

## Acciones de mitigación y adaptación ante la erosión costera de playas arenosas del Caribe Sur, Costa Rica

### *Mitigation and adaptation actions for coastal erosion of sandy beaches in the Southern Caribbean, Costa Rica*

Maikol Castillo-Chinchilla,\* \*\* Lilliana Piedra-Castro,\*\* José Miguel Pereira Chaves<sup>+</sup> y Luis Sierra Sierra<sup>++</sup>

Recibido: 29/01/2024. Aceptado: 6/05/2024. Publicado: 20/11/2024.

**Resumen.** Las zonas costeras del mundo enfrentan serios problemas debido a las consecuencias de la erosión en playas. Si bien es cierto que se realizan esfuerzos por contener este avance del mar, estas en ocasiones se convierten en acciones aisladas debido a la carencia de instrumentos que orienten el proceso de toma de decisiones. Esta falta de metodologías y proyectos dirigidos a la contención del avance del mar también afecta al Caribe Sur de Costa Rica. El objetivo de la investigación fue formular un plan de acción que integre soluciones basadas en la naturaleza que puedan ser implementadas como herramientas de mitigación ante la erosión costera de las playas arenosas del Caribe Sur, Costa Rica. Para esto se trabajó con un grupo focal donde los actores sociales manifestaron sus percepciones respecto a los principales problemas que ocasiona la erosión de la costa, y realizaron reconocimientos de las playas arenosas de comunidades como Vizcaya, Estrella, Cahuita, Manzanillo y Gandoca. La información que brindaron se clasificó con el fin de valorar la viabilidad para ser incorporada en el plan de acción. Además, se realizó una selecta revisión bibliográfica respecto a experiencias en otros países que han implementado planes de acción y soluciones basadas en la naturaleza. Los resultados obtenidos a partir de los grupos focales muestran que el 95% de los actores locales reconoce la existencia de al menos tres

impactos que son los detonantes del deterioro de la costa, a saber: arrastre de arena de las playas, pérdida de vegetación de la duna y de biodiversidad asociada. Los participantes también reconocieron el efecto que tiene el avance del mar hacia el continente sobre la fauna (57%) y la vegetación (36%) como agentes que producen mayor afectación. Reconocen la existencia de al menos cuatro ejes principales que tienen relación con este tema, como lo son la disminución del ingreso económico y la reducción de la entrada de turistas a las playas, principalmente de aquellas zonas que han sido identificadas previamente con tendencia erosiva fuerte, entre ellas Puerto Vargas, Puerto Viejo, Manzanillo y Gandoca. Con base en la información recopilada se logró definir un plan de acción que consta de seis objetivos con sus respectivos indicadores, resultados esperados y actores involucrados en la ejecución. En esta herramienta, además, se detallan soluciones basadas en la naturaleza que pueden ser incorporadas para poner en marcha, tomando en cuenta las características que tiene cada una de las playas arenosas consideradas para esta investigación. De ahí que las medidas propuestas incluyen obras de tipo rígido y blandas, mismas que contribuyen a la protección de los ecosistemas, al permitir la reducción de la energía del oleaje, la diversificación de los hábitats marinos, las actividades de aprovechamiento

\* Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo Costa Rica (DOCINADE), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica; \*\* Escuela de Ciencias Biológicas Heredia, Costa Rica. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6823-0326>. Email: [maikol.castillo.chinchilla@una.cr](mailto:maikol.castillo.chinchilla@una.cr). Autor de correspondencia.

\*\*\* Escuela de Ciencias Biológicas Heredia, Campus Omar Dengo, Heredia, Av. 1, Calle 9. 86-3000, Costa Rica. Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-4878-1531>. Email: [lilliana.piedra.castro@una.cr](mailto:lilliana.piedra.castro@una.cr)

<sup>+</sup> Escuela de Ciencias Biológicas Heredia, Campus Omar Dengo, Heredia, Av. 1, Calle 9. 86-3000, Costa Rica. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6056-3364>. Email: [jose.pereira.chaves@una.cr](mailto:jose.pereira.chaves@una.cr)

<sup>++</sup> Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-9619-8587>. Email: [lmsierra1@yahoo.com.mx](mailto:lmsierra1@yahoo.com.mx)

de recursos disponibles para la pesca de subsistencia y el incremento de la resiliencia de las playas arenosas. Se concluye que para el Caribe Sur de Costa Rica existe terreno fértil para la realización y ejecución de pequeños proyectos con enfoque en costas vivas y soluciones basadas en la naturaleza. Es importante destacar que las acciones de mitigación propuestas deben estar contenidas en este plan de forma tal que sea integral, solidario y sostenible en el tiempo, lo cual permitirá que exista de manera efectiva la adaptación de las comunidades costeras ante la problemática que ocasiona la erosión de la costa.

**Palabras clave:** cambio climático, indicadores, resiliencia, restauración, playas arenosas.

**Abstract.** The world's coastal zones face serious problems due to the consequences of beach erosion. While it is true that efforts are being made to contain this advance of the sea, these sometimes become isolated actions due to the lack of instruments to guide the decision-making process. This lack of methodologies and projects aimed at containing the advance of the sea also affects the Southern Caribbean of Costa Rica. The objective of the research was to formulate an action plan that integrates nature-based solutions that can be implemented as mitigation tools for coastal erosion of sandy beaches in the Southern Caribbean, Costa Rica. For this purpose, we worked with a focus group where social actors expressed their perceptions regarding the main problems caused by coastal erosion, and also conducted a reconnaissance of the sandy beaches of communities such as Vizcaya, Estrella, Cahuita, Manzanillo and Gandoca. The information they provided was classified in order to assess the feasibility of incorporating it into the action plan. In addition, a selected bibliographic review was carried out regarding experiences in other countries that have implemented action plans and nature-based solutions. The

results obtained from the focus groups indicated that 95% of the local stakeholders recognize the existence of at least three impacts that are the triggers of coastal deterioration, namely, dragging of sand from the beaches, loss of dune vegetation and associated biodiversity. The participants also recognized the effect of the advance of the sea towards the mainland on fauna (57%) and vegetation (36%) as the agents that cause the greatest impact. According to them, there are at least four main axes that are related to this issue, such as the decrease in economic income and the reduction in the entry of tourists to the beaches, mainly in those areas that have been previously identified as having a strong erosive tendency, among them Puerto Vargas, Puerto Viejo, Manzanillo and Gandoca. Based on the information gathered, an action plan was defined, consisting of six objectives with their respective indicators, expected results and actors involved in the execution. This tool also details nature-based solutions that can be incorporated for implementation, taking into account the characteristics of each of the sandy beaches considered for this research. Hence, the proposed measures include rigid and soft works, which contribute to the protection of ecosystems by reducing wave energy, diversifying marine habitats, allowing the use of available resources for subsistence fishing and increasing the resilience of sandy beaches. It is concluded that for the Southern Caribbean of Costa Rica there is fertile ground for the realization and execution of small projects with a focus on living coasts and nature-based solutions. It is important to emphasize that the proposed mitigation actions should be contained in this plan in such a way that it is comprehensive, supportive and sustainable over time, which will allow for the effective adaptation of coastal communities to the problems caused by coastal erosion.

**Keywords:** climate change, indicators, resilience, restoration, sandy beaches.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos erosivos de la costa a nivel planetario suponen soluciones que buscan minimizar o detener el avance del mar como resultado del retroceso costero, principalmente de aquellas con menor costo, que puedan ser sostenibles y resilientes (Morales *et al.*, 2022). Existe una diversidad importante de obras de ingeniería dura, como espigones, rompeolas, muros de contención, las cuales magnifican los efectos de la erosión de playas arenosas (Chen *et al.*, 2022).

Según Franzen *et al.* (2021), las obras de ingeniería dura pueden incidir en la dirección y altura de las olas y provocar además un cambio de la corriente, lo cual ocasiona impactos negativos en el transporte de sedimentos al incrementar la

socavación y la pérdida de estos, variar las características hidráulicas y sedimentarias naturales (Perricone *et al.*, 2023) del ambiente marino e interferir en el flujo de agua entre el continente y el océano (Winterwerp *et al.*, 2013). Aunque tales obras son diseñadas con el fin de protección, frecuentemente tienen efectos adversos al cambiar la condición natural de los ambientes marino-costeros, lo cual tiene implicaciones para la evolución y la gestión costera (Manno *et al.*, 2016; Yue *et al.*, 2016).

