



Proyecto Biodiversidad Marino-Costera en
Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y
Adaptación al Cambio Climático



PROGRAMA REGIONAL PARA EL MANEJO DE RECURSOS
ACUÁTICOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS

VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS BIOCLIMÁTICOS DE LOS SISTEMAS MARINO-COSTEROS A NIVEL DEL CARIBE CENTROAMERICANO



Este documento fue producido por el Proyecto Biodiversidad Marino-Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC-GIZ), un proyecto en el marco de la Iniciativa Internacional de la Protección al Clima "IKI" del Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania y por el Programa Regional para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas con el apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional USAID.

Michael Schlönvoigt

Director Proyecto Biodiversidad Marino-Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC)

michael.schloenvoigt1@giz.de

Néstor Windevoxhel

Director Programa Regional para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas (USAID)

nwindevoxhel@mareaprogram.org

Carlos Roberto Hasbún, Ph. D.

Environment and Natural Resources Regional Advisor Mexico and Central America (USAID)

chasbun@usaid.gov

Investigadores:

Lenin Corrales, Claudia Bouroncle, José Ney Ríos, y Pablo Imbach del Programa de Cambio Climático y Cuencas del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Fotografía de Portada: Playa frente a Laguna Taura, por Mariana Elvira Jiménez Arce

Diseño gráfico: Sabrina Geppert

Esta publicación puede citarse sin previa autorización con la condición que se mencione la fuente.

Citar como:

BIOMARCC-USAID 2013. Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del caribe centroamericano. San José, Costa Rica. 80 pags.

DECLARATORIA

La realización de esta investigación ha sido posible gracias a una cooperación entre BIOMARCC y USAID.

El Proyecto Biodiversidad Marino-Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC) es ejecutado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania (BMU) en el marco de su Iniciativa Internacional de la Protección del Clima (IKI). El Programa Regional para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas es ejecutado a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, consecuente con el KRA 1.5: Favorecer la investigación dentro del manejo costero y pesquero en Centro América

Las opiniones que los autores expresaron en esta publicación son responsabilidad del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza Tropical (CATIE) y no reflejan necesariamente las opiniones de los proyectos BIOMARCC y USAID.

Por encargo de:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

 Ministerio Federal de Medio Ambiente,
Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

BIOMARCC

BIOMARCC-SINAC-GIZ, es un proyecto de apoyo al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC-MINAE) ejecutado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del Ministerio Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) en el marco de su Iniciativa Protección del Clima (IKI).

El objetivo principal del proyecto es *“incrementar las capacidades de adaptación de los ecosistemas marino-costeros de Costa Rica ante las consecuencias del Cambio Climático”* y tiene como objetivos específicos:

1. Contribuir a establecer un sistema de áreas protegidas marino-costero ecológicamente representativo y adaptado al cambio climático.
2. Fortalecer las capacidades de gestión de las instituciones responsables del manejo de áreas de conservación marino-costeras y de otros actores locales relevantes, especialmente referentes a los desafíos del cambio climático.
3. Elaborar e implementar conceptos y mecanismos financieros para la adaptación de las áreas protegidas marino-costeras al cambio climático con la participación activa de los actores relevantes.
4. Establecer una plataforma de información, comunicación y cooperación (Mecanismo de Facilitación Nacional) que permita el intercambio y la transferencia de conocimientos y experiencias sobre manejo de los ecosistemas marino-costeros y su adaptación al cambio climático entre los actores relevantes (SINAC; MINAE; instituciones científicas; grupos y población locales).
5. Validar y transferir conceptos, instrumentos y estrategias desarrollados en el marco del proyecto hacia otros países de la región centroamericana.

PROGRAMA REGIONAL DE USAID PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS ACUATICOS Y ALTERNATIVAS ECONOMICAS

El Programa Regional de USAID para el Manejo de los Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas tiene como objetivo fortalecer la gestión de los recursos marino-costeros de Centro América para reducir las amenazas vinculadas con prácticas insostenibles de pesca y desarrollo costero, apoyando la conservación de la biodiversidad y mejorando los medios de vida de las poblaciones en la región. El Programa tiene 4 sitios transfronterizos de enfoque que son el Golfo de Honduras, el Golfo de Fonseca, la Mosquitia de Honduras y Nicaragua y la zona entre Punta Cahuita en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá. Para la consecución de los objetivos y la implementación de las distintas acciones, el Programa cuenta con el apoyo, contribución y coordinación de socios estratégicos integrantes del Sistema de Integración Centroamericana, SICA, como lo son la Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano, OSPESCA, instancia regional en materia pesquera y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, CCAD, instancia regional en materia de medio ambiente.

El cambio climático afectará seriamente los arrecifes de coral, pastos marinos, playas y humedales costeros, todos ecosistemas en los cuales se sustentan las pesquerías y el turismo, medios de vida de la población. De igual forma, la infraestructura de las comunidades, ciudades y comercio de los países se verá afectada seriamente. Por lo tanto, la implementación de medidas de adaptación ante el cambio climático para mantener la funcionalidad de los ecosistemas que sustentan las pesquerías y el turismo, y para mejorar la capacidad adaptativa de las comunidades humanas, es un aspecto clave para el Programa Regional de USAID.

Contenido

	Página
Resumen Ejecutivo.....	ii
Executive Summary.....	iv
I. Introducción.....	1
II. El Caribe Centroamericano y el cambio climático.....	9
III. Impacto del cambio climático sobre ecosistemas marino-costeros.....	23
IV. Capacidad adaptativa.....	40
V. Vulnerabilidad al cambio climático.....	46
VI. Hallazgos relevantes.....	56
VII. Recomendaciones de políticas y opciones de adaptación de los sistemas marino-costeros.....	58
Referencias.....	61
Anexo 1. Escenarios climáticos.....	66
Anexo 2. Vulnerabilidad de las áreas protegidas del Caribe centroamericano bajo dos escenarios de emisiones para el período 2070-2100.....	68
Anexo 3. Número de municipios y distritos y nivel de vulnerabilidad al cambio climático para dos escenarios de emisiones	70
Anexo 4. Distritos o municipios costeros del Caribe Centroamericano.....	71
Anexo 5. Áreas Protegidas del Caribe de Centroamérica incluidas total o parcialmente en el análisis.....	73
Anexo 6. Indicadores de capacidad adaptativa de las unidades administrativas.....	75

Resumen Ejecutivo

Este reporte muestra los resultados del análisis de vulnerabilidad al cambio climático de 63 distritos o municipios costeros y de 149 áreas protegidas marino-costeras en el Caribe de Centroamérica. El análisis se basa en la integración de información entre los análisis de vulnerabilidad realizados previamente por USAID (Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá) y el proyecto BIOMARCC (Costa Rica).

El análisis evalúa la vulnerabilidad de los arrecifes de coral, manglares y pastos marinos bajo la premisa de que existen numerosos vínculos e interacciones tróficas entre éstos y de donde surgen bienes y servicios que dan sustento y son la base de los medios de vida de muchos habitantes. Además, se analizan los efectos sobre la agricultura y bosques de la zona costera.

Se toman en cuenta tres efectos del cambio climático (cambio en la temperatura superficial del mar, aumento del nivel del mar y cambio en la temperatura y precipitación ambiental) bajo dos diferentes familias de escenarios de emisiones (A2 y B1) basados en criterios establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Se encontró una tendencia al aumento del nivel del mar en el Caribe que pone en evidencia la probabilidad de que surjan efectos directos sobre algunos hábitats marino-costeros como playas, humedales y manglares, a la vez que surge la potencial afectación sobre las actividades agrícolas, infraestructura y asentamientos humanos localizados en la zona costera.

Se concluye que los cambios en el patrón de precipitaciones de la región no parecen explicar la tendencia de aumento del nivel del mar en la costa caribe centroamericana. Sin embargo, el aumento del nivel del mar en la costa podría explicarse por un aumento en la descarga de agua continental debido a cambios en el uso del suelo.

La revisión del estrés térmico entre el año 2006 y 2010 en el Caribe centroamericano mostró que todos los arrecifes de la región estuvieron expuestos en mayor o menor medida.

Todos los manglares presentaron impacto potencial medio al aumento de la temperatura ambiental bajo dos escenarios de emisiones, pero se prevé impacto potencial alto y muy alto de los cambios en la precipitación y aumento en el nivel del mar.

Los pastos ubicados en áreas protegidas de Nicaragua y Panamá son los que presentan los valores más altos de impacto potencial de los cambios en la temperatura superficial del mar, en el resto de los países la mayoría de los pastos protegidos está en regiones con impacto potencial muy bajo o bajo de este proceso.

De los 63 municipios costeros analizados, 25 municipios (39%) presentan valores de capacidad adaptativa alta y muy alta; 13 (21%) tienen capacidad adaptativa media y 25 (40%) presentan capacidad adaptativa de baja a muy baja.

A nivel de municipios del Caribe centroamericano, para el escenario de bajas emisiones (B1) el 62 % de los municipios presenta vulnerabilidad de media a alta, cuando se analiza bajo el escenario de altas emisiones (A2) este valor sube al 79%.

Los datos globales de todas las áreas protegidas del Caribe centroamericano muestran que el 64% presenta vulnerabilidad de media a alta (33,5% cada nivel) y solamente un 33% presenta vulnerabilidad baja.

Las tendencias de cambio en las variables de nivel del mar y temperatura superficial del mar sugieren que en los próximos años los estados de la región deben poner especial atención en el tema costero, ya que en la actualidad pocas estrategias regionales y nacionales están enfocando esta problemática. Por lo tanto, que es posible que el tema marino-costero y cambio climático esté siendo subestimado en el nivel regional, nacional y local.

Executive Summary

This report describes the results obtained from a climate change vulnerability analysis conducted for 63 coastal municipalities and 149 coastal-marine protected areas in the Caribbean coast of Central America. The analysis is based on the integration of information from a vulnerability analysis previously conducted by USAID for Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua, and Panama and the BIOMARCC project for Costa Rica.

The analysis assesses the vulnerability of coral reefs, mangroves, and sea grass under the assumption that there are numerous links and trophic interactions among them, that in turn provide good and services to sustain livelihoods of many communities. Moreover, the report also analyzes the effects on agriculture and forests near coastal zones. Three climate change effects (change in sea surface temperature, sea level rise, and changes in environmental temperature and precipitation) were considered, under two different emissions scenarios (A2 and B1) based on criteria established by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

The analysis showed an overall sea level rise in the Caribbean, a trend that would likely impact coastal-marine habitats, such as beaches, wetlands, and mangroves. The trend could also potentially affect agricultural activities and infrastructure in coastal areas.

The report concludes that changes in rainfall patterns for the region do not seem to explain the sea level rise on the Caribbean coast of Central America. However, sea level rise could be explained by an increase in the continental freshwater discharge due to land use changes.

A thermal stress assessment between 2006 and 2010 in Caribbean coast of Central America showed that all coral reefs were exposed to them to a greater or lesser degree.

All mangroves demonstrated a medium potential impact to an increase in environmental temperature when the two emission scenarios were used for analysis. However, it is expected that changes in rainfall and sea level rise could have a high or very high impact on mangroves.

Sea grasses located in protected areas of Nicaragua and Panama demonstrated the highest levels of potential impact to sea surface temperature. In the remaining countries, the potential impact on sea grasses was low or very low.

Of the 63 coastal municipalities analyzed, 25 municipalities (39 %) have high or very high values of adaptive capacity. Moreover, 13 municipalities (21 %) have medium adaptive capacity and 25 (40 %) have low or very low adaptive capacity.

62% of the municipalities showed medium to high values of vulnerability under a low emissions scenario (B1). Under a high emissions scenario (A2) this percentage increased to 79%.

Data for all protected areas in the Central American Caribbean showed that 64 % have medium to high vulnerability (33.5 % each level) and only 33% have low vulnerability.

The observed trends on sea level and sea surface temperatures suggest that Central American countries should pay close attention to coastal issues. Currently, there only a few regional and national strategies focused on coastal-marine and climate change issues suggesting that national, regional, and local government are underestimating the impact of climate change on coastal and marine zones.

I. Introducción

Área de estudio

Las comunidades de la costa Caribe de Centroamérica (Belice – Panamá) dependen en gran medida de la pesca y el turismo como medios de vida, actividades que -a su vez- están basadas en la explotación de bienes y servicios provenientes de hábitats marinos como arrecifes, praderas de pastos marinos, estuarios y manglares. Estos hábitats son importantes también porque mitigan los efectos de los ciclones tropicales y contribuyen a la vez con los medios de vida locales. Por lo tanto se hace esencial mantener y mejorar la capacidad adaptativa de las comunidades costeras para reducir su vulnerabilidad al cambio climático.

Centroamérica se ubica en una de las regiones donde se prevé que los efectos del cambio climático sean mayores (Giorgi 2006, Neelin et al. 2006). El probable aumento del nivel del mar en el Caribe (Nicholls & Tol 2006), el aumento de las temperaturas superficiales del mar tanto en el Caribe como en el Pacífico (CEPAL et al. 2012) y el cambio en los patrones de precipitación y temperatura del aire son los principales efectos esperados (Aguilar et al. 2005, Rauscher et al. 2008).

Contexto oceanográfico del Caribe centroamericano

El mar Caribe es una cuenca oceánica semi-cerrada, delimitada al este por las Antillas menores, al norte por las Antillas mayores, al oeste y suroeste por Centroamérica y al sur y sureste por Suramérica. Se localiza en la zona intertropical y ocupa una extensión de 1.943.000 km² (TNC 2008).

En relación a la circulación regional de la capa superior en el Caribe está dominada por el flujo de unos 30 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) que entra a través de varios pasajes de profundidad variable entre la Antillas, proveniente del Atlántico Norte tropical y subtropical, y que finalmente abandona la cuenca hacia las Bahamas y los estrechos de La Florida para alimentar la Corriente de Florida (Mooers & Maul 1998). Las propiedades de la capa superior de estas aguas son las del Atlántico Tropical: $T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ y $S = 36 \text{ ppt}$, y se mantienen prácticamente inalteradas durante su trayecto a través del Caribe.

El agua que penetra hacia el Caribe desde el Atlántico se organiza en la Corriente del Caribe (CC), subrayada en blanco en la figura 1, que fluye hacia el oeste. Una rama de esta corriente se dirige luego hacia el norte para formar la Corriente de Yucatán (CY) y finalmente la Corriente de Lazo en el Golfo de México. Hacia el sur, el otro componente importante de la circulación regional está formado por el giro ciclónico Panamá - Colombia (GPC). La rama de la CC que se dirige hacia el sur domina la circulación de la parte

media y exterior de la plataforma continental de Nicaragua hacia el sur del Río Grande. Un ramal de la corriente del Caribe se bifurca hacia el suroeste y sur, al encontrar el obstáculo submarino de la Elevación de Nicaragua (Nicaragua Rise), y forma un gran remolino ciclónico conocido como el giro Panamá-Colombia, que discurre a lo largo de las costas de Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia para confluir nuevamente con la corriente del Caribe frente a las costas colombianas (Gyory et al. 2007).

Otro aspecto oceanográfico relevante y que tiene relación con los probables efectos del cambio climático particularmente, lo constituye el encajonamiento relativo que sufren estas aguas en el suroeste del Caribe lo cual permite que absorban mucho calor por la radiación solar y la transferencia de la atmósfera. De allí que, cuando se establece este remolino, las masas de aire absorben más calor latente y se hacen más sensibles que sobre la corriente Caribe (Gómez et al. 2005).

