubierta.
- **Métodos:** Evaluación visual, intercepción de puntos (pin-point), fotografía aérea o satelital.
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Propiedades de los sedimentos

- **Indicador:** materia orgánica, nutrientes totales.
- **Método:** Análisis físico-químicos de muestras de agua obtenidas en el manglar.
- **Frecuencia:** Semanal o mensual.

Barreras y desafíos

- Disponibilidad de recursos económicos
- Propiedad y tenencia de la tierra
- Conflictos de uso de la tierra y cambios en el uso del suelo
- Condiciones climáticas y del suelo
- Resistencia a la adopción de nuevas prácticas
- Transversalización de la adaptación en el marco regulatorio local
- Mantenimiento y seguimiento a lo largo del tiempo

Bibliografía


Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández, C., & Cisneros-de la Cruz, D. J. (coords.), 2021. Manual para la restauración ecológica de manglares del sistema arrecifal mesoamericano y el Gran Caribe. Ciudad de Guatemala: UNEP-Convención de Cartagena, Mesoamerican Reef Fund. ISBN: 978-607-99797-0-6

Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J. A., Cisneros-de la Cruz, D. J., & Román-Cuesta, R. M., 2020. Guía para la restauración ecológica de manglares: Lecciones aprendidas. Proyecto, Mainstreaming Wetlands into the Climate Agenda: A multi-level approach (SWAMP). CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC, 48p

Van Eijk, P., van Bijsterveldt, C., & van Eijk, F. (Eds.), 2023. Pautas de mejores prácticas para la restauración de manglares. Alianza Global de Manglares y la Iniciativa de Carbono Azul. Disponible en: Mangrove Alliance

Wetlands International., 2020. Restauración de manglares: ¿sembrar o no sembrar?. Wetlands International Latinoamérica y el Caribe. Disponible en: Wetlands International.

Catálogo de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

 Isla Colón, Bocas del Toro, Panamá



2. RESTAURACIÓN DE LOS ARRECIFES DE CORAL

En la actualidad, es frecuente que Isla Colón e Isla Carenero se encuentren afectadas por inundaciones durante eventos costeros extremos que suponen consecuencias directas en las zonas costeras más expuestas. Asimismo, la erosión costera es un problema creciente que amenaza su infraestructura, ecosistemas y comunidades costeras. Este fenómeno está fuertemente relacionado con el aumento del nivel del mar, que, impulsado por el cambio climático, incrementa la frecuencia e intensidad de las mareas y oleajes que desgastan las costas. A medida que el nivel del mar sube, las playas y áreas bajas se ven más expuestas a la erosión, acelerando la pérdida de sedimentos y afectando los manglares y arrecifes de coral, que actúan como barreras naturales.



Erosión costera en Isla Carenero, Bocas del Toro.

Los arrecifes de coral desempeñan un papel fundamental en la absorción de las emisiones de carbono. Muchos corales son filtradores, mantienen limpias las aguas cercanas a la costa y albergan muchas plantas y organismos productores de oxígeno. Además, ayudan a prevenir la erosión costera disipando la energía de las olas antes de que lleguen a la orilla. Esto ayuda a mantener la arena y los sedimentos en su sitio y protege de daños las infraestructuras costeras cercanas.

La clave para proteger los arrecifes de coral a largo plazo es restaurar su estado de salud y crear las condiciones que permitan a los corales adaptarse al cambio climático. También se centra en reducir el impacto humano y devolver a los corales a un estado más saludable y menos amenazado. Más de un centenar de comunidades dependen directamente de ellos para su subsistencia.

Objetivos

- Promover y desarrollar acciones de conservación y restauración de corales que permita aprovechar sus capacidades como proveedores del servicio ecosistémico de protección costera, eliminando la necesidad de implantar otras medidas de adaptación grises.
- Fomentar el empleo de soluciones basadas en la naturaleza, como parte de la puesta en valor de los servicios de los corales, incrementando el conocimiento local e indígena de la utilidad de los ecosistemas.