Ante esta problemática que enfrenta la ingeniería costera y debido a la intensificación de los eventos erosivos que experimentan las zonas costeras del mundo, se han puesto en marcha proyectos a nivel internacional y regional que buscan generar

información útil que ayude en la comprensión de los alcances que tiene este tema. De ahí que muchas de las iniciativas terminen en la ejecución de obras que no son coherentes con la hidrodinámica costera y crean un desequilibrio de los ecosistemas costeros (McLachlan y Defeo, 2018; Coelho *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2022).

Como parte de las acciones puntuales para minimizar la erosión costera surgen los planes de acción que buscan articular los esfuerzos que se realizan desde las iniciativas locales para atender integralmente dicha problemática (Coelho *et al.*, 2023), de forma tal que se mejore la mitigación de las comunidades para poder enfrentar este tema de una manera efectiva. La iniciativa busca establecer la dirección a seguir ante los escenarios que se espera afecten no solo los servicios ambientales de los ecosistemas, sino que incidan en el bienestar de las poblaciones humanas que dependen de la presencia de playas arenosas.

En términos generales, la tendencia del avance del proceso erosivo se direcciona hacia la disminución acelerada en el ancho de las playas arenosas y de la variación de las condiciones ambientales originales (Ciarmiello y Di Natale, 2015; Liew *et al.*, 2020; Coelho *et al.*, 2023; Marsh, 2023), lo cual tiene el potencial de provocar cambios en las comunidades de flora y fauna asociada (Castillo-Chinchilla *et al.*, 2023). En el caso específico del Caribe Sur de Costa Rica, se ha venido investigando recientemente sobre los impactos de la erosión en toda la línea litoral (Pérez-Briceño y Lizano, 2021), mismos que tienen efectos notorios para los pobladores locales, incluyendo fuertes impactos sobre la vegetación de las playas, en la infraestructura de viviendas y la posible contaminación de mantos acuíferos, cambios a nivel del paisaje costero y de la biodiversidad de los arrecifes y manglares (Piedra-Castro *et al.*, 2021).

Es una realidad que las comunidades costeras y los cambios en la línea de costa experimentan interacciones que orientan la generación de investigaciones que contribuyan a mitigar los efectos que tiene esta situación. Una de estas alternativas se refiere a los planes de acción, los cuales son una herramienta fundamental para orientar los esfuerzos hacia un fin común, como el incremento de

la resiliencia. El objetivo de esta investigación fue formular un plan de acción que integre soluciones basadas en la naturaleza que puedan ser implementadas como herramientas de mitigación ante la erosión costera de las playas arenosas del Caribe Sur, Costa Rica.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El área de estudio se ubica entre el centro de la provincia de Limón y la desembocadura del río Sixaola, en el cantón de Talamanca. En esta franja litoral, denominada Caribe Sur (CS) se realizan monitoreos continuos desde el año 2011 a la fecha (2024) con respecto a la erosión y sus impactos en las playas arenosas. En ellas se incluye Vizcaya, Playa negra, Colon Caribe, Estrella, Cahuita, Puerto Viejo, Manzanillo y Gandoca (Figura 1, página siguiente). Esta información ha sido relevante para la inclusión de acciones que pueden ser implementadas para mitigar el efecto que tiene el desplazamiento de la línea costera por dicho proceso.

En el área de estudio existen tres áreas protegidas con ubicación de su territorio en la zona costera, como lo son el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA), el Parque Nacional Cahuita y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Limoncito, creados entre 1970-1994 (Piedra-Castro *et al.*, 2019).

### Percepciones sobre la erosión de la costa.

Para la definición de acciones puntuales del plan de acción se trabajó con un grupo focal durante los meses de julio y agosto de 2023. Para ello se contó con la participación de doce integrantes, quienes pertenecían a instituciones claves como asociaciones, funcionarios del Sistema Nacional de Áreas de Conservación, empresarios turísticos y actores locales, cuya distribución de edad estuvo entre los 24 y 74 años. Entre los temas medulares que se abordaron destacan los impactos de la erosión de la costa, los problemas que ocasiona la erosión, las playas afectadas y las acciones de protección que puedan ponerse en marcha.

El objetivo de esta actividad fue definir acciones puntuales que pueden ser incluidas en el plan de

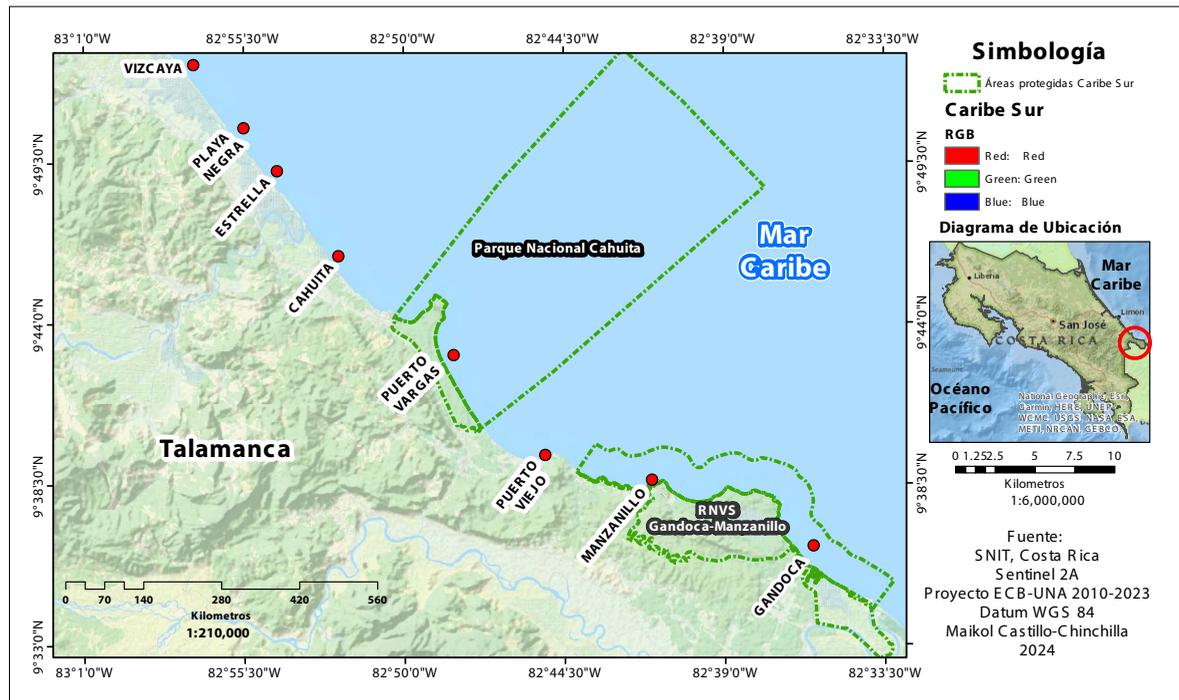


Figura 1. Delimitación del área de estudio en el Caribe Sur de Costa Rica. Fuente: elaboración propia.

acción, mismo que busca ser una herramienta que contribuya con la mitigación de los impactos que ocasiona el desplazamiento de la línea de costa sobre los ecosistemas costeros del CS. Parte de esta información fue evaluada según su viabilidad para incluida en las secciones de metas y resultados esperados del instrumento mencionado.

**Mapeo e identificación de actores clave.** Para este plan de acción costera se consideró la identificación de los actores institucionales, organizaciones no gubernamentales (ONG) y la sociedad que podrían acompañar el desarrollo e implementación de las actividades y de las acciones que contiene. La selección de cada uno de los actores se realizó revisando las fuentes bibliográficas (artículos, informes, tesis, leyes, reglamentos, decretos) que describen los diversos actores en relación con la temática abordada y su injerencia como parte de su quehacer institucional.

En la variable de agrupación se utilizaron tres niveles: nacional, regional y local. También se trabajó con la variable sectores: ejecutores y socios. Y la variable poder, por su parte, incluyó tres niveles:

emisión de políticas, generación y manejo de la información e implementación de acciones.