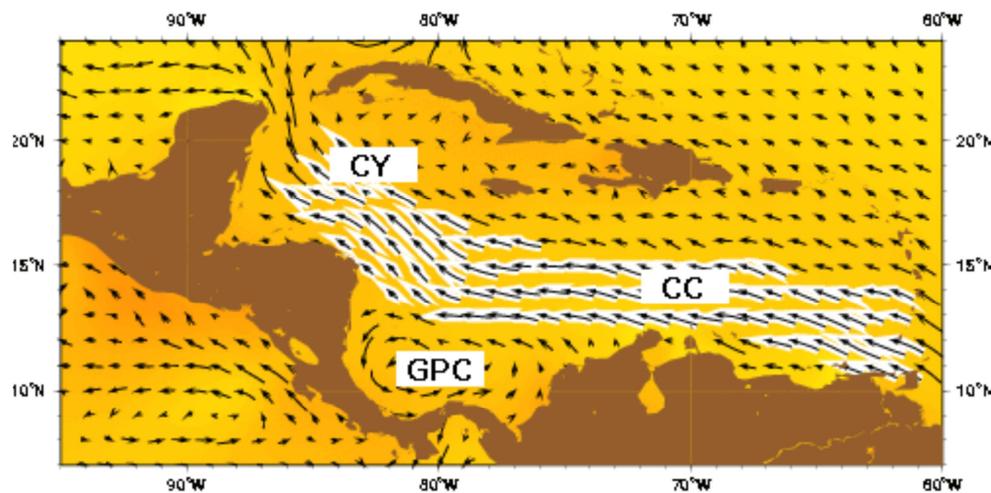


Figura 1. Circulación en el Mar Caribe¹

Contexto biogeográfico del Caribe centroamericano

La compleja historia geológica de esta región, que involucró la formación del istmo centroamericano en el Plioceno (hace alrededor de 3 millones de años), tuvo profundas consecuencias en la biodiversidad marina. Al separarse el océano tropical dio como consecuencia que se produjera un aislamiento y cambio ambiental que produjo un incremento en la divergencia evolutiva y a la radiación de muchas especies que hoy se encuentran en los arrecifes coralinos, manglares y praderas de pastos marinos. Estas características hacen que el Caribe se considere una región biogeográfica única, pues concentra la mayor biodiversidad marina de todo el Atlántico, incluyendo unas 70

¹ Adaptado de CIMAS, <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean>

especies de corales, 3,000 de moluscos y 1,500 de peces (23% de las cuales se estima que son endémicas), y 5 de las 7 especies de tortugas marinas que existen en el mundo (TNC 2008).

En términos generales la distribución de la biodiversidad en el Caribe es homogénea, a pesar que existen algunas áreas que se destacan por contener una mayor diversidad y sitios de mayor endemismo (Díaz 1995; Salazar-Vallejo 2000) pero esta puede encontrarse a todo lo largo y ancho de la región siempre y cuando existan los hábitats adecuados (arrecifes coralinos, praderas de pastos, manglares, etc.) (TNC 2008).

Ecosistemas marino costeros y áreas protegidas

El análisis incluyó el trabajo con 85 áreas protegidas que se ubican en el Caribe centroamericano. Estas representan una extensión aproximada de 29.635 km² incluyendo territorio continental y marino-costero.

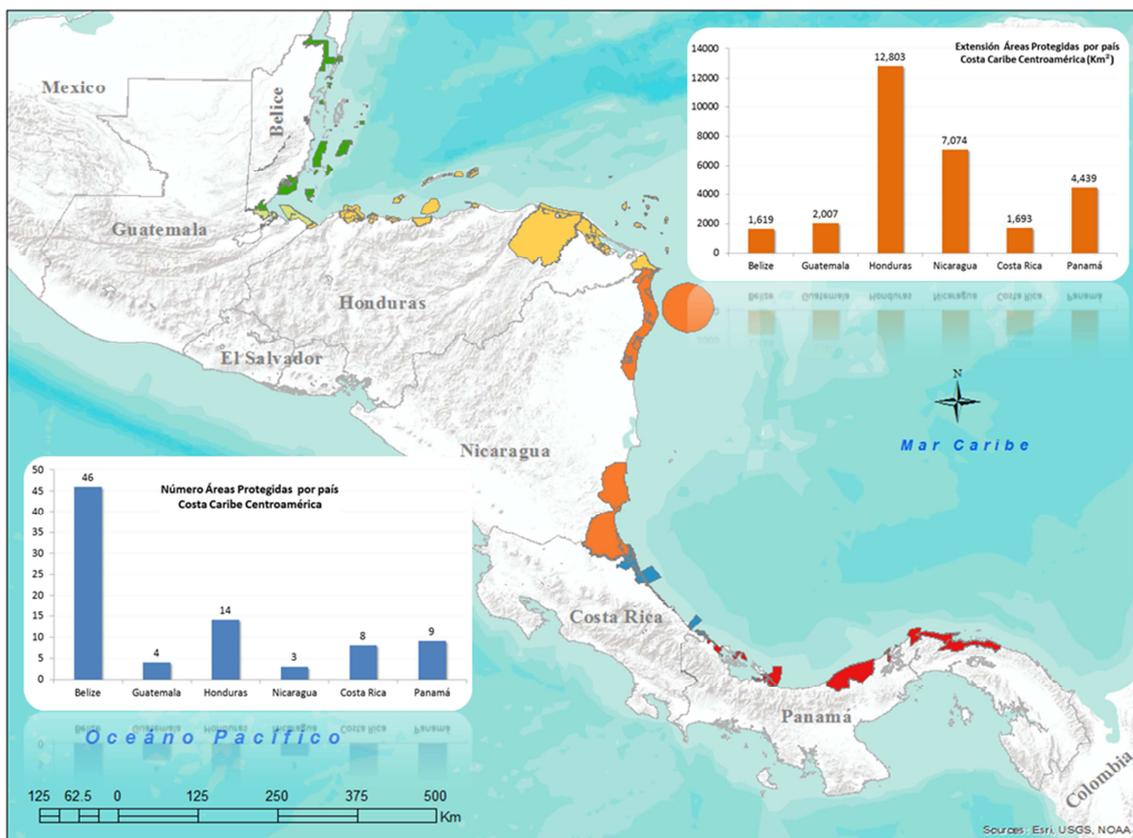


Figura 2. Áreas protegidas del Caribe de Centroamérica consideradas en el análisis

Contexto socioeconómico del Caribe Centroamericano

En este estudio se muestran los resultados del análisis de vulnerabilidad al cambio climático donde se incluyen los sistemas marino-costeros de la costa Caribe de Centroamérica (Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá). Las costas de Centroamérica incluyen sesenta y tres municipios (Guatemala, Honduras y Nicaragua) o distritos (Belize, Costa Rica y Panamá) que representan un área total de 99.423 km² (Figura 3).

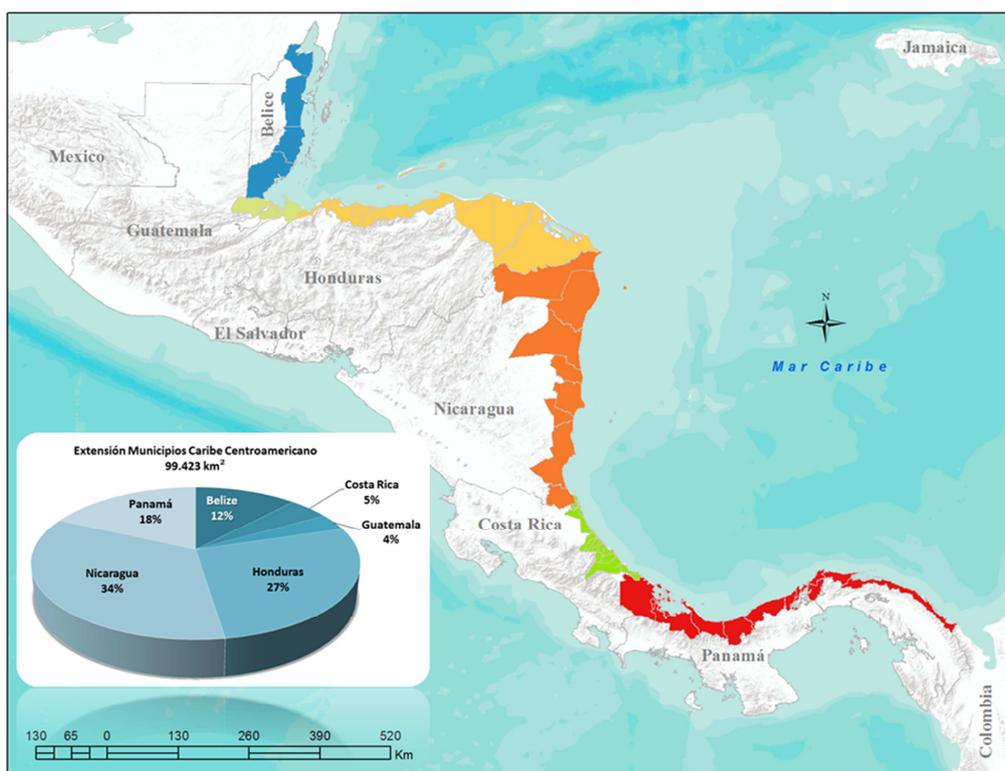


Figura 3. Municipios o distritos costeros del Caribe de Centroamérica considerados en el presente análisis

La población total estimada en el Caribe centroamericano (2010) es de 1.819.615 habitantes de los cuáles el 47% es considerado como población rural. El municipio que posee la menor población es San Juan de Nicaragua (1.307 habitantes) y el de mayor población es Colón con 206.553 habitantes. En la región caribeña hay diez ciudades importantes que ubicadas en orden de población son: Colón en Panamá (206.553 hab.), La Ceiba en Honduras (127.590 hab.), Changuinola en Panamá (98.310 hab.), Belize City (95.496 hab.), Puerto Cortés en Honduras (90.161 hab.), Puerto Barrios en Guatemala (84.725 Hab.), Tela en Honduras (77.031 hab.), Puerto Cabezas en Nicaragua (66.169 hab.), Livingston en Guatemala (61.580 hab.) y Limón en Costa Rica (61.072 hab.).

El índice de desarrollo humano varía de un valor de 0.447 (nivel bajo) en el distrito de Kankintú en Panamá hasta un valor máximo de 0.777 (nivel medio) en la ciudad de La Ceiba en Honduras (Figura 4).

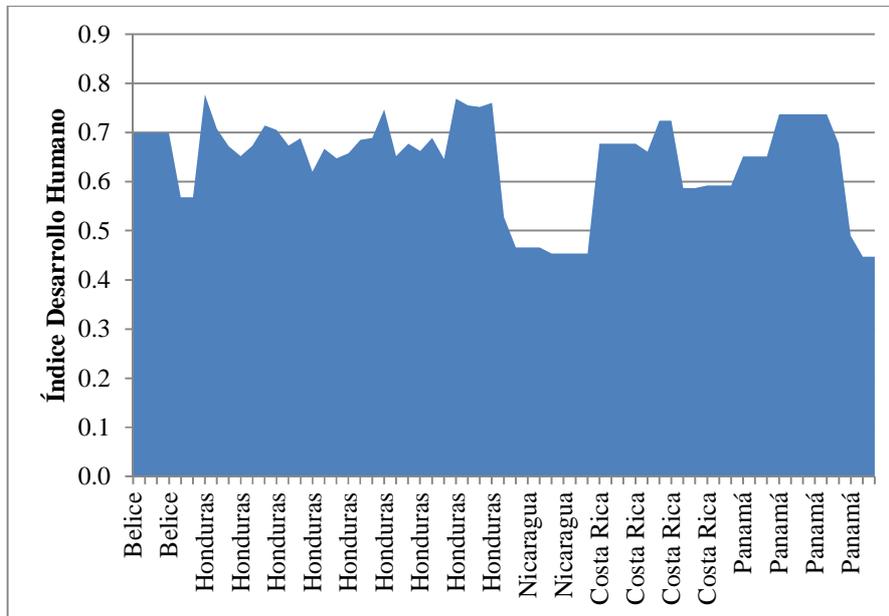


Figura 4. Distribución del Índice de Desarrollo Humano a nivel de municipio o distrito costero del Caribe de Centroamérica de Belice a Panamá

Bases conceptuales del análisis

El marco general del análisis de vulnerabilidad se sustenta en las propuestas de Schröter et al. (2005) y Preston et al. (2008). Para efectos de este análisis se asume el concepto de vulnerabilidad presentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC-2001): “*el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos*”. La vulnerabilidad tiene tres componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (McCarthy et al. 2001, Figura 5). La exposición se refiere a la presencia de un riesgo climático; la sensibilidad a la capacidad de respuesta de los sistemas a ese riesgo y la capacidad de adaptación a la capacidad de un sistema para cambiar a un estado más favorable para hacerle frente a los impactos adversos.

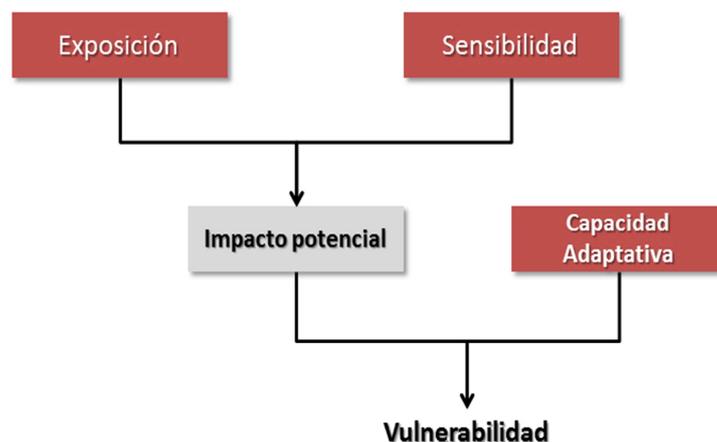


Figura 5. Componentes de la vulnerabilidad al cambio climático (Marshall et al. 2010)

Exposición y sensibilidad a efectos del cambio climático

El océano desempeña un papel integral en el clima al estar intrínsecamente vinculado a la atmósfera, a través del almacenamiento y transporte de calor, evaporación de masas de agua, congelación y descongelación de las regiones polares y almacenamiento e intercambio de gases incluyendo el dióxido de carbono; pero el aumento sin precedentes en la historia humana de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) está provocando cambios negativos en los océanos, lo cual compromete en el futuro los servicios que estos prestan a los ecosistemas y las poblaciones humanas (IPCC 2007, Herr & Galland 2009, Vallis 2012). La figura 6 muestra los cambios físicos y químicos que desencadena el aumento de GEI de la atmósfera en las costas y océanos. El calentamiento del aire y del mar induce cambios en las precipitaciones, aumento del nivel del mar y fenómenos climáticos extremos. Las consecuencias más importantes e inmediatas en las costas de estos cambios están asociadas a la erosión costera, inundaciones, sequías, intrusión de agua salada y cambios en los ecosistemas (IPCC 2001; Herr & Galland 2009; Short & Woodroffe 2009) (Véase figura 7).

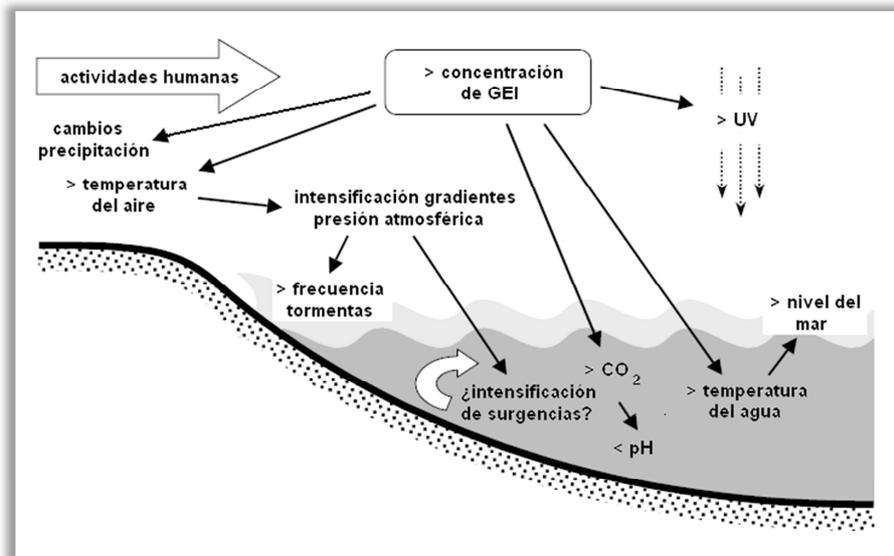


Figura 6. Cambios abióticos importantes en el océano asociados con el cambio climático (adaptado de Harley et al. 2006)

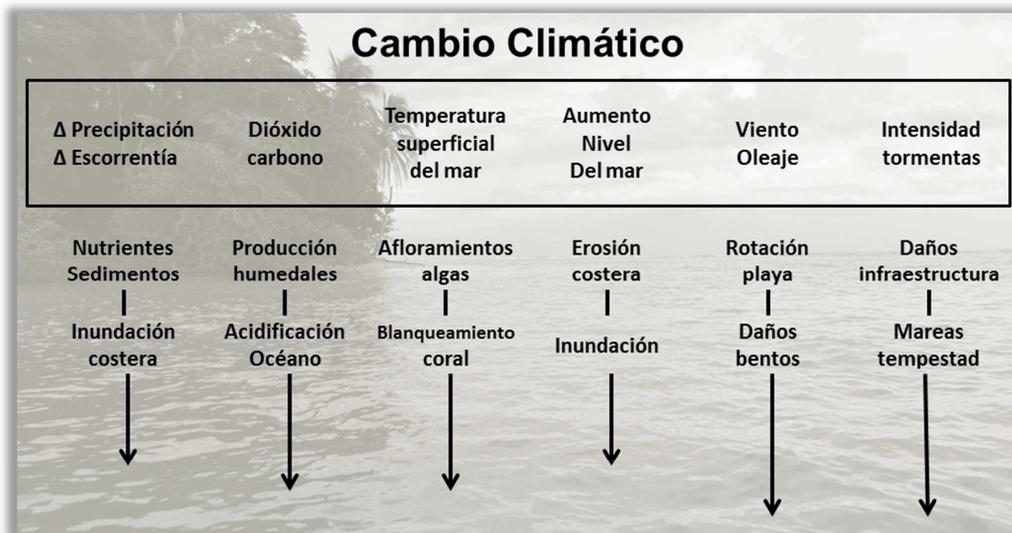


Figura 7. Impulsores e impactos del cambio climático sobre las costas (Adaptado de Short & Woodroffe 2009)

Para evaluar las posibles consecuencias de este proceso sobre diferentes elementos de los sistemas naturales y sociales, este estudio considera tres efectos del cambio climático, bajo dos diferentes familias de escenarios de emisiones (A2 y B1) (Ver detalle en anexo 1) y se realiza basado en los criterios establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), definiendo el impacto potencial del cambio climático en diferentes elementos biofísicos y sociales y la capacidad adaptativa de los municipios

costeros, haciendo un énfasis en las áreas protegidas marino-costeras. Las variables consideradas fueron: temperatura superficial del mar, aumento del nivel del mar, temperatura ambiental y precipitación. Otras variables de cambio climático no fueron considerados en el análisis porque aun los datos disponibles para áreas extensas son experimentales (<http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/oa/index.html>) como el caso del cambio en el dióxido de carbono, o porque el tiempo disponible para el análisis no permitía hacer análisis más complejos como lo requeridos para evaluar aspectos como el cambio en la altura de las olas o cambios en la intensidad de las tormentas.