Impactos atendidos

Impactos climáticos

- Inundación costera
- Aumento del nivel del mar
- Erosión costera

Impactos no climáticos

- Impactos económicos indirectos
- Alteración de ecosistemas
- Pérdida de biodiversidad
- Pérdida de sumideros de carbono

Servicios ecosistémicos



Aprovisionamiento

Materias primas - Provisión de hábitats para especies pesqueras



Sostenimiento

Ciclo de los nutrientes - Biodiversidad



Culturales

Valores estéticos - Recreación y ecoturismo - Patrimonio cultural - Valor educativo



Regulación

Regulación de la erosión - Control biológico - Moderación de los eventos extremos

Beneficios y co-beneficios

- Creación de empleo.
- Impacto sobre la seguridad alimentaria.
- Reducción de daños derivados de la inundación provocada por eventos climáticos extremos (eventos costeros).
- Fomento del ecoturismo basado en la preservación de arrecifes.
- Mejora de la calidad ambiental de áreas degradadas que sirven para el desarrollo de la biodiversidad.
- Conectividad del paisaje.
- Control de la erosión.
- Creación de áreas naturales de esparcimiento y recreación.
- Creación de espacios ambientales y ecológicos educativos.

Modelo técnico



Plazo de implementación

La restauración de una hectárea de arrecife de coral puede llevar varios años:

- **Implementación activa** (1 a 3 años): incluye la recolección de fragmentos de coral, cultivo en viveros y trasplante al arrecife. Este proceso es lento, ya que el crecimiento de los corales es muy lento, y suele requerir cuidados y monitoreo.
- **Monitoreo y mantenimiento** (5 a 10 años o más): después del trasplante, es crucial monitorear el crecimiento y la salud de los corales para asegurar que se establezcan bien. Esta fase puede extenderse hasta una década, debido a la fragilidad de los corales y su lenta recuperación.

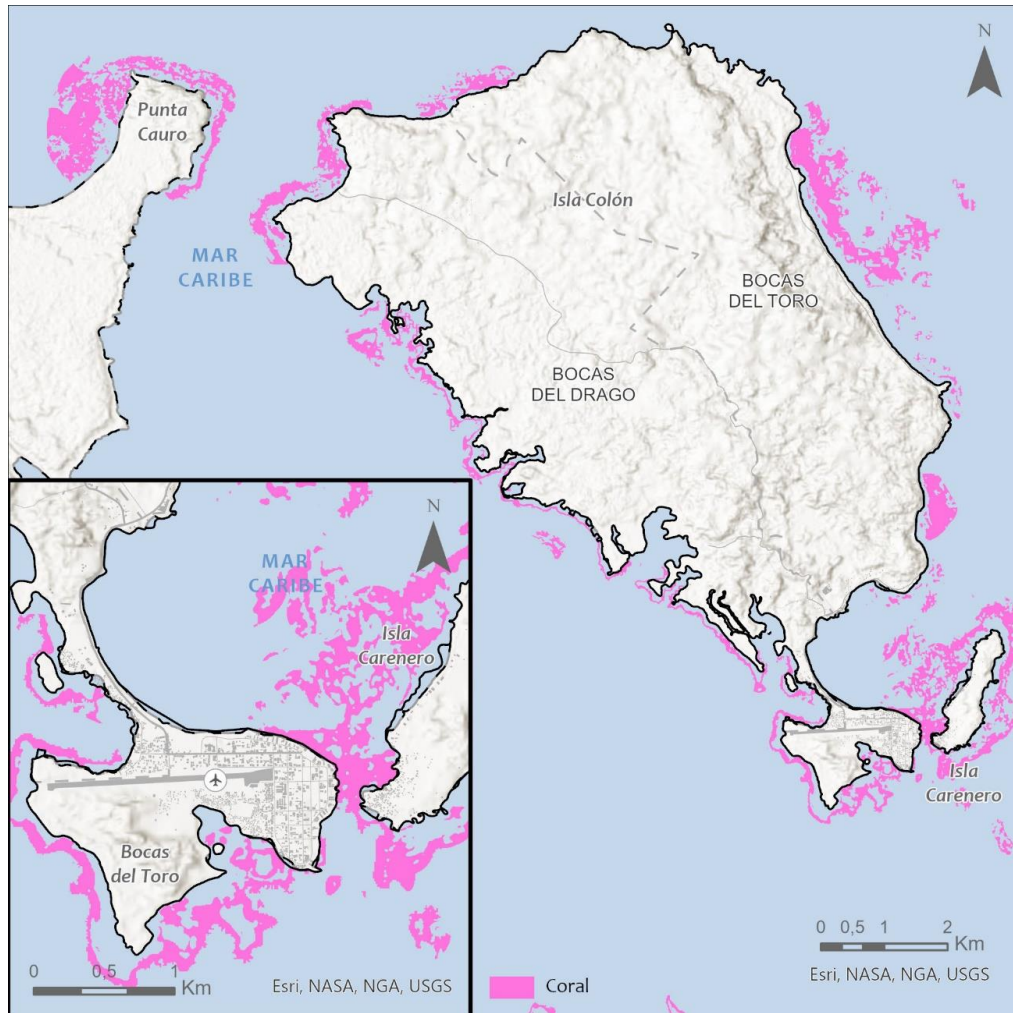
En total, el proceso de restauración completa puede tomar entre 6 y 13 años, dependiendo de las condiciones ambientales y el éxito de cada fase.