**Revisión de fuentes bibliográficas.** Mediante el análisis de contenido en diversas fuentes bibliográficas, se obtuvo información relacionada con la experiencias en otros países respecto a la implementación de planes de acción y soluciones basadas en naturaleza, insumos que las comunidades tienen hoy en día a su disposición para afrontar el reto que representa la ejecución de acciones de mitigación o adaptación en el corto plazo, principalmente por la frecuencia de inundaciones marinas, erosión de la costa y las consecuencias derivadas del cambio climático.

**Construcción del plan de acción costera del Caribe Sur.** Para la construcción del modelo conceptual de la problemática de la conservación se evaluaron las comunidades vulnerables de especies de flora y fauna que habitan en los ecosistemas costeros por el desplazamiento de la línea de costa en el CS. Para esto se elaboró una matriz de pesos que toma en cuenta el estado de conservación, resistencia ante el ingreso de agua salada, y su

importancia en los ensambles de las comunidades biológicas de los distintos ecosistemas de la costa.

Tomando como referencia esa información mencionada, se realizó un análisis de las amenazas que recaen sobre ellas y de las posibles acciones de conservación que se desarrollan para su protección ante la variación de la línea de costa. Este primer paso se utilizó para definir las metas principales del plan de acción para la conservación, junto con las acciones que lo deben acompañar.

Se definieron las metas generales, objetivos, resultados y acciones. Además, se incluyeron los objetivos específicos, los resultados esperados y acciones concretas para lograr alcanzar cada uno de los aspectos mencionados anteriormente (Figura 2).

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los principales resultados que dieron sustento a la construcción del plan de acción.

### Percepciones sobre la erosión de la costa.

Con relación a la erosión costera, el 95% de los participantes señaló que existen al menos tres impactos que son los detonantes del deterioro de la costa. Gandoca, Manzanillo, Cahuita, Estrella y Vizcaya son los que experimentan mayor afecta-

ción; el restante 5% no vinculó el deterioro de la costa con algún aspecto, sino más bien considera que son eventos normales que no avanzan hacia el continente (Tabla 1).

Con respecto a las playas arenosas que enfrentan problemas asociados a la erosión costera, los participantes reconocen que Cahuita, Gandoca

Tabla 1. Percepción de los impactos de la erosión de la costa en el Caribe Sur de Costa Rica.

| Impactos  | Localidad                                  | Causa  |
|---|--|--|
| Arrastre de mayor cantidad de arena de las playas.        | Estrella, Cahuita, Puerto Vargas.          | Obras de contención de la terminal de contenedores. Posible cambio de la dinámica de las corrientes. |
| Pérdida de vegetación de la duna, principalmente árboles. | Gandoca, Puerto Vargas, Estrella, Vizcaya. | Ingreso del mar hacia el continente. Cambio climático e incremento del nivel medio del mar.          |
| Pérdida de biodiversidad de playas y zonas aledañas.      | Todas las playas del CS                    | Erosión de la costa en general.  |

Fuente: grupo focal de actores clave.

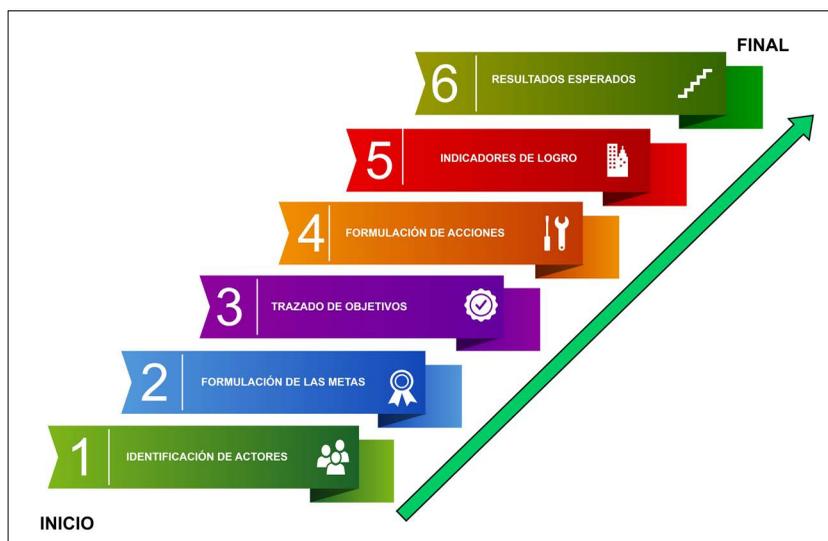


Figura 2. Etapas para la formulación de un plan de acción para la erosión de la costa en el Caribe Sur de Costa Rica.

y Puerto Vargas son las que tienen mayor afectación. En ellas se destacan aspectos como la caída constante de árboles sobre la playa, destrozo de infraestructura, inundación de terrenos y pérdida de zonas para anidación de tortugas como los más recurrentes (Figura 3).

Los informantes reconocieron que la mayor afectación de la erosión costera recae sobre la fauna, señalando como los más afectados a las tortugas y aves marinas, cangrejos, monos e iguanas. Mientras que el 36% de ellos manifestaron que especies como la uva de playa (*Coccoloba uvifera*), el almendro de playa (*Terminalia catappa*), el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el cativo (*Prioria copaifera*), el icaco (*Chrysobalanus icaco*) son las que sufren un mayor impacto como resultado del deterioro de las playas (Figura 3).

Según los participantes, los problemas que ocasiona la erosión se agrupan en cuatro ejes principales, destacados con impactos medios y altos. Resaltan las situaciones respecto a la disminución del ingreso económico y la reducción de la entrada de turistas a las playas, principalmente de aquellas que han sido identificadas con tendencia erosiva fuerte, entre ellas Puerto Vargas, Puerto Viejo, Manzanillo y Gandoca (Figura 4).

**Acciones de protección para las playas del Caribe Sur Costa Rica.** Entre las acciones señaladas por los participantes se resaltan las que tienen relación con labores fundamentales en los procesos de protección, como las campañas de reforestación costera con vegetación propia de la zona (coco, mangle rojo, almendro playa), además detener el avance de construcciones en zonas sensible de la playa y actualización de la franja de protección costera de la ley vigente en este tema (Tabla 2).

Para la propuesta del plan de acción fue necesario realizar un mapeo e identificación de actores claves de interés, considerando que el cambio climático y su impacto sobre las zonas costeras involucra un sistema social complejo que incluye componentes y dimensiones que mantienen interacciones e interdependencia. Este plan de acción se hace con base en los resultados obtenidos de la revisión de fuentes bibliográficas como artículos, informes, tesis, leyes, reglamentos, decretos, que describen los diversos actores en relación con la temática abordada, lo cual ha sido fundamental para la identificación de estos, quienes facilitarán el desarrollo e implementación de manera integral a favor de la mitigación de los impactos negativos en las zonas costeras. Se identificó cada uno de los

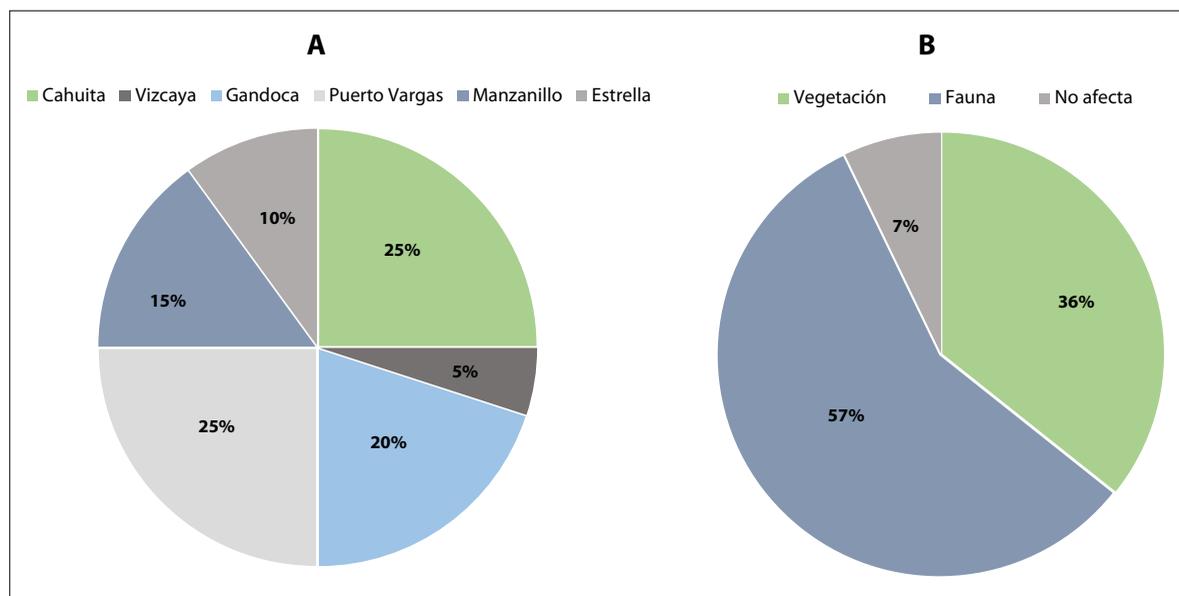


Figura 3. Percepciones sobre la erosión de la costa: a) playas arenosas afectadas por erosión costera; b) biodiversidad afectada por erosión costera.