Los objetivos del presente análisis fueron:

Objetivo general

Identificar la vulnerabilidad de zonas marino – costeras de la costa Caribe de Centroamérica frente al cambio climático bajo diferentes escenarios climáticos.

Objetivos específicos

- Identificar los impactos previstos del cambio climático sobre objetos de la biodiversidad (bosques, manglares, arrecifes de coral y pastos marinos) que sustentan medios de vida de las comunidades costeras en la costa Caribe de Centroamérica
- Identificar los impactos previstos del cambio climático sobre objetos socioeconómicos (poblaciones y agropaisaje) de las comunidades costeras en la costa Caribe de Centroamérica
- Identificar elementos de la capacidad adaptativa de los municipios y distritos costeros de la costa Caribe de Centroamérica

II. El Caribe Centroamericano y el Cambio Climático

Temperatura Superficial del Mar

El mar desempeña funciones clave y críticas en el clima al estar estrechamente vinculado a la atmósfera a través del almacenamiento de calor, transporte del calor a lo largo de la tierra, evaporación de masas de agua, congelación y descongelación de las regiones polares y almacenamiento e intercambio de gases incluyendo el dióxido de carbono (CO₂). Esto significa que los cambios en la temperatura superficial del mar constituye un aspecto fundamental en el futuro ya que los cambios o anomalías en la temperatura superficial del mar tienen consecuencias físicas como la expansión térmica lo cual aumenta el nivel del mar, el incremento de la estratificación termal, cambios en corrientes marinas, reducción y cambios en los afloramientos, estrés térmico sobre los ecosistemas y especies y un aporte importante en energía que ayuda a que los ciclones aumenten su energía destructiva (Herr & Galland 2009).

Los cambios en la temperatura superficial del mar tienen importantes implicaciones biológicas para las condiciones ecológicas de muchos organismos. Un caso bien documentado es el de los arrecifes de coral, uno de los objetos seleccionados para evaluar la sensibilidad al cambio climático en este estudio. El estrés de los corales inicia si el agua se calienta un grado centígrado más allá que la temperatura más alta del mes más caliente del verano (Glynn & D' Croz 1990). Si esta variación se mantiene durante ocho semanas provoca el inicio del blanqueamiento, y si se mantiene durante doce semanas provoca blanqueamiento generalizado y mortalidad (Liu et al. 2008).

Observaciones históricas

La figura 8 muestra la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) evaluada para el período 1992-2010 para la zona del Golfo de Honduras por Ballester et al. (2011). Las anomalías observadas muestran incrementos de temperatura en la mayor parte del Caribe en las últimas dos décadas, de hasta 0.3°C al este de Nicaragua, y enfriamiento en Yucatán y el Golfo de México. Los valores de las anomalías de la TSM son consistentes con las tendencias lineales de aumento de la temperatura obtenidas para varios sitios del Caribe (0.0031°C/mes para Roatán, 0.0024°C/mes para el norte de Belice) con datos del radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) por Hayes & Goreau (2008: Citado por Ballester et al. 2011).

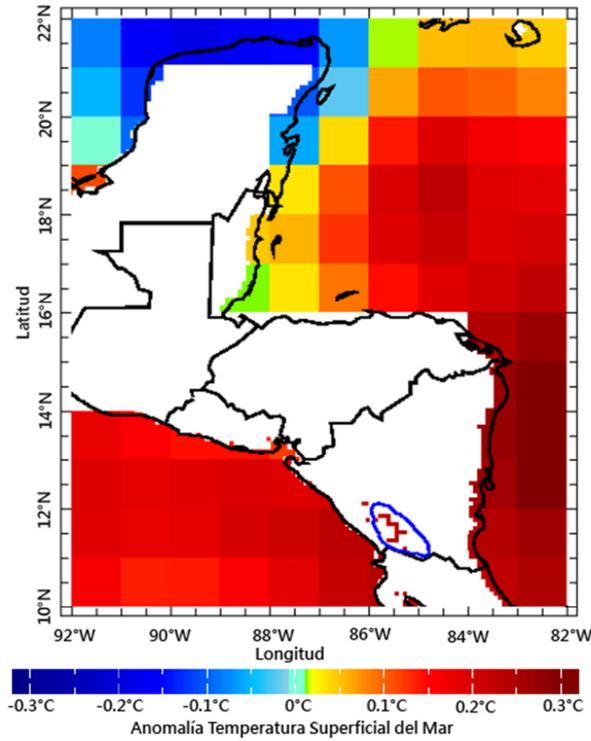


Figura 8. Anomalía de la TSM 1992-2010 (datos de www.cpc.ncep.noaa.gov)

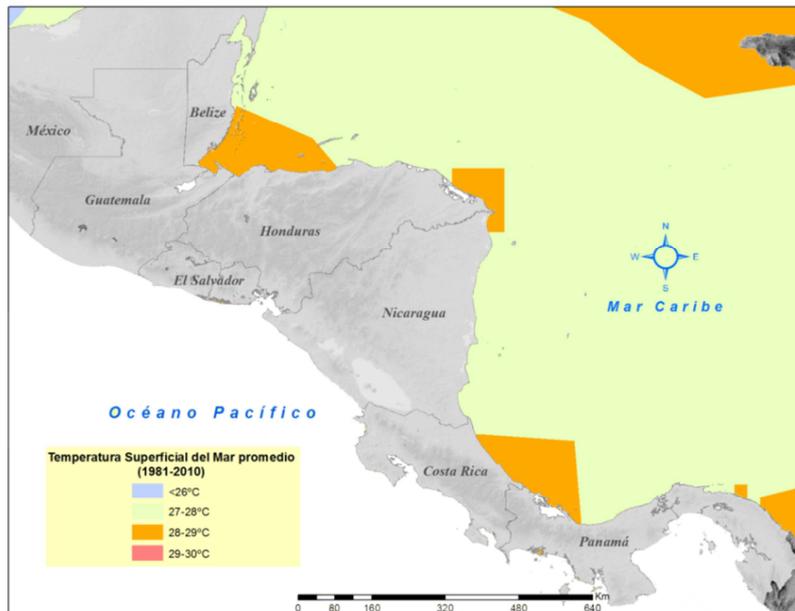


Figura 9. Temperatura superficial del mar promedio (TSM) en el período 2003-2011

Durante la última década (2003–2011) la mayor parte de las Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Caribe de Nicaragua y Panamá tuvo un promedio mensual de TSM entre 27 y 28°C; que es el nivel mencionado por Gómez et al (2005; citado por TNC 2008). En algunas zonas -la costa del municipio de Waspám en Nicaragua y las costas de los distritos de Bocas del Toro, Changuinola y parte de la Comarca Kuna Yala- este promedio mensual fue más alto, variando entre los 28 y 29°C (Figura 9).

Proyecciones futuras

La situación proyectada para los escenarios climáticos futuros difiere bastante de las temperaturas actuales. Para el período 2030-2039 (escenarios de emisiones B1 y A2, Figura 10) se prevé que el promedio mensual de la TSM haya aumentado en un grado centígrado en toda la superficie de las ZEE del Caribe de Nicaragua y Panamá, generalizándose el nivel de temperatura medio (28 a 29°C); aunque parte de la costa de la Comarca Kuna Yala y de Bocas del Toro el nivel habrá aumentado en dos grados para los escenarios de emisiones A2 llegando a un nivel alto de exposición (29 a 30°C, Figura 11). Para el periodo 2090-2099 (escenario de emisiones A2) el nivel del promedio mensual de la TSM es de 30°C o más, siendo dominante en las ZEE de ambos países (Figura 11).

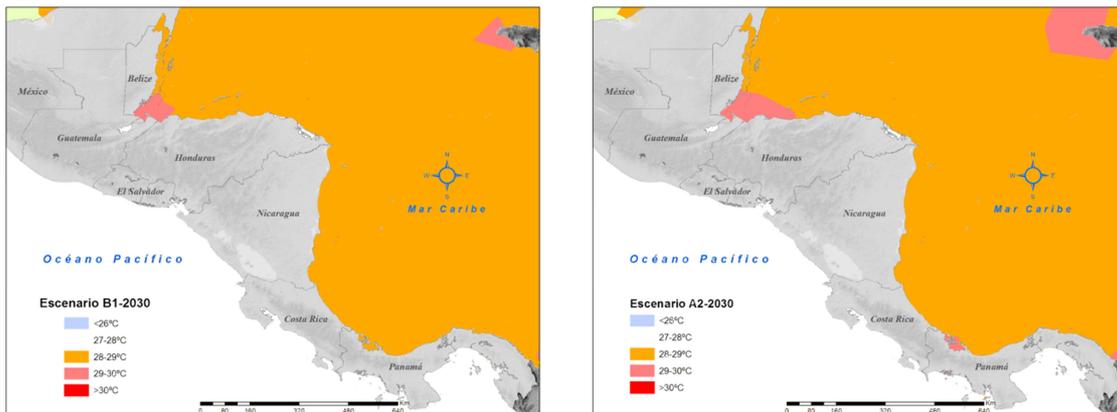


Figura 10. Temperatura superficial del mar (TSM) en el período 2030-2039

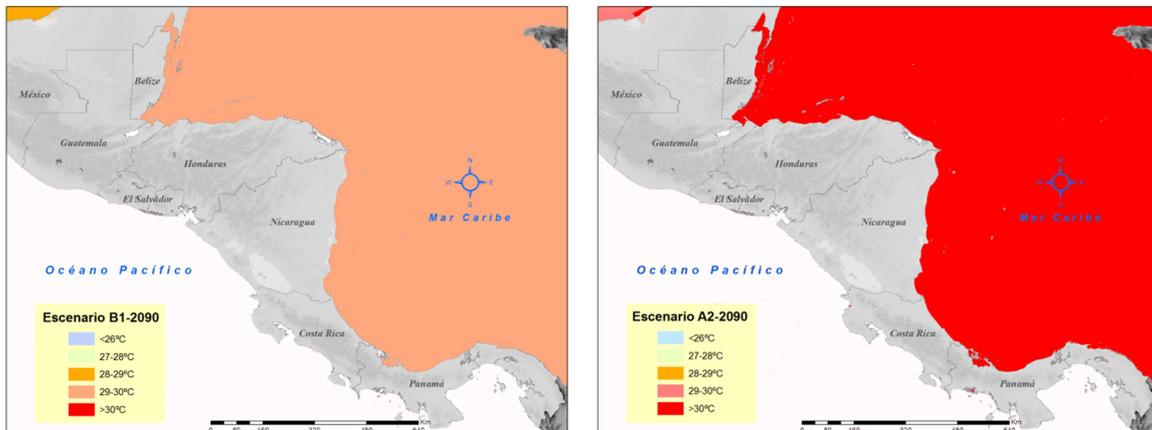


Figura 11. Temperatura superficial del mar (TSM) en el período 2090-2099

Nivel del Mar

El nivel medio del mar es uno de los indicadores más importantes del cambio climático, porque incorpora los resultados de diferentes componentes del sistema climático. El aumento del nivel del mar puede incrementar varios impactos físicos en las costas, incluyendo la frecuencia de inundaciones, salinización de humedales costeros, acuíferos y la erosión y pérdida de playas (Klein & Nicholls.1999). Las inundaciones causadas por estos procesos pueden ser temporales o permanentes, lo cual depende de la combinación del aumento del nivel del mar con otros factores como las mareas meteorológicas y astronómicas y los cambios en el oleaje (CEPAL et al. 2012). Las costas son particularmente vulnerables a este proceso porque la mayoría de la actividad económica, infraestructura y servicios están localizados en la costa o muy cerca de ella, y las economías locales están concentradas en pocos sectores, como el turismo (Nicholls et al. 1999). En cuanto a la biodiversidad, uno de los mayores efectos será la pérdida de hábitats de playa, que proporciona sitios de anidación a las tortugas marinas (Fish et al. 2005).

Observaciones

Algunos autores (Bindoff et al. 2007, citados por Ballesteros & Salazar 2012) estiman que el nivel del mar inició un nuevo período de incremento en su nivel a partir del siglo XIX y que durante el siglo XX la tasa observada proveniente de mareógrafos fue de 1.7 mm/año mientras que las observaciones realizadas con técnicas altimétricas provenientes de satélites a partir de la década de 1990 y confirmadas con mediciones de mareógrafos, muestran un incremento global del NM de 3 mm/año entre 1993 y 2003, atribuido principalmente a la expansión térmica del océano y el derretimiento de hielo continental. La figura 12, tomada de Bindoff et al. (2007, citados en Ballesteros & Salazar 2012), muestra la desviación del NM global anual respecto al valor medio 1961-1990 medido con

mareógrafos a partir de 1950 en las curvas roja (reconstruida) y azul, y la desviación respecto al valor medio global 1993- 2001 medido con altimetría en la curva negra.

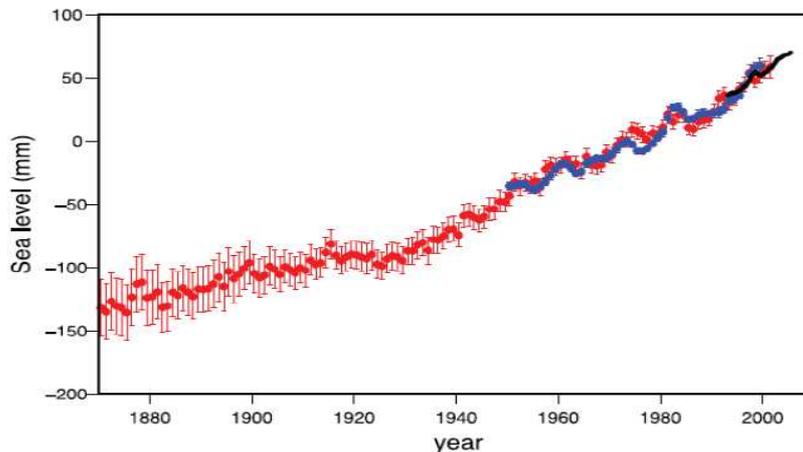


Figura 12. Valores medios anuales de desviación del NM global (Bindoff et al. 2007)

Se estima que en el período 2003-2008 el 80% del aumento en el nivel del mar proviene de un incremento en la masa de agua oceánica en partes aproximadamente iguales, de un aumento en el derretimiento de las capas de hielo polares y de glaciares montañosos (Cazenave et al. 2008) mientras que en la década 1993-2003 parece haber sido determinada, por partes iguales, por la expansión térmica del agua y la disminución de la masa de hielo anclada a la tierra (Bindoff et al. 2007).