Lugar y escala de aplicación

Un ecosistema como el arrecife de coral presenta una elevada variabilidad, que se manifiesta en la diversidad de especies, la complejidad estructural y las dinámicas ecológicas, que pueden cambiar significativamente en respuesta a factores ambientales y antropogénicos.

La variabilidad y complejidad en su desarrollo, y estructura de los corales en el área de Isla Colón e Isla Carnero hace necesario la realización de un análisis específico y detallado para la correcta evaluación de la recuperación a plantear.



Mapa de presencia de corales en el área de Isla Colón e Isla Carenero, Bocas del Toro. Fuente: IHCantabria, 2024.



Características técnicas

Existen varios métodos para la recuperación de corales, cada uno con sus propias técnicas y enfoques. Algunos de los más comunes son los siguientes:

1. **Trasplante de corales:** Consiste en recolectar fragmentos de corales sanos de arrecifes saludables y trasplantarlos a áreas degradadas. Estos fragmentos continúan creciendo y ayudan a repoblar el arrecife.
2. **Viveros de corales:** Los corales se cultivan en viveros, tanto en el mar como en tierra, antes de ser trasplantados a los arrecifes. Esto permite un control más preciso sobre las condiciones de crecimiento y aumenta las tasas de supervivencia.
3. **Selección de corales tolerantes al calor:** Algunos proyectos se centran en identificar y cultivar corales que son naturalmente más resistentes a las altas temperaturas y otros factores de estrés. Estos corales se trasplantan a áreas afectadas para mejorar la resiliencia del arrecife.
4. **Restauración de hábitats:** Además de trasplantar corales, se trabaja en la restauración del hábitat circundante, como la eliminación de especies invasoras y la mejora de la calidad del agua, para crear un entorno más favorable para el crecimiento de los corales.

Cada uno de estos métodos puede ser utilizado de manera independiente o en combinación. En todo caso, será necesaria una evaluación preliminar del estado del ecosistema que, dependiendo de las necesidades específicas del arrecife y los recursos disponibles, permita definir un plan de acción y la estrategia a desarrollar.

Modelo económico

Los costes principales de la recuperación de corales generalmente incluyen:

- **Recolección y cultivo de fragmentos de coral:** implica la recolección de fragmentos de coral de arrecifes saludables y su cultivo en viveros. Los costos pueden incluir equipo de buceo, transporte y mantenimiento de los viveros.
- **Trasplante de corales:** una vez que los corales han crecido lo suficiente en los viveros, se trasplantan a los arrecifes. Esto requiere mano de obra especializada y equipo de buceo, lo que puede ser costoso.
- **Monitoreo y mantenimiento:** después del trasplante, es crucial monitorear los corales para asegurar su supervivencia y crecimiento. Esto incluye la evaluación periódica de la salud de los corales y la implementación de medidas correctivas si es necesario.
- **Investigación:** es esencial para mejorar las técnicas de restauración y adaptarlas a las condiciones locales. Puede incluir estudios de genética de los corales, resistencia a enfermedades e impacto del cambio climático.
- **Participación comunitaria y educación:** Involucrar a las comunidades locales y educarlas sobre la importancia de los arrecifes de coral puede suponer un costo significativo.

Estos costes pueden variar ampliamente dependiendo de la escala y la complejidad del proyecto, oscilando entre \$25,000 y \$400,000 USD por hectárea.