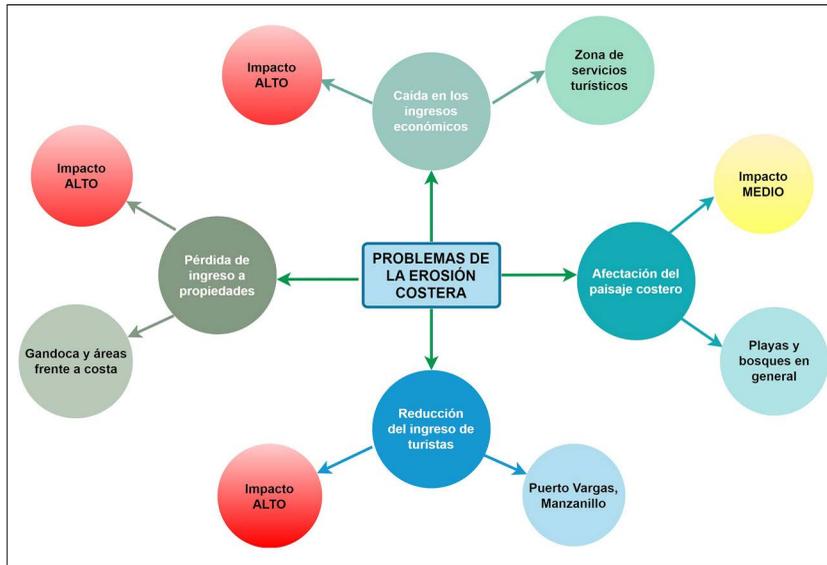


Figura 4. Percepciones de los problemas ocasionados por la erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica.

Tabla 2. Principales acciones, metas y resultados esperados para la protección de las playas arenosas del Caribe Sur de Costa Rica.

| Acciones   | Metas   | Resultados esperados   |
|--|---|--|
| Campañas de reforestación de dunas con vegetación propia de la zona.         | En dos años contar con al menos 1000 árboles en las zonas de la playa que tengan mayor afectación.  | Detener el avance del mar hacia el continente y proteger los ecosistemas costeros.   |
| Prohibir y detener el avance de las construcciones en la orilla de la costa. | Definir obras prioritarias (muros vivos, rompeolas) que favorezcan el mantenimiento de las playas.  | Un plan de atención de la erosión de la costa, en lugares como Gandoca, Puerto Vargas, Cahuita.  |
| Actualización de la ley de zona marítimo terrestre.                          | Contar con una ley que incluya variables climáticas, sociales y económicas para definir adecuadamente la franja de protección más allá de los 200 m en las playas arenosas. | Ley actualizada a las condiciones imperantes en las zonas costeras del país en un contexto mundial de deterioro de la costa. Ajustar ley a las características de cada litoral y según el tipo de playa que mantengan. |
| Campañas continuas de limpieza de playas.                                    | Capacitaciones respecto a disposición de desechos y materiales reciclables de las playas.   | Al menos una comunidad capacitada en la organización de las campañas de limpieza y de reciclaje de materiales de las playas.   |

Fuente: Grupo focal de actores clave

actores que pueden participar en él, ya sea como socios o bien como ejecutores, los cuales fueron organizados en una matriz de interés, que detalla los roles y acciones puntuales que tendría cada uno según las actividades que les corresponde de acuerdo con los temas de su competencia y valorados dependiendo del grado de injerencia en alto (A), medio (M) y bajo (B) (Figura 5).

**Plan de acción.** Las secciones correspondientes a las acciones e indicadores de logro fueron analizadas detalladamente con base en las que fueron propuestas por los participantes de los espacios comunitarios desarrollados, además de la revisión de bases de datos en las cuales se buscó información científica que apoyara cada una de ellas. De esta manera se obtuvo un insumo que fue utilizado para

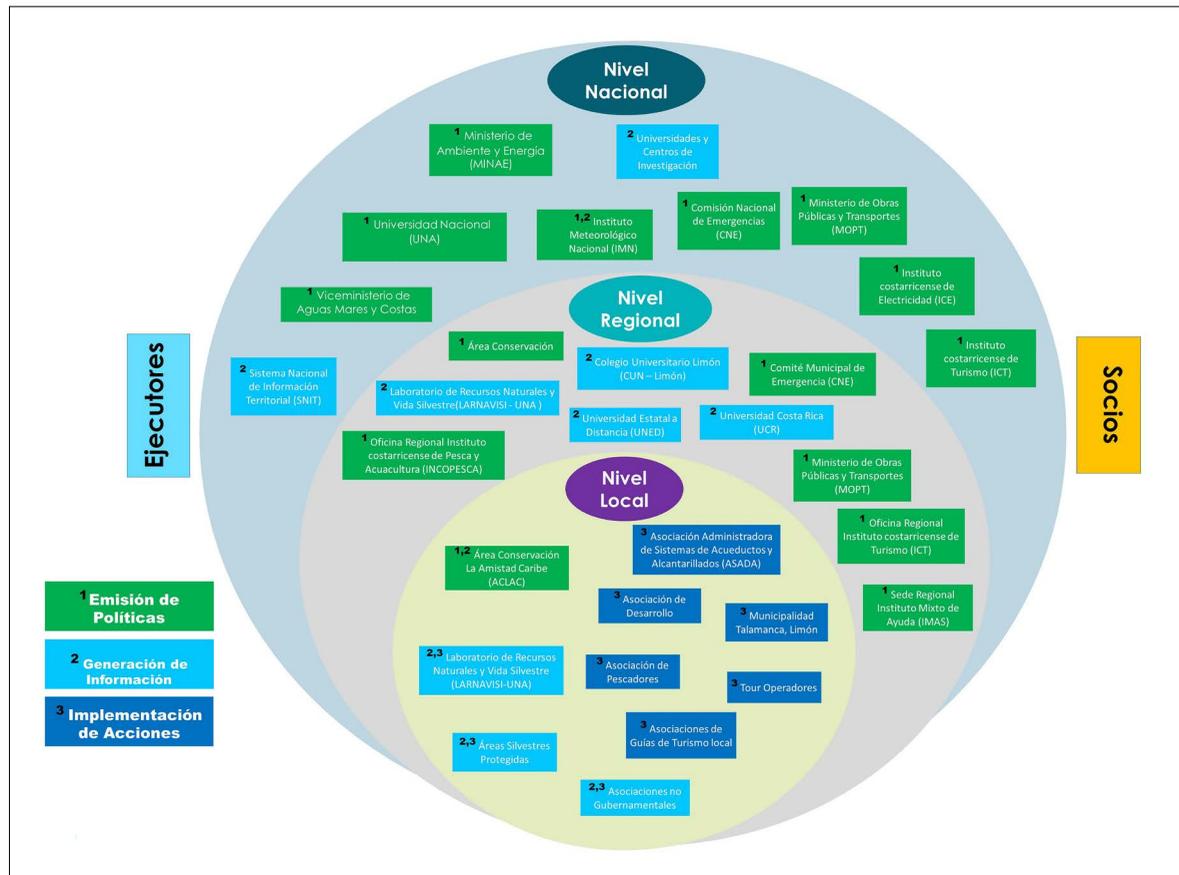


Figura 5. Actores clave y niveles de injerencia en el plan de acción para la erosión costera en el Caribe Sur, Costa Rica.

la construcción del plan para el CS Costa Rica. El plan de acción recopiló toda la información respecto a cada una de las etapas que fueron mencionadas con anterioridad, mismas que se incluyeron como parte de una matriz de cotejo con el detalle para la ejecución según se describe en la Tabla 3.