Tendencia del NMM en el Caribe Centroamericano observada con mareógrafos

Este estudio obtuvo datos del nivel relativo medio mensual y anual para el Caribe de Centroamérica provenientes de cinco estaciones mareográficas localizadas en Honduras, Guatemala, Costa Rica y Panamá disponibles en el *Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar* (Permanent Service for Mean Sea Level, PSMSL) de Liverpool, Reino Unido (Ballesteros et al 2011; Ballesteros & Salazar 2012).

Las tendencias de cambio fueron (-1.38 +/- 2.01) mm/año en Santo Tomás (Guatemala), (9.23 +/- 1.05) mm/año en Puerto Cortés (Honduras) y (3.13 +/- 2.12) mm/año en Puerto Castilla (Honduras). La estación de Santo Tomás muestra valores muy bajos en 1978 y 1979 y varios meses con datos incompletos a partir de 1977. Los valores extremadamente bajos en la última parte de la serie de tiempo de Santo Tomás conducen al resultado negativo obtenido, por lo cual la tendencia fue recalculada utilizando solamente los datos hasta 1977, obteniéndose ahora una tendencia $m = (3.41 \pm 2.06)$ mm/año. El valor

obtenido en Puerto Cortés (9.23 mm/año) se considera excesivamente alto y resulta inconsistente con los valores de las estaciones mareográficas cercanas (Ballestero et al. 2011).

Más al sur la tendencia lineal de cambio del NMM evaluada para el intervalo 1948-1968 en Limón-Costa Rica refleja un aumento de 1.68 mm/año mientras que utilizando datos del mareógrafo de San Cristóbal, en Panamá, el cual tiene una de las series de tiempo más extensas de la región, desde 1907 hasta 2010 muestra tendencias lineales del NMM en esta estación, evaluada entre 1907 y 1978 de 1.44 mm/año. (Ballestero & Salazar 2012)

Nivel del mar absoluto en el Caribe Centroamericano observado con altímetros

La variabilidad y tendencia de cambio del nivel absoluto (respecto al geoide) del mar se analizó con datos de la anomalía del nivel del mar (ANM) obtenidos del proyecto Aviso (<http://www.aviso.oceanobs.com>). El producto utilizado en este estudio son los Mapas de ANM producidos con datos de varias misiones altimétricas (*merged data*), con una resolución espacial de 1/3 de grado en latitud y longitud y una resolución temporal de una semana, en una serie de tiempo continua desde octubre-92 hasta mayo-2010. El valor medio del nivel del mar utilizado para el cálculo de las anomalías es el promedio de 7 años (Ballestero et al. 2011).

Al calcular las pendientes de tres regresiones lineales a partir de los datos obtenidos de estaciones localizadas cerca de los puntos donde históricamente estuvieron ubicados los mareógrafos mencionados en el apartado anterior Ballestero et al. (2011) muestra valores de 1.79 mm/año en Santo Tomás, 1.76 mm/año en Puerto Cortés y 4.40 mm/año en Puerto Castilla de aumento en el nivel del mar.

Ballestero et al. (2011) obtuvieron una tendencia positiva de aumento del nivel del mar, en la parte de la zona costera del Golfo de Honduras analizada (ubicación de las tres estaciones mencionadas anteriormente), cercana a la tendencia global de aumento del nivel del mar de 3.3 mm/año. Así mismo, menciona que las series de tiempo revelan claramente el ciclo estacional anual, al igual que los datos mareográficos, pero no muestran variabilidad interanual. A diferencia de la costa del Pacífico centroamericano, donde tanto datos altimétricos como mareográficos muestran una notable variabilidad interanual asociada a los ciclos El Niño-La Niña, con variaciones del nivel del mar de hasta 30 mm en e1 año, los datos de la costa Caribe analizados en este estudio no revelan la presencia del fenómeno climático ENOS.

Mediante el procesamiento de datos provenientes de los satélites altimétricos Ballestero et al. (2011) calcularon la pendiente de la regresión lineal de la ANM en función del tiempo para todos los puntos de la grilla correspondientes al Golfo de Honduras para producir el mapa mostrado en la figura 13. Toda la parte costera del oeste del Caribe

centroamericano, a lo largo de la barrera de corales desde Yucatán hasta las Islas de la Bahía, muestra una tendencia de aumento del nivel del mar con un máximo en el extremo NE de la Península de Yucatán, mientras que hacia el este se observa una disminución. Esta tendencia bipolar de aumento a lo largo del flanco oeste y disminución a lo largo del flanco este se observa en todo el Mar Caribe.

En el Caribe Sur (Nicaragua a Panamá) los datos mareográficos y altimétricos disponibles muestran consistentemente una tendencia positiva de aumento del nivel del mar. Adicionalmente, la serie de tiempo del mareógrafo de Cristóbal, iniciada en 1907, tiene una longitud adecuada para considerar la tendencia de aumento de 1.44 mm/año registrada por esa estación como un resultado robusto. (Ballester D., & Salazar P., 2012)

Evaluaciones realizadas para cuatro puntos costeros del Caribe Sur en Costa Rica (Barra Colorado, Limón, Cahuita) y Panamá (San Cristóbal) utilizando series de tiempo altimétricas muestran una tendencia de aumento ~ 2 mm/año con un mínimo de 1.87 mm/año en Barra del Colorado y un máximo de 2.3 mm/año en San Cristóbal (Figura 12) (Ballester & Salazar 2012).

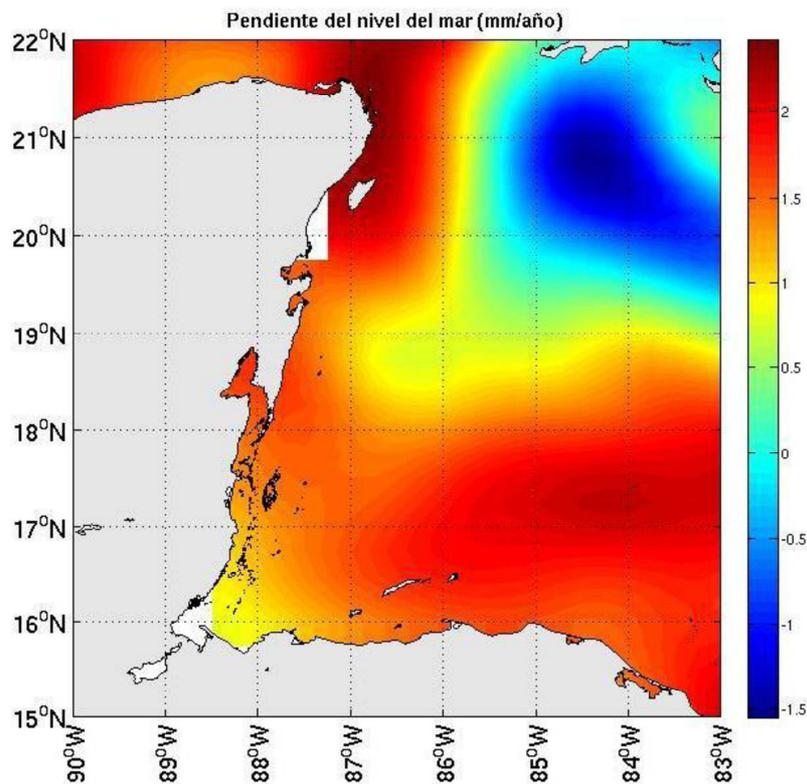


Figura 13. Distribución regional del aumento del nivel del mar (mm/año) en el Golfo de Honduras (datos de Aviso, 1992-2010) (Ballester et al. 2011).

Ballester & Salazar (2012) señalan que las series de tiempo de ANM en las estaciones del Caribe muestran poca coherencia con la evolución del ENOS y fluctuaciones de menor amplitud que en las estaciones de la costa del Pacífico. El evento de mayor amplitud, con una anomalía positiva de menos de 20 cm, ocurre en 2008, durante el evento intenso La Niña del 2007-2008, principalmente en las tres estaciones de Costa Rica. Durante el evento El Niño de 1997-1998 (el más intenso de la era altimétrica) apenas se registra una amplificación del ciclo anual de la ANM.

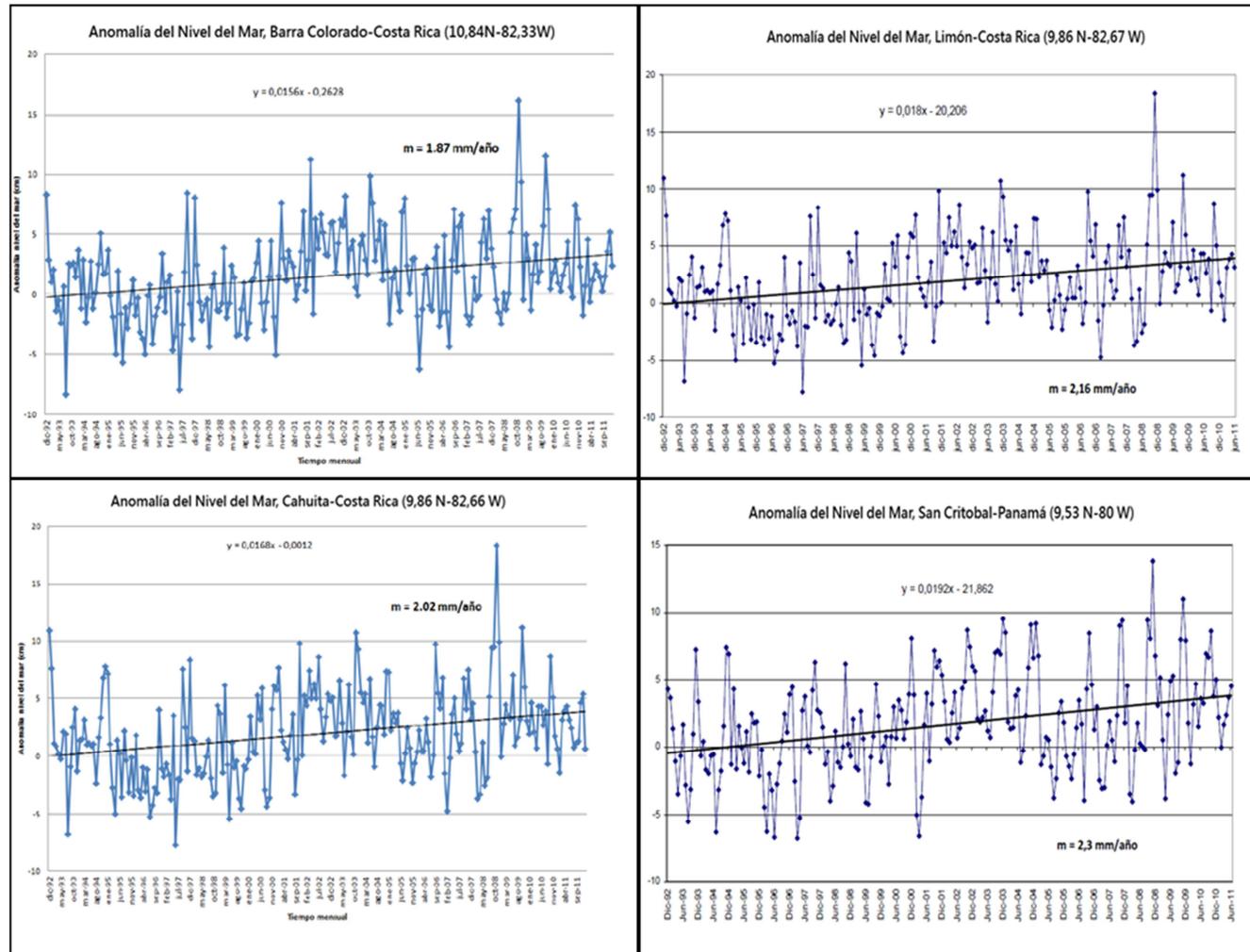


Figura 14. Aumento de nivel del mar (en cm) con datos de altimetría para puntos cercanos a: Barra del Colorado; Limón, Cahuita en Costa Rica y San Cristóbal en Panamá (Ballestero & Salazar 2012)

La figura 15 muestra que el mar caribe centroamericano ha tenido tendencias al aumento en el período 1992-2012 prácticamente en toda la extensión de las aguas que bañan a Centroamérica, observándose que los valores varían dentro de la región en un rango de 0,0 mm a 5,0 mm y que el aumento ha sido más acentuado frente a las costa de Costa Rica y Panamá.

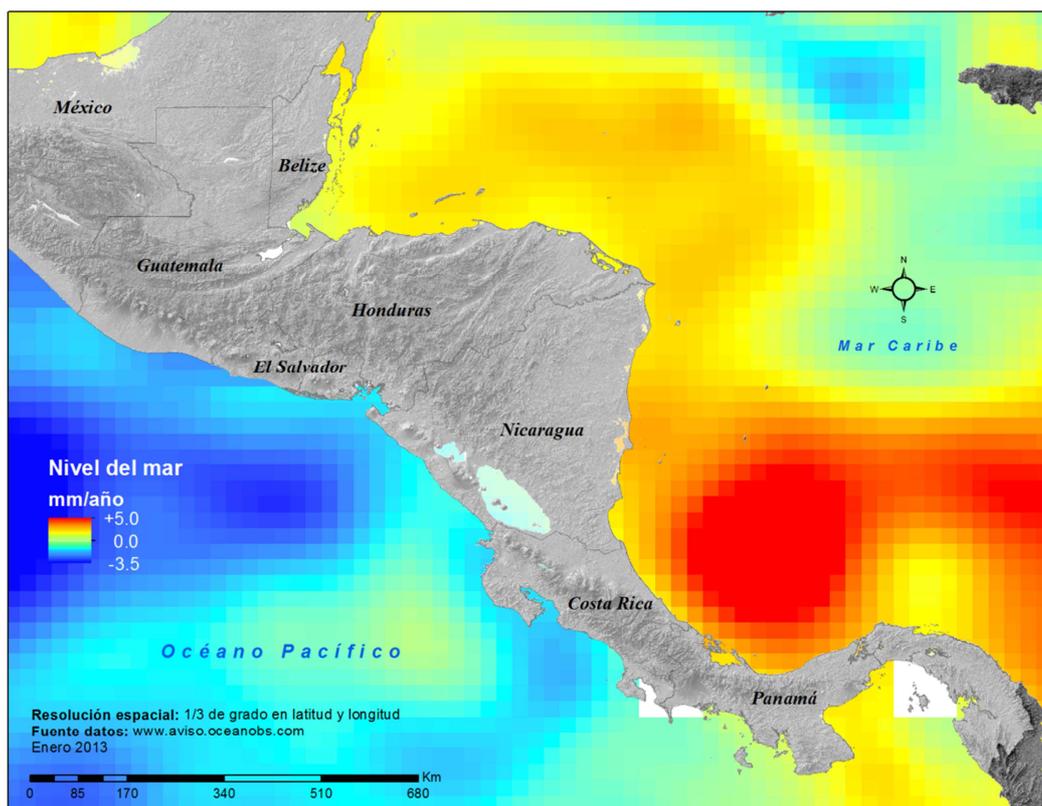


Figura 15. Tendencia de la ANM 1992-2012 (datos de Aviso, 1992-2012)

Sensibilidad de las costas al aumento en el nivel del mar

La sensibilidad de la costa Caribe al aumento del nivel del mar varía de forma diferenciada en los distintos países de la región. Las costas de Belice, Honduras y Nicaragua presentan una mayor sensibilidad y se observa una tendencia a un mayor efecto probable tierra adentro. En el Caribe de Costa Rica y Panamá, debido a la fisiografía costera de estos países, la afectación probable muestra una tendencia de afectación únicamente a los terrenos muy cercanos a la costa (Figura 16).

Esta sensibilidad sumada a los datos anteriores, donde se muestra una tendencia al aumento del nivel del mar en el mar Caribe, pone en evidencia la probabilidad de que surjan efectos directos sobre hábitats marino-costeros como playas, humedales y

manglares, a la vez que surge la potencial afectación sobre las actividades agrícolas, infraestructura y asentamientos humanos localizados en la zona costera.