Modelo financiero

Para el desarrollo de un proyecto de restauración y conservación de arrecifes de coral, se proponen los siguientes mecanismos e instrumentos financieros:

Financiamiento mixto (público-privado): Este modelo combina fondos públicos municipales y aportes del Gobierno Central, con aportaciones de la empresa privada o inversionistas particulares (nacionales o internacionales).

El municipio, a través del Concejo Municipal, deberá establecer un marco regulatorio y ofrecer incentivos para las empresas que participen. Las empresas podrán encargarse de la inversión inicial para la implementación del proyecto, su monitoreo y mantenimiento durante un período de tiempo determinado.

Instrumentos de financiamiento basados en el suelo: La Ley 94 de 1973, establece y reglamenta la **Contribución de Mejoras por Valorización**, dispone que los municipios pueden cobrar contribución por mejoras para la ejecución de obras de interés público.

El Concejo Municipal deberá regular este instrumento, estableciendo de manera específica el procedimiento y mecanismos para la implementación de este tributo, así como los incentivos correspondientes. Se debe adoptar una definición amplia de obra pública, que no se limite exclusivamente a las obras grises, e incluir componentes de adaptación al cambio climático en las obras públicas financiadas con este recurso.

Actores clave

Actores claves	Fases			
	Diseño	Implementación	Monitoreo, evaluación y mejora continua	Escalonamiento y replicación
Autoridades Nacionales				
Autoridades Locales				
Empresas o entidades del sector privado				
Comunidades/ sociedad civil				
Fundaciones, ONGs y OBCs y asociaciones locales				
Promotores				
Instituciones académicas y centros de investigación				
Agencias internacionales y donantes				
Profesionales idóneos/expertos técnicos				
Público objetivo				

Monitoreo y evaluación

Reproductividad

- **Indicador:** Capacidad de reproducción del coral.
- **Métodos:** Rastreo, muestreo, seguimiento
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Calidad del agua

- **Indicadores:** Salinidad, pH, temperatura, potencial redox, sulfatos, materiales pesados y otras variables representativas.
- **Método:** Análisis físico-químicos de muestras de agua obtenidas en el entorno del coral.
- **Frecuencia:** Semanal o mensual.

Biodiversidad

- **Indicador:** Riqueza de especies (biodiversidad) que se establece en el área restaurada.
- **Métodos:** De forma sencilla se puede realizar un conteo de especies; más avanzado es el empleo de índices de diversidad (Shannon o Simpson).
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Efectividad de la restauración

- **Indicadores:** Tasa de supervivencia, crecimiento, cobertura de coral vivo, resistencia al estrés.
- **Métodos:** Conteo directo, inventarios de corales, medición de extensión y densidad.
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Productividad del fitoplancton

- **Indicador:** Tasa de conversión en materia orgánica (biomasa).
- **Métodos:** Método de la fotosíntesis, medición de la clorofila-a, uso de imágenes satélite o fotografía aérea.
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Productividad del zooplancton

- **Indicador:** Tasa de conversión en material orgánica (biomasa).
- **Métodos:** Estimación de biomasa (muestreos, conteos), experimentos de cultivo, marcadores biológicos, modelado ecológico.
- **Frecuencia:** Mensual o anual.

Barreras y desafíos

- Disponibilidad de recursos
- Erosión costera persistente y condiciones climáticas adversas
- Resistencia a la adopción de nuevas prácticas
- Transversalización de la adaptación en el marco regulatorio local
- Falta de sensibilización
- Falta de capacidades técnicas locales

Bibliografía

Boström-Einarsson, L., Babcock, R. C., Bayraktarov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S. C. A., Hancock, B., Harrison, P., Hein, M., Shaver, E., Smith, A., Suggett, D., Stewart-Sinclair, P. J., Vardi, T., & McLeod, I. M., 2020. Restauración de corales: una revisión sistemática de los métodos actuales, éxitos, fracasos y direcciones futuras. PLoS ONE, 15(1), e0226631

Kaufman, M.L., Watkins, E., van Hooijdonk, R. et al. Thermal history influences lesion recovery of the threatened Caribbean staghorn coral *Acropora cervicornis* under heat stress. Coral Reefs 40,