**Soluciones basadas en la naturaleza como medida de mitigación ante la erosión costera de playas arenosas del Caribe Sur.** Las playas arenosas del CS reúnen condiciones particulares en cuanto a su origen, principalmente las de tipo biogénico (Puerto Vargas, Punta Uva, Cocles y Manzanillo), y las terrígenas o continentales (Vizcaya, Estrella, Cahuita, Puerto Viejo y Gandoca). Se incluye una clasificación del tipo de obra a ejecutar, siendo las rígidas aquellas que, por la naturaleza de sus materiales, son estáticas y no varían sus formas

en el tiempo. Las obras de tipo blando son aquellas que se refieren más a la colocación de elementos naturales y propios de los ecosistemas de la zona, siendo los pastos marinos y los mangles parte de ellos. En la Tabla 4 se describen algunas de esas recomendaciones, con base en la revisión de artículos científicos que abordan estos temas.

Las características imperantes en cuanto al tamaño de las partículas presentes es un criterio que ayuda a definir el tipo de obra que se puede desarrollar. Según se concluye en un estudio realizado por Piedra-Castro *et al.* (2021), la mayoría de las playas del CS tienen características de baja energía cinética, lo que hace que afloren sedimentos de tipo mesocúrtico en al menos el 50% de ellas.

Dichas características y los factores como el oleaje y la profundidad pueden determinar la efectividad

Tabla 3. Plan de acción para la atención de la erosión de la costa en el Caribe Sur de Costa Rica.

| Actores clave  | Metas   | Objetivo  | Acciones  | Indicadores   | Resultados esperados  |
|--|---|---|---|---|---|
| Universidades, ONG, Actores locales y Asociación de estados del Caribe (AEC), MINAE, Área de conservación ACLA-C | Contar con un protocolo de investigación y seguimiento de la condición de las reservas de sedimento presente en las marismas, dunas y posdunas.         | Definir los elementos focales de manejo de la zona costera que se incluirán en el protocolo como complemento al seguimiento de los reservorios de sedimento presente en las marismas, dunas y posdunas. | 1. Validación y oficialización del protocolo nacional para el seguimiento de los reservorios de sedimento de playas arenosas CS.2. Elaboración de las plantillas de campo para la evaluación y el seguimiento de los reservorios de sedimento de playas arenosas del CS.  | Un protocolo validado y oficializado  | Ejecución de primera fase de muestreos en los reservorios de sedimento de las playas arenosas del CS.   |
| Universidades, ONG, Actores locales y Asociación de estados del Caribe (AEC), MINAE, Área de conservación ACLA-C | Instalación de una red local de alerta temprana para el seguimiento de la erosión de playas y sus efectos en el CS.                                     | Establecer una red local de alerta temprana para el seguimiento de la erosión de playas y sus efectos en el CS.   | 1. Compilación de la información técnica y científica para el diseño de la red local de alerta temprana para el seguimiento de la erosión de playas y sus efectos en el CS.<br>2. Selección y ubicación de los sitios prioritarios para la instalación de la red local de alerta temprana para el seguimiento de la erosión de playas y sus efectos en el CS. | Un documento técnico recopilatorio de criterios de playas que formaran parte de la red local de alerta temprana para el seguimiento de la erosión de playas y sus efectos en el CS.<br>Un mapa de los sitios prioritarios para la ubicación de las estaciones de alerta temprana en el CS | Informe con la ubicación de la red local de alerta temprana para el seguimiento de la erosión de playas y sus efectos en el CS. Archivo nacional de las playas arenosas de la costa CS en el SHIFT. |
| Universidades, Asociación de estados del Caribe (AEC).   | Una aplicación móvil de plataforma en nube que contribuya con la ciencia ciudadana en el levantamiento de datos de eventos erosivos de playas en el CS. | Aplicar herramientas tecnológicas para su uso en ciencia ciudadana para el registro de información de eventos de erosión costera en el CS.  | Implementación de herramientas tecnológicas de plataformas en nube que contribuyan en la aplicación de ciencia ciudadana al registro de eventos de erosión costera en el CS.  | Una capacitación a 10 miembros de las comunidades costeras para el registro de datos de eventos de erosión costera en el CS.  | Dos comunidades capacitadas para el levantamiento de datos de eventos de erosión costera en el CS.  |

Tabla 3. Continúa.

| Actores clave   | Metas  | Objetivo  | Acciones   | Indicadores  | Resultados esperados   |
|---|--|---|--|--|--|
| Universidades, municipalidades, Asociación de estados del Caribe (AEC), Área de conservación ACLAC            | Dos parcelas instaladas para ensayos de soluciones basadas en naturaleza para playas arenosas con tasas erosivas altas del CS.   | Identificar áreas para la instalación de un proyecto piloto con soluciones basadas en naturaleza en la costa CS.  | Selección de al menos un sitio donde ubicar un proyecto piloto de soluciones basadas en naturaleza que contribuya en la mitigación de la erosión en las playas arenosas de la costa CS.  | Una investigación aprobada en playas como Gandoca, Manzanillo, Parque Nacional Cahuita, Estrella o Vizcaya sobre las soluciones basadas en naturaleza que puedan ser implementadas en ellas. | Diagnóstico de las zonas aptas en las dunas y playas arenosas para la implementación de la campaña de reforestación y siembra de árboles.  |
| Universidades, ONG, Actores locales Asociación de estados del Caribe (AEC), MINAE, Área de conservación ACLAC | Identificación de los reservorios de arena o bien de las zonas donde se acumulan mar adentro<br>Caracterización de la arena de los reservorios, junto con definición de la deriva litoral neta de cada playa | Determinar las zonas donde se ubican los reservorios de arena ubicados mar adentro<br>Analizar las características de la arena que presentan los reservorios. | Exploraciones marinas que permitan el mapeo y la estimación de los volúmenes de arena de los reservorios ubicados mar adentro.<br>Colecta y análisis de las muestras de arena de los reservorios y mapeo de la deriva litoral neta de cada playa | Un mapa con la ubicación georreferenciada de los reservorios de arena y de los volúmenes con los que se cuenta.<br>Un mapa con la dirección de las derivas litorales de las playas arenosas. | Diagnóstico de las zonas donde se ubican los reservorios de arena y sus respectivos volúmenes<br>Diagnóstico de las características de la arena presente en los reservorios y del análisis de la deriva litoral de cada playa. |

Tabla 4. Playas arenosas y soluciones basadas en naturaleza propuestas según sus características.