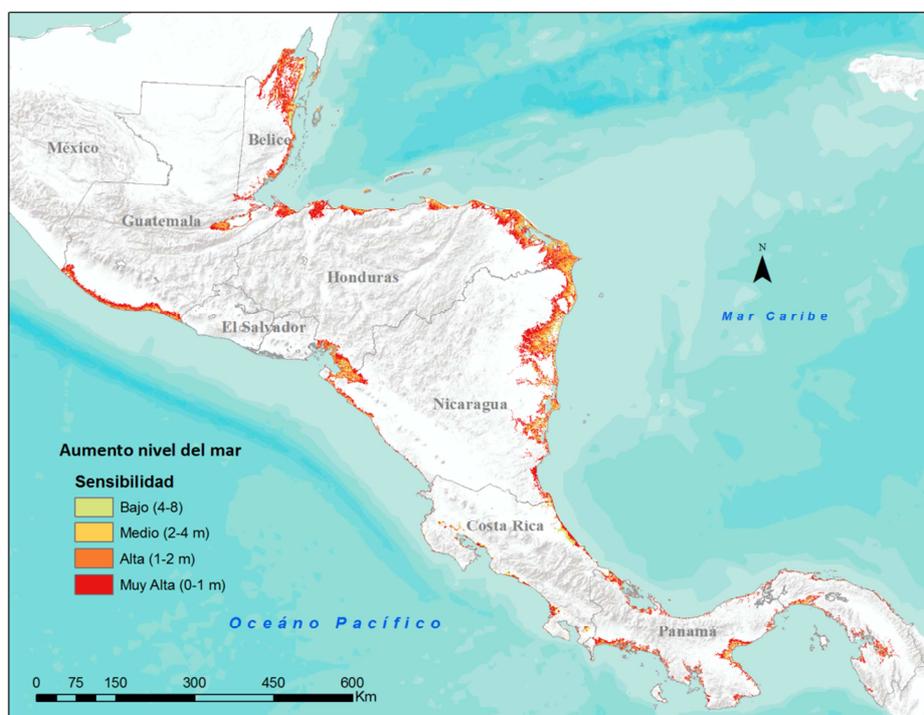


Figura 16. Sensibilidad al aumento del nivel del mar

Temperatura ambiental

Los cambios en los patrones de precipitación y el aumento de la temperatura del aire afectan directamente las condiciones de vida de las poblaciones humanas (CEPAL et al.2012). También tienen importantes implicaciones sobre la vegetación natural terrestre (Imbach et al.2012) y los ecosistemas marino costeros (humedales y manglares). Provocan cambios en la salinidad, sedimentación y disponibilidad de nutrientes, y aumentar la sensibilidad de las tortugas marinas ante el cambio climático, al incrementar la temperatura de la arena de las playas de anidamiento (Hawkes et al. 2009).

Observaciones históricas

La temperatura promedio anual en Centroamérica ha aumentado aproximadamente 1 °C desde 1900 y el aumento de días y noches cálidas se ha incrementado en un 2,5% y un 1,7% por década, mientras que las noches y días fríos has disminuido -2,2% y -2,4% respectivamente. Los extremos de temperatura muestran aumento de entre 0,2 °C y 0,3 °C por década (Aguilar et al. 2005).

La figura 17 muestra la distribución de la temperatura promedio en Centroamérica para el período 1950-2000 la cuál presenta variaciones de los 4.0 °C a los 28.4 °C.

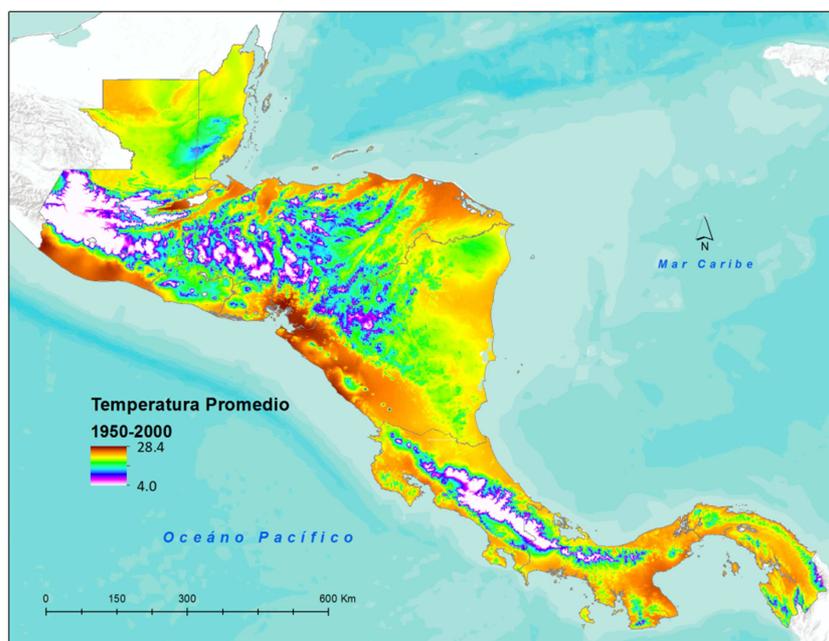


Figura 17. Distribución de la temperatura promedio en Centroamérica para el período 1950-2000

Proyecciones futuras

La exposición de Centroamérica ante el cambio en temperatura del aire según escenarios de emisiones B1 y A2 para el período 2070-2099 es evaluada según la cantidad de simulaciones que predicen un aumento en temperatura superior a 3°C. Se tomó como base la metodología del IPCC sobre probabilidad de cambio siendo <33% Muy baja, 33 a 50% Baja, 50 a 66% Media, 66 a 90% Alta y de 90 a 100% Muy Alta.

Si los escenarios futuros correspondieran a emisiones del tipo B1 la probabilidad de cambio en 3°C de la temperatura del aire de la región sería muy baja (Figura 18 izquierda), sin embargo, bajo el escenario de emisiones tipo A2 (Figura 18 derecha) ocurrirían cambios superiores a 3°C con una alta probabilidad de ocurrencia principalmente en Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua. Para el resto de la región corresponden valores de probabilidad media de cambio.

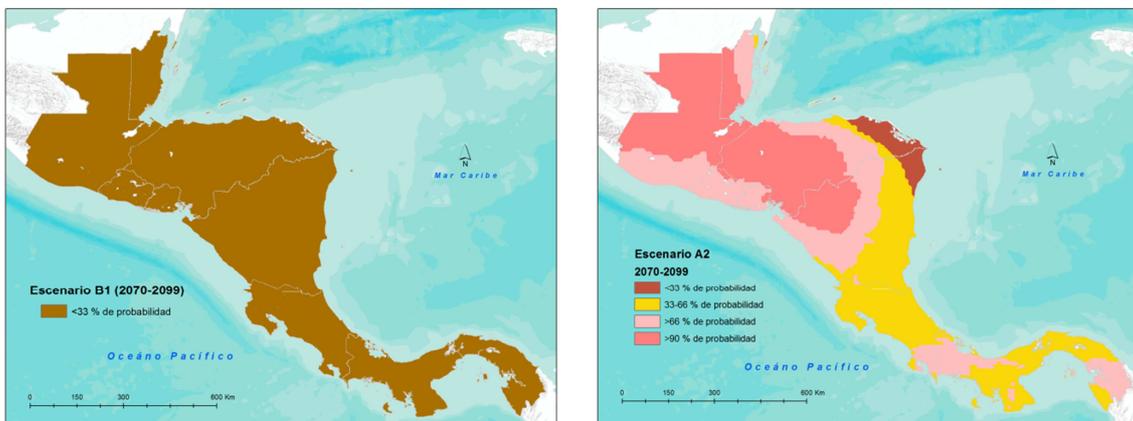


Figura 18. Cambios superiores a 3°C en temperatura del aire según escenarios de emisiones B1 (izquierda) y A2 (derecha) para el período 2070-2099

Precipitación

Observaciones históricas

En relación a la precipitación Aguilar et al. (2005) señalan que existe una gran variabilidad espacial, lo que indica que, aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación si se ha observado una intensificación de las mismas, esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto. La figura 19 muestra la distribución de la precipitación promedio en Centroamérica para el período 1950-2000 la cuál presenta variaciones del orden de 577 mm a 6.303 mm.

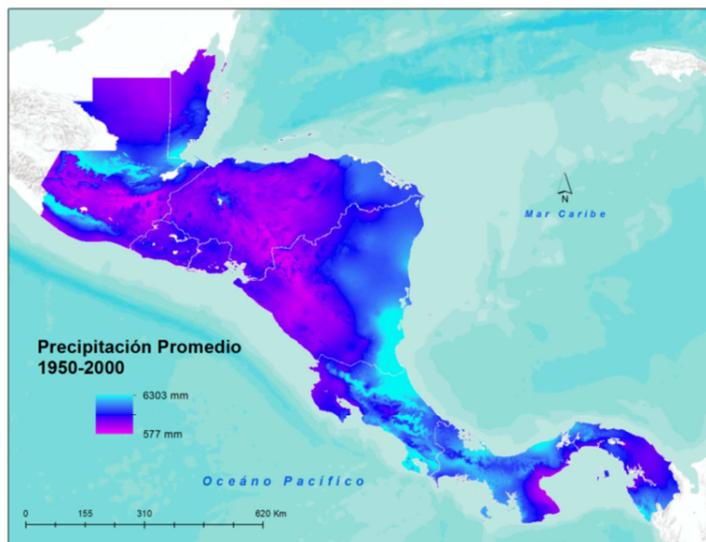


Figura 19. Distribución de la precipitación promedio en Centroamérica para el período 1950-2000

Proyecciones futuras

En la Figura 20 se muestra la exposición de Centroamérica ante el cambio en precipitación según escenarios de emisiones B1 y A2 para el período 2070-2099. La exposición está medida según la cantidad de simulaciones que predicen una disminución en precipitación superior a 50%. Se tomó como base la metodología del IPCC sobre probabilidad de cambio siendo <33% muy baja, 33 a 50% baja, 50 a 66% media, 66 a 90% alta y de 90 a 100% muy alta. El resultado de cambio hacia la disminución de la precipitación es mayor al 50% en ambos escenarios.

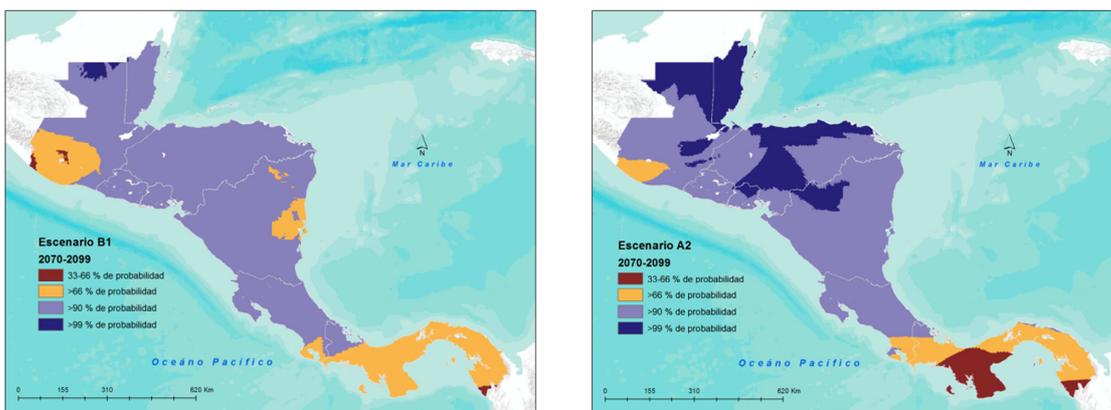


Figura 20. Disminución en precipitación superior a 50% según escenarios de emisiones B1 (izquierda) y A2 (derecha) para el período 2070-2099

III. Impacto del Cambio Climático sobre ecosistemas marino-costeros

Las costas del Caribe se caracterizan por tener tres ecosistemas: pastos marinos, arrecifes de coral y los manglares, con numerosos vínculos e interacciones tróficas existentes entre estos y de donde surgen bienes y servicios que dan sustento y son la base de los modos de vida de los pobladores que habitan en estas costas (Figura 21).



Figura 21. Conectividad de Sistemas Marino-Costeros en el Caribe de Centroamérica

Arrecifes de coral

Introducción

A lo largo del Caribe centroamericano se encuentra una “línea” de arrecifes de coral que se inicia en el norte de Belice disminuyendo hacia el sur con importantes manifestaciones en las Islas de la Bahía en Honduras, Cayos Miskitos en Nicaragua, Bocas del Toro y el Archipiélago de San Blas en Panamá. Así mismo, pequeños arrecifes de coral en relación al tamaño de los sitios anteriores se encuentran en el sur de Nicaragua (Corn Island), Moín, Cahuita y Punta Mona en Costa Rica (Figura 21).

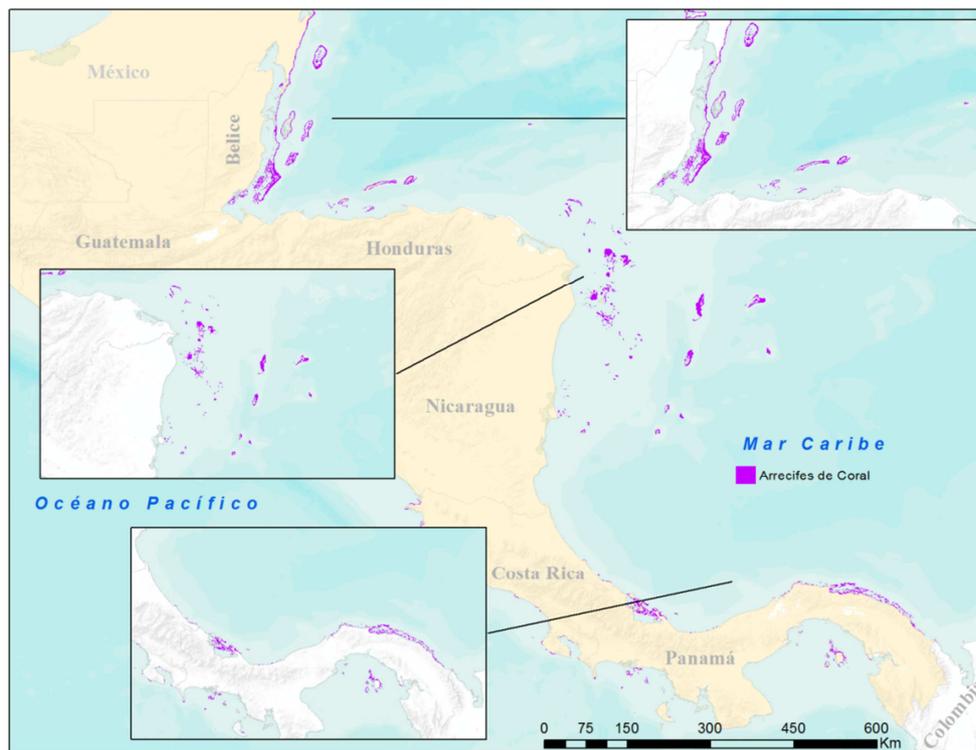


Figura 22. Distribución de los arrecifes de coral en el Caribe de Centroamérica (Fuente datos: WRI 2011)

Siendo unos de los sistemas biológicos más ricos del planeta proveen beneficios ecosistémicos a miles pobladores de la costa caribe de Centroamérica como fuente de alimento, crianza de peces comerciales, atractivo turístico, además de generar arenas para las playas y proteger a la línea de costa de los efectos de los ciclones tan comunes en el Caribe.

En Belice da inicio el sistema continuo más largo de arrecife de barrera del hemisferio occidental el cuál se extiende unos 260 km a lo largo de la costa de Belice formando un ensamblaje de lagunas, arrecifes de parche Islas y atolones cubren aproximadamente 1.400 km². A nivel de Guatemala el desarrollo es más limitado, siendo los bancos carbonatados de Punta Manabique los más conocidos y que están dominadas por la especie *Siderastrea siderea* resistente a los sedimentos (Wilkinson y Souter 2008).

En Honduras existen pequeñas comunidades de arrecife cerca de la costa (Puerto Cortes, La Ceiba & Tujillo) pero a nivel de las Islas de la Bahía (Utila, Morat, Barbareta, Roatan, Guanaja) y Cayos Cochinos estos son bien desarrollados. Más hacia el este (Cayos Miskitos y los Bancos) y noreste (Swan Island) también se encuentra arrecifes de franja y parche de importante desarrollo (Wilkinson y Souter 2008).

En Nicaragua los arrecifes de coral se encuentran principalmente en tres sitios: en los Cayos Miskitos, Cayos Perlas y en la isla de Corn Island. La mayoría se encuentran en los

primeros 10 metros de profundidad variando desde arrecifes fragmentados hasta grandes plataformas. Uno de los arrecifes más estudiados los constituye el de Cayos Miskitos donde se han encontrado densidades de corales desde 4 hasta 21 colonias (por cada 10 metros), siendo los sitios con mayor densidad Yanka Laya (21), Franklin reef. (21), Hamkira (20), Nasa ref. (19) y Macandra (18). La densidad de octocorales fue desde 20 hasta 730 colonias (por cada 100m²), siendo los sitios de mayor densidad fueron Yanka Laya (730), Bojotle Kira (720) y Wipliyn (400) (Fonseca 2001).

La costa Caribe de Costa Rica con una extensión de 212 kilómetros de largo se caracteriza principalmente por presentar playas de arena de alta energía, con algunos afloramientos de corales creciendo sólo en el sudeste. Estas cadenas de arrecifes son poco desarrolladas y se asientan sobre afloramientos de fósiles carbonatados en tres áreas básicamente: (1) Moín-Limón, donde es afectado por el puerto principal del país, (2) El Parque Nacional Cahuita donde se incluye el arrecife más grande y la franja mejor estudiada de la costa del Caribe, y (3) Puerto Viejo y Punta Mona, que tiene un menor número de formaciones (Wilkinson 2000).

En Panamá el 99% de los arrecifes documentados para el país están en el Caribe donde hay más especies de corales duros (64 especies) que en el Pacífico (23 especies). Esto se encuentran a lo largo de la mayor parte de la costa, en tres áreas principales: (1) la costa occidental (Bocas del Toro-Río Chagres) que tiene la mayor cobertura de coral de todos los arrecifes del Caribe en Panamá, (2) la costa central (Colón-Isla Grande), que está cerca de la zona industrial importante y la más degradada Los arrecifes del Caribe (menos del 4% de cobertura de coral), y (3) la costa oriental (San Blas o Kuna Yala), con los arrecifes más extensos y diversos en Panamá (Wilkinson 2000).

El cuadro siguiente muestra el área aproximada y su distribución dentro del sistema nacional de áreas protegidas de cada país evaluado en su costa Caribe.

Cuadro 1. Extensión de arrecifes por país aproximada y porcentaje dentro de los Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas

País	Arrecifes total (ha)	% Áreas Protegidas	% Fuera Áreas Protegidas
Belice	166.649	35,4	64,6
Costa Rica	2.411	58,1	41,9
Honduras	105.985	21,7	78,3
Nicaragua	76.391	54,0	46,0
Panamá	119.765	8,3	91,7

Fuente: Elaboración propia a partir del cálculo utilizando una rejilla mínima de 500 metros

Aunque los arrecifes de coral están sometidos a una serie de efectos del cambio climático (Cuadro 1) en este reporte se analiza únicamente los cambios en la temperatura superficial del mar por ser uno de los factores de mayor relevancia en la sobrevivencia de estos hábitat marino y su importancia en los modos de vida de la gente del Caribe Centroamericano.

Cuadro 2. Hipótesis de cambio para arrecifes de coral en relación al cambio climático (adaptado de Cambers et al. 2007)

Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
Aumento de la temperatura superficial del mar.	El aumento de la temperatura del mar provoca blanqueamiento (pérdida de algas denominadas zooxantelas, en simbiosis con los corales) y puede provocar mortalidad. Los corales debilitados por otras presiones (contaminación, sobrepesca) son más susceptibles al blanqueamiento y a mortalidad.
Incremento de dióxido de carbono en el agua del mar.	El aumento de dióxido de carbono en el aire aumenta la concentración en el agua incrementando, lo reduce la cantidad de iones para la formación de carbonato de calcio disminuyendo el crecimiento de los esqueletos de peces, corales y otros invertebrados.
Aumento de la intensidad de las lluvias.	El aumento de las precipitaciones aumentará la descarga de sedimentos, reduciendo luminosidad en las desembocaduras de los ríos provocando reducción en el crecimiento y mortalidad de los corales, así como destrucción completa por deposición.
Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	Aumento de la frecuencia y la intensidad de las tormentas aumentará la destrucción de los arrecifes de coral sin permitir la recuperación de los mismos. Generalmente los arrecife pueden recuperarse en 10-15 años de estos fenómenos naturales, pero al ser más frecuentes, y tener menos capacidad de crecimiento, tenderán a deteriorarse. También aumentan la intensidad de las lluvias, ver impacto anterior.
Aumento del nivel del mar.	Al aumentar el nivel del mar se reduce la capacidad de los arrecifes de cresta de disipar el oleaje y mareas, reduciendo su función de protección de la costa ante eventos climáticos extremos.

Temperatura superficial del mar y estrés térmico

La temperatura del mar es un factor clave para los organismos asociados con dinoflagelados simbiontes (zooxantelas) o que tienen un rango de temperatura de tolerancia estrecha como los arrecifes de coral que crecen en zonas poco profundas donde hay una buena penetración de la luz. Los arrecifes de coral crecen y sobreviven en un rango estrecho de condiciones ambientales y son por lo tanto particularmente sensible a pequeños cambios en la temperatura del mar (Fabricius et al.2007).

La temperatura superficial del mar en los mares tropicales ha aumentado en el último siglo en cerca 0,5 ° C, que es en gran parte atribuible al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. No obstante, a nivel regional los patrones de exposición a dicho calentamiento por parte de los arrecifes de coral puede ser bastante complejo ya que las temperaturas y las tendencias de calentamiento difieren significativamente espacialmente y a escalas locales (Fabricius et al.2007).

La revisión del estrés térmico entre el año 2006 y 2010 en el Caribe Centroamericano mostró que todos los arrecifes de la región estuvieron expuestos en mayor o menor medida.

Los arrecifes en áreas protegidas de Belice (69%), Costa Rica (84%), Honduras (82%) Nicaragua (51%), Panamá (93%) estuvieron bajo estrés térmico muy bajo, los arrecifes de Costa Rica (16%), Nicaragua (13%) presentaron valores medios. Los arrecifes ubicados en las zonas de Punta Manabique en Guatemala, Cayos Miskitos en Nicaragua, la costa de Costa Rica y la zona de Bocas del Toro en Panamá presentaron los mayores valores de impacto potencial (Mapa y Grafico de arriba en figura 22).

Para el periodo 2030-2039 los escenarios de emisiones B1 muestran un desplazamiento de valores muy bajos y bajos hacia valores medio principalmente en algunas áreas de los Cayos Miskitos (Nicaragua), en todos los arrecifes del PNM Isla Bastimento y en algunos arrecifes de San Blas (Panamá). Los arrecifes en áreas protegidas de Belice, Honduras y Costa Rica aumentan el área expuesta de muy baja a baja. (Mapa y Grafico del medio en figura 23).

En el escenario de emisiones A2 los arrecifes que muestran cambios más pronunciados hacia valores medios son los ubicados en Nicaragua (26%) y Panamá (61). El resto de los países mantienen la mayoría de áreas en valores muy bajos y bajos. (Mapa y Grafico de abajo en figura 22).

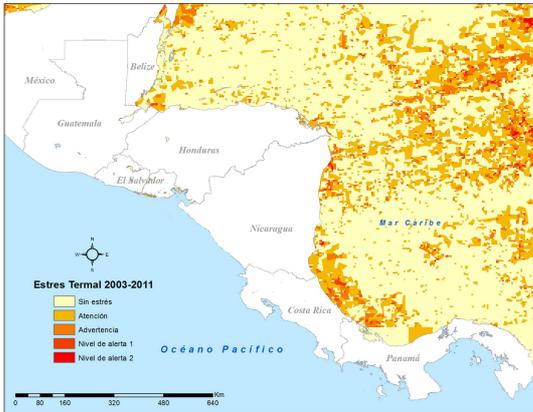
Para el periodo 2090-2099 (escenarios B1 y A2), todos los arrecifes del área de estudio estarán bajo estrés térmico muy alto, un nivel que podría implicar blanqueamiento generalizado.

Algunos autores mencionan que al continuar el calentamiento climático durante los próximos 20-30 años podrían ocurrir acontecimientos de estrés térmico dos veces al año como el sucedido en el año 2005 (Donner et al. 2007). No obstante, si ocurriera un aumento en la magnitud, así como en la frecuencia se producirían tensiones aún mayores que podrían causar más mortalidad de corales (Mc Williams et al. 2005) y aumentar la disminución aún más de arrecifes (Gardner et al. 2003).

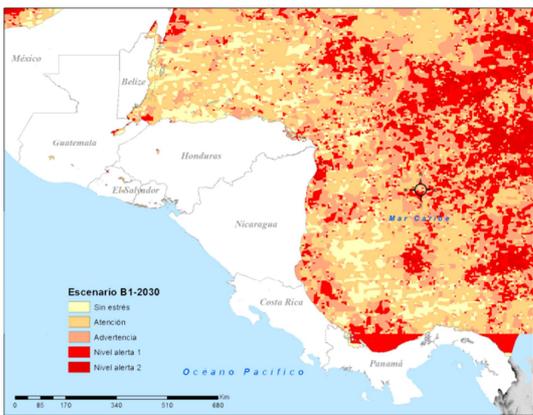
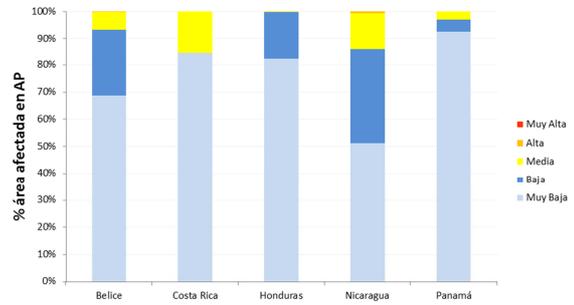
A la vez, Donner et al. (2007) mencionan que si aparecieran especies de corales y sus simbiontes capaces de adaptarse o aclimatarse a temperaturas más cálidas en el orden de los 1,5 °C se podría retrasar la frecuencia con que aparecerían los eventos de blanqueamiento, que podrían en peligro en el largo plazo la cobertura de coral en el Caribe hasta la segunda mitad del siglo XXI.

La razón por la que solo se consideran las anomalías de la temperatura superficial del mar se debe a que globalmente es la principal causa de muerte de los corales por el efecto de blanqueamiento que se produce al aumentar la temperatura superficial del mar y permanecer ese aumento por un período de tiempo determinado lo que produce el suficiente estrés para que los simbiontes abandonen o mueran y así el coral en general.

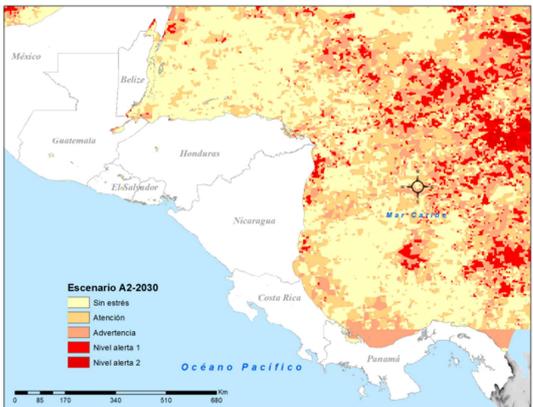
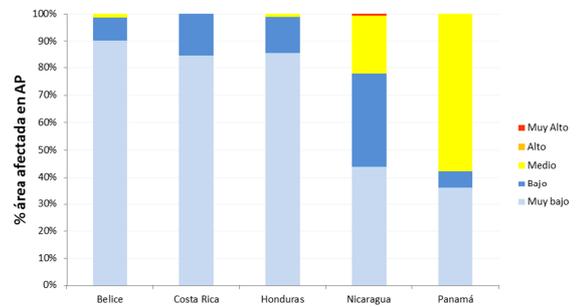
Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del Caribe centroamericano



Sensibilidad de arrecifes de coral a estrés Térmico en el periodo 2006-2010 en áreas protegidas



Sensibilidad de arrecifes de coral a estrés Térmico en el año 2030-2039 bajo EE-B1 en áreas protegidas



Sensibilidad de arrecifes de coral a estrés Térmico en el año 2030-2039 bajo EE-A2 en áreas protegidas

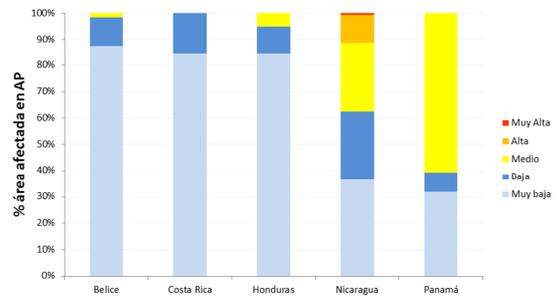


Figura 23. Impacto potencial del estrés térmico en los arrecifes de coral el período 2006-2010, y 2030-2039 bajos escenarios de emisiones B1 y A2

Manglares (humedales)

Introducción

Los manglares de la costa Caribe de Centroamérica son divididos en seis ecoregiones cada una con características particulares (WWF 2006). La figura siguiente muestra la distribución de estas en el Caribe centroamericano.

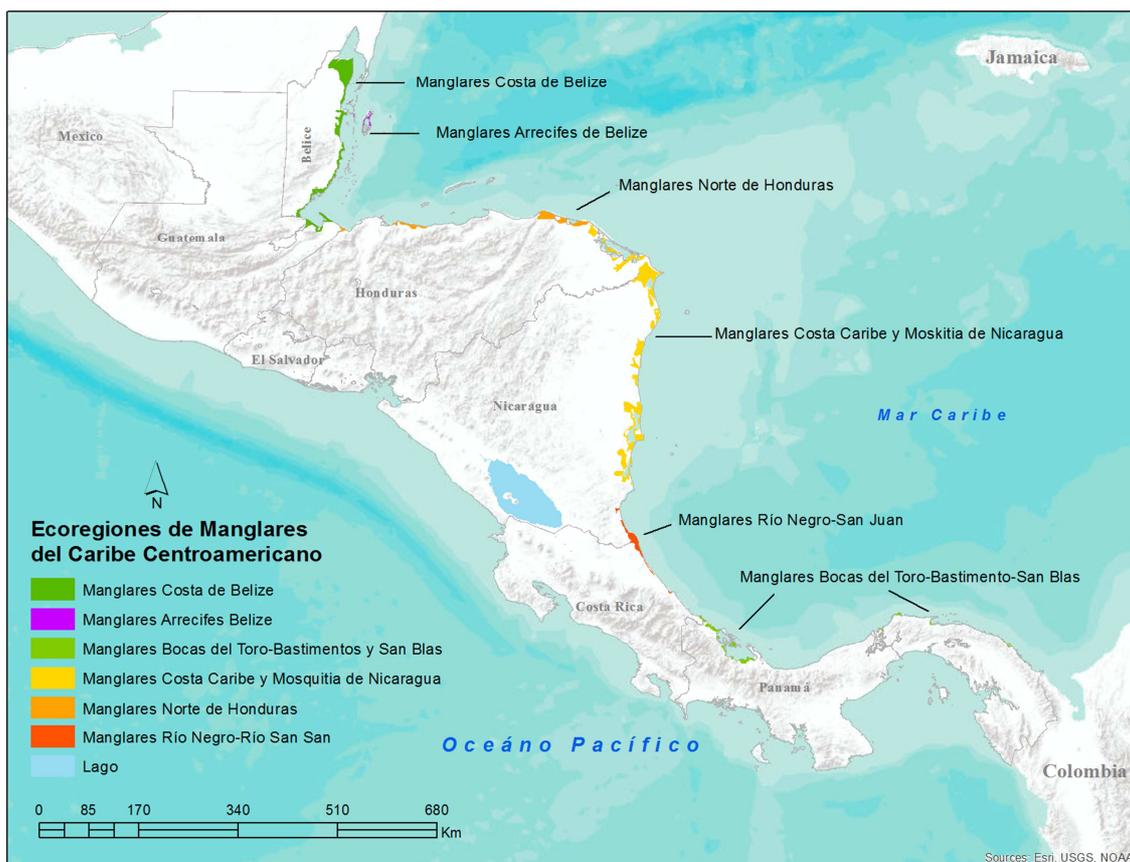


Figura 24. Distribución potencial de los diferentes tipos de manglar del Caribe de Centroamérica (Fuente datos: WWF 2006)

Manglares de la costa de Belice

Esta ecoregión se caracteriza por ser un factor importante de protección contra la erosión de la línea costera. Esta erosión es principalmente causada por las tormentas tropicales que entran en el Mar Caribe anualmente y muy seguidamente por Belice. Las principales especies de mangle presentes incluyen al mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle negro (*Avicennia germinans*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), y el mangle botón (*Conocarpus erectus*), que no es tan común en la región. (WWF 2012-A). Otras dos características de la ecoregión es que resguarda una importante población de manatíes

(*Trichecus manatus*), además de ser un sitio donde muchas especies de aves provenientes de Norteamérica pasan el invierno.