| Nombre de la playa  | Solución basada en la naturaleza  | Tipo de obra   |
|---|---|--|
|  <p data-bbox="198 478 264 501">Playa Gandoca</p>      | <p data-bbox="508 354 1120 491">Siembra de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) en la duna y postduna a lo largo de los sectores críticos (Figlus et al., 2022). Esta acción puede contribuir en la reducción de la altura del oleaje entre un 13%-100% dependiendo de la extensión de la siembra (Perricone et al., 2023).</p>   | <p data-bbox="1206 407 1279 433">Blanda</p>          |
|  <p data-bbox="198 707 294 731">Playa Manzanillo</p>   | <p data-bbox="508 564 1115 721">Arrecife artificial impreso en 3D para bivalvos, junto con praderas de pastos marinos, ambas pueden reducir entre 51%-90% la altura del oleaje y 76%-99% la energía de ingreso a la costa (Perricone et al., 2023). La estructura arrecifal puede contribuir en la mitigación del efecto de la erosión de la costa (Chauvin, 2018).</p>                                       | <p data-bbox="1171 623 1312 648">Rígida/Blanda</p>   |
|  <p data-bbox="198 1001 294 1025">Playa Negra</p>     | <p data-bbox="508 850 1115 956">Arrecife artificial impreso en 3D para bivalvos. Esta obra puede atenuar la energía de las olas y reducir la velocidad del agua, minimizando la erosión producto de la acumulación del sedimento atrás de la barrera (Chauvin, 2018).</p>   | <p data-bbox="1206 887 1279 913">Rígida</p>          |
|  <p data-bbox="198 1228 264 1252">Puerto Vargas</p>  | <p data-bbox="508 1085 1135 1242">Arrecife artificial y nutrición verde (praderas de pastos marinos-nutrición de playa), favorecen la atenuación del oleaje, ayudan con la presencia peces y otras especies marinas (Salatin et al., 2022). Las condiciones morfológicas, de oleaje y profundidad de esta playa biogénica favorecen aplicar este tipo de obras como medida de mitigación ante la erosión.</p> | <p data-bbox="1171 1144 1312 1170">Rígida/Blanda</p> |
|  <p data-bbox="198 1452 279 1475">Playa Estrella</p> | <p data-bbox="508 1328 1140 1454">Restauración de la vegetación de marismas en zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos Estrella y Bananito. Siembra de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y vegetación de denso sistema radicular, como el Icacó, principalmente en la duna y postduna a lo largo de los sectores críticos (Figlus et al., 2022).</p>   | <p data-bbox="1206 1377 1279 1403">Blanda</p>        |
|  <p data-bbox="198 1679 279 1703">Playa Vizcaya</p>  | <p data-bbox="508 1556 1130 1681">Restauración de la vegetación de marismas en zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos Vizcaya y Estero Negro. Siembra de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) y vegetación de denso sistema radicular, como el Icacó, principalmente en la duna y postduna a lo largo de los sectores críticos (Figlus et al., 2022).</p>  | <p data-bbox="1206 1603 1279 1628">Blanda</p>        |

de las obras que se puedan desarrollar en ellas. Por un lado, las obras rígidas se refieren a estructuras duras que se instalan en zonas con altura de oleaje moderado y que puedan desarrollarse con amplia extensión espacial. Mientras que las blandas son, por el contrario, aquellas en las que interviene la biomasa, la extensión espacial y la profundidad del agua en relación con la altura de la vegetación como criterios para su implementación (Perricone *et al.*, 2023).

## DISCUSIÓN

En general, el escenario planetario respecto a la tendencia de la erosión de la costa plantea retos importantes en diversos ámbitos, los cuales incluyen la gestión de las zonas costeras y sus repercusiones a nivel social. Prueba de ello es que se estima que aproximadamente 2750 millones de personas en todo el planeta viven a menos de 100 kilómetros de la costa (Reimann *et al.*, 2023), lo que representa más del 10% de la población mundial (Maul y Duedall, 2019), cifra que en los próximos 30 años representará en América Latina y el Caribe un incremento del 25%, dada la ocupación de la zona costera y su afectación por eventos climáticos extremos (Ahmad, 2021).

Ante este panorama complejo donde intervienen diversas aristas, es que los países han puesto en marcha medidas que buscan contener los efectos de la erosión costera (Ciarmiello y Di Natale, 2015; Liew *et al.*, 2020; Coelho *et al.*, 2023; Marsh, 2023). Costa Rica, no es la excepción, de ahí que, en el CS recientemente se reconoce la presión que ejerce el desplazamiento de la línea costera debido a los procesos erosivos (Piedra-Castro *et al.*, 2021; Castillo-Chinchilla *et al.*, 2023).

Aportes de las percepciones a la mitigación de la erosión de la costa. Para el CS de Costa Rica, las comunidades costeras tienen criterios que pueden orientar sobre acciones tendientes a mitigar los efectos que ocasiona la erosión de la costa, algunas de ellas incluyen la actualización de la ley de zona marítimo terrestre, principalmente en lo que respecta a las variables climáticas para la delimitación de las zonas de resguardo en playas arenosas.

Otros aspectos llamativos que los participantes realizan se vinculan con la restricción de nuevas construcciones, principalmente de aquellas que se ubican sobre la duna o que interrumpen la nutrición de las playas. Se destaca que el 95% de las personas que participaron de los grupos focales concluyen que hay impactos directos que logran vincular con la erosión costera, como ejemplo mencionaron el arrastre de mayor volumen de arena de las playas, la pérdida de vegetación y de biodiversidad.

Estas percepciones coinciden con los efectos que ocasiona la erosión costera a diversas infraestructuras humanas, incluyendo hoteles y casas de habitación (Ferrari y Monti, 2013). Para los pobladores locales del CS, existen evidencias acumuladas en su memoria histórica que denotan la asociación que realizan entre el deterioro generalizado de las playas arenosas y la erosión de la costa, situaciones que muestran una estrecha relación con el grado de vulnerabilidad y de exposición al peligro que enfrentan (Piedra-Castro *et al.*, 2019).

Adicionalmente, existen temas que se traslapan con el de la erosión de la costa, como la pesca y el turismo, actividades que aportan al sustento diario de las personas que habitan la zona y que han sido descritas como potenciales agentes que inciden en su bienestar, junto con aspectos sensibles relacionados con la salud, la cultura y la migración climática (Cárdenas, 2017).

También se ha documentado que la erosión de la costa incide de manera directa en la vulnerabilidad de los habitantes del CS, siendo esta una de las razones por las que lo en la actualidad ellos mantengan una noción más clara de los efectos que tiene el cambio climático y como golpea a las distintas comunidades (Piedra-Castro *et al.*, 2021). Es destacable que en esta zona del país reconozcan de manera directa no solo los riesgos locales asociados al tema de la erosión costera, sino que alienten a que los habitantes pongan en marcha actividades de manejo que buscan la mitigación de los efectos adversos que tiene la erosión (Piedra-Castro *et al.*, 2019). Tal es el caso de la siembra de manglar rojo (*Rhizophora mangle*) que han realizado los habitantes de la zona de Gandoca a lo largo de sectores específicos de la duna costera, como una medida de protección de la playa arenosa.

Plan de acción en detalle y sus etapas. Uno de los aspectos más críticos para la atención de los impactos que genera la erosión costera es la falta de esfuerzos articulados que contribuyen en la orientación de las medidas adecuadas para contener el avance del mar hacia el continente, tema muchas veces condicionado por el costo-beneficio de las acciones que se emprendan (Williams *et al.*, 2018). Precisamente ante estos vacíos que tiene el CS de Costa Rica, es que surgen iniciativas como los planes de acción. Según como lo señala Coelho *et al.* (2023), estos instrumentos deben ser participativos con miras a que las estrategias que se implementan sean coherentes, justas, contextualizadas y la base para la adaptación ante el cambio climático.

Sin embargo, en el caso de Costa Rica aún no existen planes de acción que sean orientados específicamente a la atención de las consecuencias que genera la erosión de la costa. Para el CS de Costa Rica, esta herramienta representa la primera en su clase, misma que debería sentar las bases de un plan piloto que incluya acciones puntuales de la mano con las comunidades para afrontar estos procesos.

Este plan prevé al menos cinco objetivos, vinculados con temas que requieren atención con carácter urgente. Es crucial que se ejecute un protocolo estandarizado a proyectos regionales para el seguimiento de erosión costera, el fortalecimiento de las capacidades instaladas en el personal técnico nacional en temáticas relacionadas con procesos erosivos, además del establecimiento de la red nacional de alerta temprana para el seguimiento de las tasas erosivas de playas (Ahmed *et al.*, 2023), aplicación de ciencia ciudadana en el registro de información (Longhorn, 2020), proyectos de soluciones basadas en naturaleza (Moraes *et al.*, 2022) y la implementación de una campaña piloto de reforestación en la duna costera con especies nativas.

La implementación de cada uno de estos aspectos está debidamente apoyada en iniciativas que se realizan en la actualidad a nivel mundial (Buzard *et al.*, 2019; Ahmed *et al.*, 2023; Perricone *et al.*, 2023). Con este instrumento, se espera que sienten las bases para la mitigación de la erosión en las zonas costeras principalmente por los efectos que ocasiona el cambio climático y particularmente del deterioro de la costa por la erosión.