Manglares del arrecife de Belice

Esta zona sobresale porque está inmersa en un sistema natural formado por islas y cayos mar adentro asociadas con la barrera de arrecife coralino y tres grandes atolones de coral así como lechos de algas y lagunas costeras. La vegetación predominante incluye al mangle rojo que presenta un amplio rango de crecimiento, el mangle negro y el mangle blanco además de palmeras cocoteras (*Cocos nucifera*) (WWF 2012b).

Manglares del norte de Honduras

Con una larga extensión de línea costera incluyendo gran parte de Honduras y Guatemala las características más sobresalientes están hacia la parte este de Honduras donde los manglares se encuentran en una planicie costera comprendiendo varias lagunas y zonas pantanosas que periódicamente se inundan al igual que las sabanas de pino de tierras bajas que se encuentran adyacentes.

La vegetación de manglar que se encuentra en esta ecoregión incluye especies como el mangle rojo, el mangle negro, el mangle blanco, el mangle botón y otras especies de mangle rojo (*Rhizophora harrisonii*). Otras especies de plantas asociadas al manglar incluyen al helecho de cuero (*Acrostichum* sp). Mientras que los manglares que se encuentran en los bordes de las lagunas costeras, son dominados por *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*. Otras especies de plantas asociadas con los manglares son *Coccoloba uvifera* y *Cocos nucifera*.

Manglares de la costa del Caribe de Moskitia-Nicaragua

Esta ecoregión se caracteriza por presentar una distribución de manglares asociada con palmas de agua dulce (*Raphia taedigera*) formando parte de un complejo de hábitats que incluyen al Bosque Húmedo latifoliado, bosques de pino, pantanos costeros y bosques de bambú, al igual que arrecifes de coral y algo de las mayormente extensivas camas de algas en el mundo. La poca densidad de manglares se debe probablemente a la dominancia de agua dulce en este sistema. Las especies de mangle de esta ecoregión son el mangle rojo (las dos especies), el mangle negro, el mangle blanco y el mangle botón. Especies de plantas asociadas al manglar incluyen al helecho de cuero, el cual también invade áreas fuera del manglar y provee algo de protección contra la erosión (WWF 2012c).

Manglares de Río Negro y Río San Juan

En esta sección del Caribe centroamericano los manglares son escasos y están asociados a lagunas estuarinas y desembocaduras de ríos. Los manglares forman parte de mosaicos de varios hábitats que incluyen bosque lluvioso, ciénagas pobladas de árboles, humedales costeros, lagunas estuarinas, playas arenosas, pastos marinos y arrecifes de coral localizados en medio de playas importantes para el desove de tortugas marinas (WWF 2012d). Las especies de mangle incluyen mangle rojo (las dos especies), mangle negro, mangle blanco y mangle botón; otras especies arbóreas presentes son sangrillo (*Pterocarpus officinalis*), poró (*Erythrina poeppigiana*), chirca (*Thevetia ahouai*), jobo (*Spondias mombin*), pilón (*Hieronyma alchorneoides*) y jícaro de estero (*Amphitecna latifolia*) (Manrow y Vílchez 2012), que crecen aislados del gradiente de salinidad en áreas apropiadas.

Manglares de Bocas del Toro y las islas de Bastimentos y San Blas

Esta región comprende los manglares del Caribe sur de Costa Rica pasando por Bocas del Toro, Islas Bastimentos y terminando en San Blas, Panamá. Las especies dominantes de mangle en esta región son el mangle rojo (las dos especies), el mangle negro, el mangle blanco y el mangle botón.

El cuadro 3 muestra el área aproximada y su distribución dentro del sistema nacional de áreas protegidas de cada país evaluado en su costa Caribe.

Cuadro 3. Extensión aproximada de manglares por país y porcentaje dentro de los sistemas nacionales de áreas protegidas

País	Manglares total (ha)	% Áreas Protegidas	Fuera Áreas Protegidas
Belice	66.638	14,1	85,9
Costa Rica	2.056	77,9	22,1
Honduras	118	44,6	55,4
Nicaragua	58.730	56,3	43,7
Panamá	24.142	87,7	12,3

Fuente: Elaboración propia

Cambio de la temperatura ambiental

Los procesos bioquímicos de la planta y el suelo se ven afectados por los aumentos en la temperatura del agua y el aire, dos procesos claves que determinan la productividad; la ganancia fotosintética de carbono y la respiración siendo procesos muy sensibles a la temperatura (Lovelock & Ellison 2007). La fotosíntesis en los manglares tropicales está limitada por las altas temperaturas del mediodía que impulsan altos déficit de presión de vapor entre las hojas y el aire, dando como resultado el cierre estomático (Clough & Sim 1989, Cheeseman et al. 1997).

Un aumento de 2 °C en la temperatura ambiental, podría aumentar la respiración del suelo y las plantas en aproximadamente un 20 por ciento, lo que resulta en una reducción de la ganancia neta de carbono, aumento de las emisiones de metano y disminuciones en el almacenamiento de carbono en el suelo (Lovelock & Ellison 2007)

Para el análisis de los niveles de sensibilidad de los manglares al aumento de la temperatura del aire se asumieron los umbrales que se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Umbrales de sensibilidad de los manglares a la variación de la temperatura ambiental

Umbrales de Sensibilidad	Justificación
Baja: T° aire < 25°C	La mayoría de especies de mangle producen una máxima densidad de tallos cuando la temperatura del aire es cercana a 25°C (Hutchings & Saenger 1987 citados por MacLeod & Salm. 2006).
Media: T° aire ≥ 25°C, < 35 °C	A temperaturas mayores a 25°C, algunas especies de mangle muestran un declinación en la tasa de formación de hojas (Saenger & Moverly 1985 citados por Macleod & Salm. 2006)
Alta: T° aire ≥ 35°C, < 38 °C	Temperaturas mayores a 35°C causan un estrés térmico que afecta a las estructuras radicales de los mangles y el establecimiento de plántulas (UNESCO 1992 citado por McLeod & Salm 2006).
Muy alta: T° aire ≥ 38°C	A temperaturas superiores a 38-40°C, casi no ocurre fotosíntesis (Clough et al. 1982 y Andrews et al. 1984, citados por McLeod & Salm 2006)

El cuadro 5 muestra el impacto potencial de los cambios en la temperatura del aire en los manglares de la región según escenario de emisiones B1 para el periodo 2070-2099, obteniéndose que todos presentan una sensibilidad media, mientras que para el escenario de emisiones A2 (Cuadro 6) los manglares de Belice y Costa Rica presentan impacto bajo, la mayoría del área en Honduras, Nicaragua y Panamá presentan valores medio y solamente los manglares de Guatemala presenta valores altos.

Cuadro 5. Impacto potencial de los cambios en la temperatura ambiental en los manglares según escenario de emisiones B1 (porcentaje del área total en áreas protegidas)

País	Área	Grado Impacto potencial (%)			
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Belice	8.227			100	
Costa Rica	1.595			100	
Guatemala	52			100	
Honduras	31.539			100	
Nicaragua	20.617			100	
Panamá	4.508			100	

Nota: Solo se toman en cuenta los manglares ubicados en el continente

Cuadro 6. Impacto potencial de los cambios en la temperatura ambiental en los manglares según escenario de emisiones A2 (porcentaje del área total en áreas protegidas)

País	Área	Grado Impacto potencial (%)			
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Belice	8.227	100			
Costa Rica	1.595	100			
Guatemala	52				100
Honduras	31.539	8		92	
Nicaragua	20.617			100	
Panamá	4.508	8		92	

Nota: Solo se toman en cuenta los manglares ubicados en el continente

Cambio en la precipitación

Los cambios en las precipitaciones podrían tener un efecto importante en los humedales intermareales como lo son los manglares. Las precipitaciones influyen la composición, diversidad de especies y productividad ya que por ejemplo los aportes de agua dulce a los humedales intermareales reducen la salinidad, aumentan el contenido de agua en los suelos, los sedimentos y nutrientes necesarios para generar las condiciones favorables para el funcionamiento fisiológico de las plantas. Además, la conectividad de los hábitats también está influenciada por las precipitaciones ya que estas contribuyen ya sea al lavado de material o a la posibilidad de acumulación de material en los manglares. Un aporte de sedimentos incrementa la elevación de la superficie de los suelos de los humedales en relación con el nivel del mar creando así mayor posibilidad de hábitat que pueda ser colonizado por manglar, aunque, un evento de sedimentación excesiva puede traer como consecuencia la pérdida de bosques de manglar (McLeod & Salm 2006, Lovelock & Ellison 2007).

En el presente análisis el impacto potencial de los cambios de la precipitación en los manglares fue estimada según la cantidad de simulaciones que predicen una disminución en la precipitación superior a 50% tomando como base la metodología del IPCC sobre probabilidad de cambio siendo <33% muy baja, 33 a 50% baja, 50-66% media, 66 a 90% muy alta y utilizando los escenarios de emisiones B1 y A2 para el período 2070-2099.

Cuadro 7. Impacto potencial de los cambios de precipitación en los manglares según escenario de emisiones B1 (porcentaje del área total en áreas protegidas)

País	Área (ha)	Grado impacto potencial (ha)				
		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Belice	7.872					100
Costa Rica	1.594					100
Guatemala	43					100
Honduras	31.266					100
Nicaragua	20.388				8	92
Panamá	4.377				74	26

Nota: Solo se toman en cuenta los manglares ubicados en el continente

Cuadro 8. Impacto potencial de los cambios en la precipitación en los manglares según escenario de emisiones A2 (porcentaje del área total en áreas protegidas)

País	Área (ha)	Grado impacto potencial (ha)				
		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Belice	7.872					100
Costa Rica	1.594				100	
Guatemala	43				44	56
Honduras	31.266				54	46
Nicaragua	20.417				100	
Panamá	4.376			23	77	

Nota: Solo se toman en cuenta los manglares ubicados en el continente

A diferencia del impacto potencial de los cambios en la temperatura ambiental donde la mayoría de los valores fueron de medios a bajos, el impacto potencial en los manglares de los cambios en la precipitación en todos los países se mantiene en los niveles de alto y muy alto.

Cambio en el nivel del mar

Los manglares son uno de los sistemas costeros más sensibles al aumento del nivel del mar por encontrarse en la zona intermareal de las costas de baja energía. No obstante, los umbrales de aumento del nivel del mar para la pérdida de manglares y cambios en sus comunidades variará dependiendo de una amplia gama de factores que interactúan, incluyendo la configuración geomorfológica, la amplitud de la marea, la acumulación de sedimentos, la subsidencia, las tasas de crecimiento de los árboles y la composición de especies. (McLeod & Salm 2006). En el presente análisis se utiliza únicamente los rasgos geomorfológicos de la costa representados por la elevación de la misma sobre el nivel absoluto de mar.

Para el análisis del impacto potencial del aumento del nivel del mar en los manglares se asumieron los umbrales de sensibilidad que se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Calificación del indicador de elevación del nivel del mar en la costa

Elevación	Calificación	
< 1 m	Muy alta	Áreas altamente expuestas a inundación y erosión por mareas, lluvias extremas y tormentas de todas las categorías con el actual nivel del mar Áreas expuestas a inundación por tormentas con el actual nivel del mar.
1 a 2 m	Alta	Áreas altamente expuestas a inundación y erosión por mareas, lluvias extremas y tormentas de todas las categorías con el aumento del nivel del mar en el futuro
2 - 4 m	Media	Áreas expuestas a eventos extremos (3, 4, 5) con condiciones actuales. Áreas expuestas a inundación por tormentas y mareas con el aumento del nivel del mar en el futuro
4 - 8 m	Baja	Áreas expuestas a eventos extremos categoría 5 con condiciones actuales
8 - 16 m	Muy baja	Áreas no expuestas actualmente y poco expuestas con el aumento del nivel del mar en el futuro

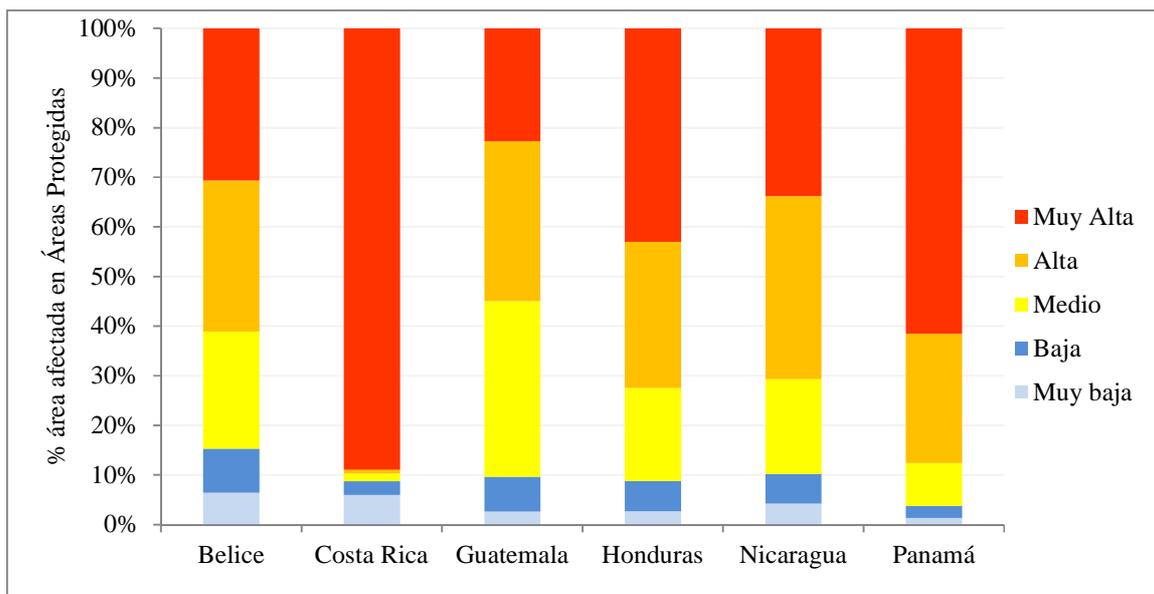


Figura 25. Impacto potencial del aumento del nivel del mar en los manglares (porcentaje del área total en áreas protegidas por país)

La figura 25 muestra que el aumento del nivel del mar tiene un impacto potencial de medio a muy alto en la mayoría del área de manglar que se encuentra dentro de los sistemas de áreas protegidas en el Caribe de Centroamérica. Este impacto potencial depende de que la tasa de acumulación de sedimentos sea lo suficiente mayor a la subida del nivel del mar pues, como afirman Gilman et al. (2008) los manglares no van paralelos a los cambios del nivel del mar cuando la tasa de cambio en la elevación de los sedimentos de la superficie del manglar es superada por la tasa de cambio en el nivel del

mar relativo. No obstante, la posibilidad de que un manglar migre hacia tierra o hacia el mar depende de las condiciones locales tales como la infraestructura humana o la topografía.

Pastos marinos

Introducción

Los pastos marinos se consideran sistemas abiertos, exportadores de hojas y otros componentes de producción primaria en forma de material orgánico hacia los otros hábitats. Las praderas marinas con sus extensos sistemas de raíces y rizomas ayudan a la estabilización de sedimentos, evita la abrasión y el entierro de los sedimentos de los corales adyacentes durante las tormentas. Los movimientos migratorios de diversos animales, como peces, langostas, langostinos y erizos de mar se realizan a través de los vínculos que existen entre los pastos marinos, arrecifes y manglares. Estos movimientos migratorios se producen a diario por ejemplo alimentándose en las praderas de pastos marinos durante el día y refugiándose de los depredadores en los arrecifes durante la noche o por temporadas, además, muchos de los estados juveniles de especies migran desde los manglares creándose así una relación compleja entre los tres sistemas que alberga una gran cantidad de biodiversidad marina (Green & Short 2003).

La figura 26 muestra la distribución aproximada del hábitat con condiciones para el desarrollo de praderas de pastos marinos en el Caribe centroamericano.