**Mitigación e iniciativas basadas en naturaleza como herramienta de contención.** Ante la compleja situación que atraviesan las zonas costeras del mundo por los efectos de la erosión y la transgresión marina se han implementado medidas conocidas como ingeniería dura, que incluye construcción de muros, diques, espigones, rompeolas (Perricone *et al.*, 2023). Sin embargo, dichas obras, aun siendo altamente costosas, no contribuyen de manera certera a la reducción del riesgo (McLachlan y Defeo, 2018; Coelho *et al.*, 2023), por lo que aplicar este tipo de acciones para proteger las playas arenosas del Caribe Sur, por el contrario, puede ocasionar daños en otros ecosistemas.

La construcción de espigones y rompeolas en el frente de las playas arenosas del CS representan un riesgo importante, no solo por la cantidad de recursos que se deben invertir, sino por los impactos que estas pueden ocasionar, sin garantías de su adecuado funcionamiento. Este tipo de iniciativas que se han ejecutado en otros países han sido objeto de análisis ya que sus efectos han ocasionado impactos a los ecosistemas adyacentes, principalmente por la variación que provocan en el equilibrio costero, la dinámica de las corrientes y el transporte del sedimentario (Chen *et al.*, 2022).

En la actualidad están en auge las obras que buscan soluciones basadas en la naturaleza para contener el avance de la erosión de la costa, contribuir en la resiliencia costera, la reducción del riesgo y vulnerabilidad (Reguero *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2022; Guerry *et al.*, 2022). Estas acciones tienen como punto principal mejorar toda aquella estructura, hábitats y características de obras que se construyan en la costa (Perricone *et al.*, 2023). Una de las principales ventajas que tienen estos sistemas, de ser implementados en el litoral caribe, se refiere a la capacidad de autoadaptación que mantienen respecto al incremento del nivel del mar cuando son comparados con métodos tradicionales (Moraes *et al.*, 2022).

En el caso particular de las playas arenosas del CS, existen vacíos importantes que son determinantes en la salud del sistema sedimentario, mismo que va más allá del desplazamiento de la línea costera. Uno de estos temas es la condición de los productores de arena y su contribución a la

estabilidad y su morfología. Por lo que se vuelve crucial identificar y analizar este tema como parte de una medida de mitigación e inicio de cualquier proyecto que busque la rehabilitación de estas.

Otro aspecto tiene que ver con la movilidad y perfil de equilibrio de zonas que son reserva de sedimento, como en los casos de duna y posduna. Con esta información ya analizada se pueden poner en marcha un proyecto de gestión de dunas costeras del CS. En playas como Gandoca, Manzanillo en el sector Punta Uva, Parque Nacional Cahuita, Playa Estrella, mantienen tasas erosivas fuertes (Castillo-Chinchilla *et al.*, 2023) que pueden ser objeto de ensayos para poner en marcha un proyecto de rehabilitación de dunas.

Algunas de estas medidas que tienen valor científico y de aplicación por los resultados que se han obtenido incluyen la nutrición verde (siembra de pastos marinos, combinado con proyectos de alimentación de playas), siembra de vegetación barrera (principalmente de especies halófitas y de crecimiento radicular profundo y alta biomasa), restauración de dunas, instalación de infraestructura azul-verde con aportes para el hábitat o paisajes marinos y costeros, siembra de cortinas de manglar rojo, instalación de estructuras 3D para cultivo de ostras y partes de arrecifes artificiales (Perricone *et al.*, 2023).

Las soluciones basadas en la naturaleza, como las que se proponen para ser implementadas en el CS para la mitigación de la erosión de la costa, han sido parte de las nuevas estrategias que se implementan a nivel mundial para ayudar a mitigar los impactos que genera. De esta manera, los arrecifes artificiales, como los que se plantean para Cahuita y Manzanillo, pueden atenuar de manera efectiva el oleaje, al tiempo que contribuyen con la deposición de sedimentos (Salatin *et al.*, 2022).

De igual manera, la instalación sobre la duna de vegetación que presenta sistema radicular fino ha sido catalogada como una medida efectiva para favorecer la presencia de patrones discontinuos de erosión y acreción en la pendiente de la duna (Feagin *et al.*, 2023) y de su efecto positivo para la reducción de las tasas de retroceso de la costa, al punto de provocar reducción de la salida del sedimento en un 6.6% por cada 100 mg/L de raíces

agregadas (Figlus *et al.*, 2022). Esta es una de las acciones puntuales que puede ser incorporada de manera efectiva en la reducción de los impactos que ocasiona la erosión de las playas arenosas del CS.

En el caso del Parque Nacional Cahuita se propone la siembra de pastos marinos como una de las acciones que han sido implementadas a nivel mundial con resultados positivos y que ayudan al incremento de la fricción de las olas y en la retención del sedimento, favoreciendo de esta manera la reducción de la erosión. Esta medida podría ser complementaria con arrecifes de poliquetos, los cuales contribuyen de manera significativa en la conformación de estructuras protectoras de la playa que alteran el flujo del agua y el consecuente transporte de sedimentos del fondo (Perricone *et al.*, 2023), lo que aumenta la complejidad de los hábitats marinos.

Esta formulación de soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación del impacto de la erosión costera en playas como Gandoca, Manzanillo, Puerto Vargas o Estrella puede favorecer varios frentes de ataque. Por un lado, la reducción de la energía de ingreso que tiene las olas, además de la velocidad de desplazamiento con incremento en el coeficiente de fricción. Sin embargo, es vital señalar que, dadas las características particulares de cada una de las playas del Caribe Sur, no es posible la mención de una única obra como la medida adecuada, por lo que se requiere de información clave que permita establecer cuál es la más adecuada, sea esta de tipo rígido o blando, como se planteó secciones arriba.

De ahí que esta propuesta de plan de acción aporta relevancia al manejo integrado costero, que propone que este proceso convoque a los gobiernos nacionales y locales, comunidades locales, donde se entrelacen aspectos técnicos y científicos, así como intereses públicos y privados para el planteamiento de este tipo de instrumentos que promuevan la conservación y el desarrollo de los ecosistemas y recursos costeros (Forst, 2009).

Lo cual ha sido demostrado por Donini (2021), que reconoce la necesidad de plantear prioridades en el marco de los planes de acción que lleven al manejo integral donde participen diversos actores asociados al espacio costero, donde las obras de protección no son la prioridad.

## CONCLUSIÓN

La protección costera que requiere el Caribe Sur de Costa Rica depende de un esfuerzo colectivo y de la definición de rutas, objetivos y metas que contribuyan con la implementación futura del plan de acción.

Las percepciones del 95% de los pobladores locales respecto a la erosión costera recopiló información de problemáticas entrelazadas con respecto al avance del mar hacia el continente y de los efectos del cambio climático en sus actividades diarias. Se compilaron y contextualizaron recomendaciones para ser incluidas como parte del plan de acción.

Se elaboró un plan de acción que consta de seis objetivos con diez indicadores, donde resalta la instalación de una red de alerta temprana en el CS que se active ante eventos de erosión de playas. El plan también incorpora al menos ocho resultados esperados de su ejecución, entre los que se destaca la realización de una fase de exploración de los reservorios de sedimento en el ambiente marino y que pueden nutrir a las playas arenosas del CS.

Por este panorama tan complejo que enfrentan las zonas costeras de Costa Rica, es que el plan de acción constituye una herramienta poderosa para su gestión que delimita las acciones que se pueden ejecutar para desarrollar proyectos de carácter integral y a nivel local, cuenta con ventajas sobre otros tipos de obras de ingeniería costera, son comparativamente de bajo impacto y con la posibilidad de que los ajustes ante el incremento en el nivel del mar los realice paulatinamente el sistema de manera natural.

El plan de acción contribuye con la articulación de esfuerzos que se realizan en materia de erosión de las playas en el CS, sus objetivos están orientados a integrar, gestionar y analizar toda la información recopilada desde las instituciones que atienden este tema. Su contribución en el marco legal, científico y técnico es determinante en la toma de decisiones en esta materia.

Existe una variedad de condiciones que mantiene cada una de las playas arenosas del CS, de ahí que la puesta en marcha de proyectos que contemplen la construcción de obras de contención debería no solo considerar esos aspectos, sino la incorporación

de soluciones basadas en la naturaleza, mismas que deben ser autosostenibles de forma natural, incluso cuando sean de tipo rígido o blando.

## AGRADECIMIENTOS

Al Observatorio Ambiental de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional. Al personal docente y administrativo del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo por el apoyo brindado a lo largo del programa doctoral. Y al Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre (LARNAVISI) por su contribución con equipo para la ejecución de los análisis.

## REFERENCIAS

- Ahmad, O. (2021). South and Southeast Asia most at risk by climate change. *The Third Pole*. <https://www.thethirdpole.net/en/climate/south-asia-climate-change/>
- Ahmed, T., Creedon, L. y Gharbia, S. (2023). Low-Cost Sensors for Monitoring Coastal Climate Hazards: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sensors*, 23(3), 1717. <https://doi.org/10.3390/s23031717>
- Buzard, R. M., Overbeck, J. R. y Maio, C. (2019). *Community based methods for monitoring coastal erosion*: Alaska Division of Geological y Geophysical Surveys Information. <http://doi.org/10.14509/30182>
- Cárdenas, P. (2017). *Evaluación del impacto social y ambiental generada por la erosión costera en la comunidad de tierra Bomba, Cartagena – Bolívar*. Universidad de Manizales, Colombia. [https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4053/Plaza\\_Cardenas\\_Gina\\_P\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4053/Plaza_Cardenas_Gina_P_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Castillo-Chinchilla, M., Piedra-Castro, L., Pereira Chaves, J., Sierra Sierra, L. y Carvajal Sánchez, J. (2023). Variación espacial y multitemporal de la línea de costa en playas arenosas del Caribe sur de Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*, (111), 1-17. <https://doi.org/10.14350/ig.60726>
- Chauvin, J. M. (2018). *Wave attenuation by constructed oyster reef breakwaters*. LSU Master's thesis. Louisiana State University, Louisiana, USA. [https://repository.lsu.edu/gradschool\\_theses/4752/](https://repository.lsu.edu/gradschool_theses/4752/)
- Chen, W., Müller, P., Grabowski, R. y Dodd, N. (2022). Green Nourishment: an innovative Nature-Based so-

- lution for coastal erosion. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.814589>
- Ciarmiello, M. y Di Natale, M. (2015). Coastal erosion control. En *Encyclopedia of earth sciences* (pp. 131–139). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4\\_386](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_386)
- Coelho, C., Lima, M., Alves, F. M., Roebeling, P., Pais-Barbosa, J. y Marto, M. (2023). Assessing Coastal Erosion and Climate Change Adaptation Measures: A novel Participatory approach. *Environments*, 10(7), 110. <https://doi.org/10.3390/environments10070110>
- Donini, H. (2021). Los procesos de erosión costera en playa Unión. *Párrafos Geográficos*, 20(2), 20-50.
- Feagin, R. A., Innocenti, R. A., Bond, H., Wengrove, M., Huff, T. P., Lomonaco, P., Tsai, B., Puleo, J., Pontiki, M., Figlus, J., Chavez, V. y Silva, R. (2023). Does vegetation accelerate coastal dune erosion during extreme events? *Science Advances*, 9(24). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adg7135>
- Ferrari, P. y Monti, J. (2013). Percepción social del peligro de erosión costera en playa Unión, Chubut (Argentina). *Contribuciones geográficas*, 25, 89-99. [https://www.gaea.org.ar/contribuciones/Contribuciones2013/Ferrari\\_monti\\_2013.pdf](https://www.gaea.org.ar/contribuciones/Contribuciones2013/Ferrari_monti_2013.pdf)
- Figlus, J., Sigren, J. M., Feagin, R. A. y Armitage, A. R. (2022). The unique ability of fine roots to reduce vegetated coastal dune erosion during wave collision. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.904837>
- Forst, M. (2009). The convergence of Integrated Coastal Zone Management and the ecosystems approach. *Ocean and Coastal Management*, 52(6): 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.03.007>
- Franzen, M. O., Fernandes, E. H. y Siegle, E. (2021). Impacts of coastal structures on hydro-morphodynamic patterns and guidelines towards sustainable coastal development: A case studies review. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101800. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101800>
- Guerry, A. D., Silver, J. M., Beagle, J., Wyatt, K., Arkema, K. K., Lowe, J., Hamel, P., Griffin, R., Wolny, S., Plane, E., Griswold, M., Papendick, H. y Sharma, J. (2022). Protection and restoration of coastal habitats yield multiple benefits for urban residents as sea levels rise. *Npj Urban Sustainability*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00056-y>
- Liew, M., Xiao, M., Jones, B. M., Farquharson, L. M., y Romanovsky, V. E. (2020). Prevention and control measures for coastal erosion in northern high-latitude communities: a systematic review based on Alaskan case studies. *Environmental Research Letters*, 15(9), 093002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9387>
- Longhorn, R. (2020). *CoastSnap - Ciencia ciudadana para la observación costera*. ICAN. <https://ican.iode.org/es/noticias/170-coastsnap-citizen-science-for-coastal-observation-es>
- Manno, G., Anfuso, G., Messina, E., Williams, A. T., Suffo, M. y Liguori, V. (2016). Decadal evolution of coastline armouring along the Mediterranean Andalusia littoral (South of Spain). *Ocean & Coastal Management*, 124, 84-99. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.02.007>
- Marsh, J. (2023). Stabilizing coastlines with beach erosion prevention. *Environment Co*. <https://environment.co/beach-erosion-prevention/>
- Maul, G. A., y Duedall, I. W. (2019). Demography of coastal populations. En *Encyclopedia of earth sciences* (pp. 692-700). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6\\_115](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6_115)
- McLachlan, A., Defeo, O. y Short, A. D. (2018). Characterising sandy beaches into major types and states: implications for ecologists and managers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 215: 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.027>
- Moraes, R. P. L., Reguero, B. G., Mazarrasa, I., Ricker, M. y Juanes, J. A. (2022). Nature-Based solutions in coastal and estuarine areas of Europe. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.829526>
- Pérez-Briceño, P. y Lizano, O. (2021). Coastal erosion and beach stability in Limón, Caribbean Sea, Costa Rica. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1(1), 96-110. <https://doi.org/10.23854/07199562.2021571esp.Lizano96>
- Perricone, V., Mutalipassi, M., Mele, A., Di Buono, M. P., Vicinanza, D. y Contestabile, P. (2023). Nature-based and bioinspired solutions for coastal protection: an overview among key ecosystems and a promising pathway for new functional and sustainable designs. *Ices Journal of Marine Science*, 80(5), 1218–1239. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad080>
- Piedra-Castro, L., Castillo-Chinchilla, M. y Morales-Cerdas, V. (2021). Characterization of sandy beaches of the southern Caribbean of Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 34(3), 120-133). <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5197>
- Piedra-Castro, L., Hernández Zanuy, A. C., Sierra Sierra, L. M., Pereira Chávez, J. M., Castillo-Chinchilla, M. y Morales Cerdas, V. (2019). Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la influencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica. *Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 17(1), 21–41. <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i1.2489>
- Reguero, B. G., Beck, M. W., Losada, I. J. y Narayan, S. (2017). Uniendo ingeniería y ecología: la protección

- costera basada en ecosistemas. *Ribagua*, 4(1), 41-58. <https://doi.org/10.1080/23863781.2017.1332824>
- Reimann, L., Vafeidis, A. y Honsel, L. (2023). Population development as a driver of coastal risk: Current trends and future pathways. Cambridge Prisms: *Coastal Futures*, 1, E14.
- Salatin, R., Wang, H., Chen, Q. y Zhu, L. (2022). Assessing wave attenuation with rising sea levels for sustainable oyster Reef-Based living shorelines. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.884849>
- Williams, A. T., Rangel-Buitrago, N., Pranzini, E. y Anfuso, G. (2018). The management of coastal erosion. *Ocean & Coastal Management*, 156, 4-20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022>
- Winterwerp, J. C., Erfteimeijer, P. L. A., Suryadiputra, N., Van Eijk, P y Zhang, L. (2013). Defining Eco-Morphodynamic requirements for rehabilitating eroding Mangrove-Mud coasts. *Wetlands*, 33(3), 515-526. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0409-x>
- Yue, Q., Zhao, M., Yu, H., Xu, W. y Ou, L. (2016). Total quantity control and intensive management system for reclamation in China. *Ocean & Coastal Management*, 120, 64-69. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.026>