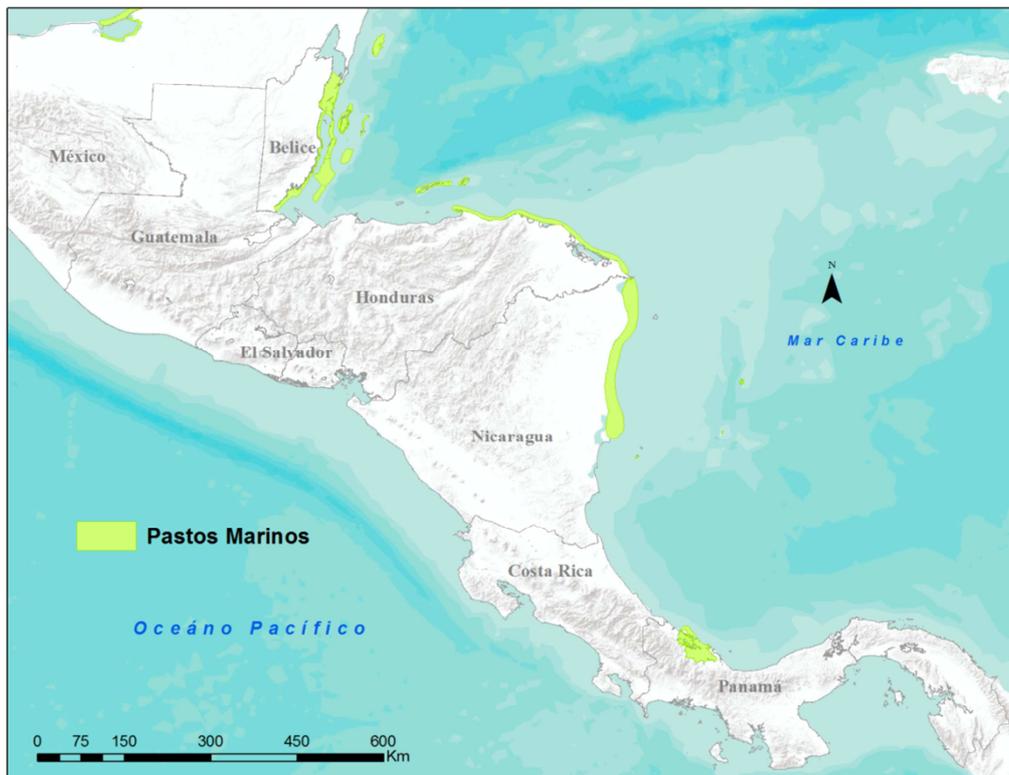


Figura 26. Distribución de los pastos marinos en el Caribe de Centroamérica

El cuadro 10 muestra el área aproximada y la distribución de los pastos marinos dentro del sistema nacional de áreas protegidas de cada país evaluado en su costa Caribe.

Cuadro 10. Extensión aproximada de hábitat favorable para pastos marinos por país y porcentaje dentro de los sistemas nacionales de áreas protegidas

País	Área total de pastos (ha)	% en áreas protegidas	% fuera de áreas protegidas
Belice	139.652	11,3	88,7
Costa Rica	572	65,5	34,5
Guatemala	2.191	98,3	1,7
Honduras	14.176	70,2	29,8
Nicaragua	555.244	5,8	94,2
Panamá	76.037	8,2	91,8

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 11 muestra un conjunto de hipótesis de cambio que surgen y que tienen su origen en la consideración de cómo diversos factores asociados al cambio climático podrían impactar a los pastos marinos en el área del presente análisis.

Cuadro 11. Hipótesis de cambio para los sistemas naturales²

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
Pastos marinos	Aumento del nivel del mar	Cambios en la luminosidad, energía de las olas, tipo de sustrato y herbívoros influirá en las praderas marinas según las especies.
	Aumento en la intensidad de las lluvias y períodos de sequía más prolongados	Lluvias más intensas y tormentas aumentarán el transporte de sedimentos pudiendo soterrar las praderas marinas y reducir la luminosidad. Los períodos de sequía más largos disminuirán el aporte de agua dulce aumentando la salinidad, lo cual puede convertirse en un factor de estrés para los pastos.
	Aumento de la temperatura del agua	Los pastos pueden ser afectados por un cambio de 1,5° C de temperatura, reduciendo su metabolismo. Temperaturas de 35° C o más pueden impedir que algunas raíces de ciertas especies rebroten
	Incremento del CO ₂ en el mar	El aumento de CO ₂ aumentará la productividad de los pastos. Junto con el ligero aumento de la temperatura, estos cambios químicos aumentará la biomasa, y por lo tanto, el nivel de detritus
	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes	El aumento de tormentas y olas de marea, y el cambio en los regímenes de caudal de los ríos y transporte de sedimentos puede destruir pastos marinos. Su capacidad de recuperación puede disminuir con la frecuencia de tormentas. Las praderas s crecen en ambientes de baja energía, y por lo tanto, el aumento en la turbulencia podría ocasionar desplazamiento o desaparición

Cambios en la temperatura superficial del mar

Cambios en la temperatura superficial del mar se traducen a nivel de los pastos marinos en cambios en la distribución, cambios en los patrones de reproducción sexual, alteración de las tasas de crecimiento, metabolismo y balance de carbono. Además, temperaturas más altas pueden aumentar el crecimiento de algas epífitas compitiendo y reduciendo la disposición de luz solar que necesitan para sobrevivir. Es claro que finalmente la respuesta de los pastos al aumento de la temperatura del agua dependerá de la tolerancia térmica de las diferentes especies y su temperatura óptima para efectuar la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento en general. También se señala la posibilidad de que se afecte la floración y la germinación de las semillas. La disminución o pérdida de los pastos marinos producirá cambios en los servicios ambientales que estos proveen como la alimentación de las tortugas marinas y la sostenibilidad de la productividad de la pesca debido a su función biológica como hábitats de crianza o de nutrición de una vasta cantidad de biodiversidad marina (Björk et al. 2008; Connolly 2009).

² Adaptado de Cambers et al. (2007)

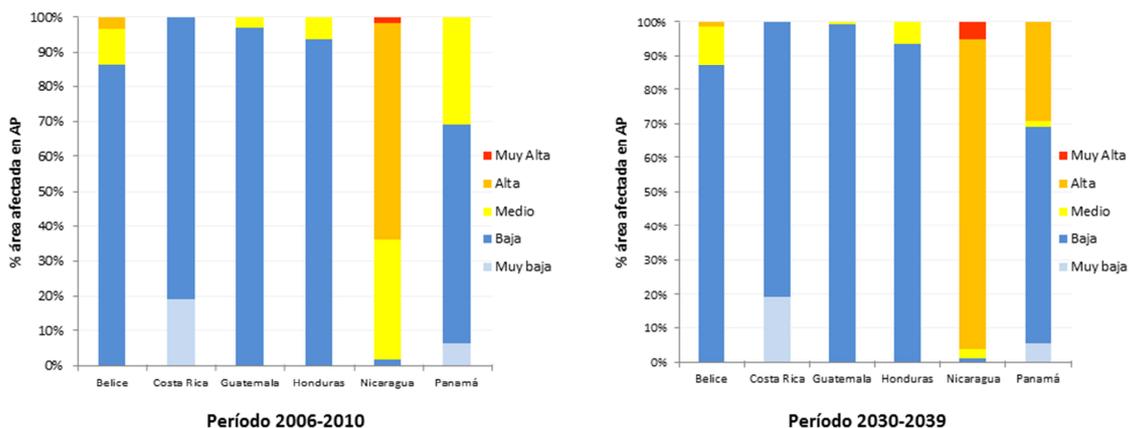


Figura 27. Impacto potencial de los cambios en la temperatura superficial del mar en los pastos marinos (Porcentaje del área total en áreas protegidas por país)

La figura 27 muestra los resultados al considerar una sensibilidad al estrés térmico de los pastos marinos similar a la de los arrecifes de coral. Para el período 2006-2010 se obtiene que los pastos ubicados en áreas protegidas de Nicaragua y Panamá son lo que presentan el impacto potencial del aumento de la temperatura superficial del mar con los valores más altos; en el resto de los países la mayoría del área está en regiones con impacto potencial de este proceso de bajo a muy bajo.

Para el periodo 2030 - 2039 (escenarios B1 y A2 dan los mismos resultados) más del 90% del área de pastos en las áreas protegidas de Nicaragua tienen un impacto potencial del aumento de la temperatura superficial del mar de medio a muy alto, la misma situación en la que se encontraría el 30% del área de pastos en áreas protegidas de Panamá. El resto del Caribe de Centroamérica (Belice, Honduras, Guatemala y Costa Rica) presentado valores de impacto potencial de bajos a muy bajos exceptuando un pequeño porcentaje (11%) en Belice que muestra valores medios.

IV. Capacidad Adaptativa

Introducción

La vulnerabilidad ha sido ampliamente definida como el grado de susceptibilidad al daño y tiene sus raíces sobre análisis de riesgo donde se han incluido aspectos geográficos, de seguridad alimentaria, de pobreza y desarrollo. Inicialmente los primeros estudios basaban los análisis de vulnerabilidad destacando el aspecto físico (por ejemplo, la producción agrícola, los asentamientos humanos, etc.), o el mismo peligro (por ejemplo, inundaciones, erosión costera, huracanes, incendios, etc.). Más recientemente los análisis han incorporado las condiciones sociales subyacentes como base para establecer el estado de vulnerabilidad de los seres humanos (Engle, 2011).

El IPCC (2007) define la vulnerabilidad a través de tres conceptos básicos. En primer lugar, la exposición como el grado en que el sistema está físicamente en peligro. En segundo lugar, la sensibilidad cómo la afectación al sistema después de ser expuestos a la tensión. Y en tercer lugar, la capacidad de adaptación representada por la capacidad del sistema para prepararse y adaptarse al estrés, principalmente para disminuir los efectos negativos y aprovechar las oportunidades.

El concepto de capacidad de adaptación tiene sus orígenes en la teoría de la organización y la sociología pero ha recibido un enfoque contemporáneo importante en los estudios que tratan de medir la vulnerabilidad de los sistemas sociales y naturales al cambio climático (Engle 2011). Así, Marshall *et al.* (2009) señala que si bien una idea de la capacidad de adaptación de una comunidad puede derivarse de la capacidad de adaptación de los individuos que la componen, la evaluación de las características de la comunidad puede proporcionar información que refleje mejor la capacidad de respuesta ante el cambio climático

En una evaluación de vulnerabilidad al cambio climático cada sitio puede presentar ciertas características propias que hacen que algunos indicadores puedan ser más adecuados que otros para la evaluación. Una lista de posibles indicadores sociales para cada factor que contribuye a la vulnerabilidad del clima podría ser muy extensa, especialmente en el caso de los indicadores relacionados con la capacidad de adaptación que dependen de las situaciones locales específicas, y que podría abarcar una amplia gama de condiciones sociales (Wongbusarakum & Loper 2011) por lo que siempre es importante seleccionar un conjunto mínimo de indicadores que ayuden en la tarea de evaluar esa capacidad adaptativa. Para el presente trabajo se seleccionó un conjunto mínimo de indicadores que se muestran en el cuadro 12 los cuáles fueron agrupados bajo cinco criterios.

Cuadro 12. Criterios e indicadores seleccionados para el establecer la capacidad adaptativa a nivel de Municipios costero en el Caribe de Centroamérica

Criterio	Indicador
Grupos demográficamente vulnerables	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de hogares con máximo número de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) • Dependencia demográfica
Dependencia de los recursos vulnerables	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de personas cuya actividad económica principal es la pesca • Proporción de personas cuya actividad económica principal es la agricultura
Acceso y uso de conocimientos relacionados con el clima	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de población analfabeta
Acceso equitativo a los recursos y servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Número de centros de salud de atención primaria por cada 1000 personas • Proporción de hogares sin abastecimiento de agua por tubería • Proporción de hogares sin instalación sanitaria (%)
Estrés ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de territorio bajo áreas protegidas • Porcentaje de territorio bajo cobertura forestal

Fuente: Elaboración propia

Los cuatro distritos costeros de Belice presentan valores de capacidad adaptativa que va desde de la capacidad alta en el distrito de Belice hasta capacidad adaptativa baja y muy baja en los distritos de Corozal y Toledo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Capacidad adaptativa de los distritos costeros de Belice

Distrito	Grupos vulnerables	Acceso y uso de conocimientos	Dependencia de los recursos vulnerables	Acceso equitativo a los recursos y servicios	Estrés ambiental	Capacidad Adaptativa Total
Belize	2	2	3	2	3	2
Corozal	3	5	3	4	4	5
Stann Creek	3	5	3	3	2	3
Toledo	4	5	3	4	2	4

Nota: (1) Capacidad adaptativa muy alta;(2) Capacidad adaptativa alta; (3) Capacidad adaptativa media;(4) Capacidad adaptativa baja; (5) Capacidad adaptativa muy baja

Los municipios costeros de Guatemala presentaron valores de capacidad adaptativa media (Puerto Barrios) y capacidad adaptativa muy baja (Livingston) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Capacidad adaptativa de los municipios costeros de Guatemala

Municipio	Grupos vulnerables	Acceso y uso de conocimientos	Dependencia de los recursos vulnerables	Acceso equitativo a los recursos y servicios	Estrés ambiental	Capacidad Adaptativa Total
Puerto Barrios	2	3	3	3	3	3
Livingston	4	5	4	4	3	5

Nota: (1) Capacidad adaptativa muy alta;(2) Capacidad adaptativa alta; (3) Capacidad adaptativa media;(4) Capacidad adaptativa baja; (5) Capacidad adaptativa muy baja

En Nicaragua dos Municipios costeros (Puerto Cabezas y Bluefields) tienen valores de capacidad adaptativa alta, uno capacidad adaptativa media (San Juan de Nicaragua), tres presentan valores de capacidad adaptativa baja (Waspám, Desembocadura del Río Grande, Laguna de Perlas) y dos presenta valores de capacidad adaptativa muy baja (Prinzapolka, Kukrahill) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Capacidad adaptativa de los municipios costeros de Nicaragua

Municipio	Grupos vulnerables	Acceso y uso de conocimientos	Dependencia de los recursos vulnerables	Acceso equitativo a los recursos y servicios	Estrés ambiental	Capacidad Adaptativa Total
San Juan de Nicaragua	4	5	4	2	1	3
Waspám	4	5	4	2	2	4
Puerto Cabezas	3	3	4	2	2	2
Prinzapolka	4	5	5	3	3	5
Desembocadura del Río Grande	4	5	4	2	3	4
Laguna de Perlas	4	4	4	2	4	4
Kukrahill	4	5	3	2	4	5
Bluefields	3	3	3	2	1	2

Nota: (1) Capacidad adaptativa muy alta;(2) Capacidad adaptativa alta; (3) Capacidad adaptativa media;(4) Capacidad adaptativa baja; (5) Capacidad adaptativa muy baja

En el caso de Honduras el 60% de los Municipios costeros presentan valores de capacidad adaptativa baja(Esparta, La Másica, Tela, Arizona, Iriona, Santa Rosa de Aguán, Omoa, Ramón Villeda Morales) y muy baja (Jutiapa, Trujillo, Balfate, Limón, Santa Fe, Puerto Lempira, Ahuas) , 28% presentan capacidad adaptativa media (El Porvenir, San Francisco, Puerto Cortés, Brus Laguna, Juan Francisco Bulnes, Roatán, José Santos Guardiola) y solamente el 12% que equivale a tres Municipios (La Ceiba, Guanaja, Utila) de los 25 que tiene la costa caribe de Honduras presentan valores de capacidad adaptativa alta (Cuadro 16).

Cuadro 16. Capacidad adaptativa de los municipios costeros de Honduras

Municipio	Grupos vulnerables	Acceso y uso de conocimientos	Dependencia de los recursos vulnerables	Acceso equitativo a los recursos y servicios	Estrés ambiental	Capacidad Adaptativa Total
La Ceiba	2	2	2	45	1	2
El Porvenir	2	3	3	5	1	3
Esparta	3	4	3	4	3	4
Jutiapa	4	4	3	4	4	5
La Másica	3	4	2	5	3	4
San Francisco	2	3	2	5	2	3
Tela	3	3	3	5	3	4
Arizona	3	4	3	5	2	4
Trujillo	3	4	3	4	4	5
Balfate	4	5	4	4	5	5
Iriona	4	4	4	4	1	4
Limón	4	5	3	4	4	5
Santa Fe	3	4	4	3	5	5
Santa Rosa de Aguán	3	3	4	3	5	4
Omoa	3	3	3	5	3	4
Puerto Cortés	2	2	2	5	4	3
Puerto Lempira	4	5	4	2	3	5
Brus Laguna	4	3	4	2	1	3
Ahuas	4	4	4	3	4	5
Juan Francisco Bulnes	4	3	4	3	1	3
Ramón Villeda Morales	4	4	4	2	3	4
Roatán	2	2	3	5	4	3
Guanaja	1	2	3	4	3	2
José Santos Guardiola	2	1	3	4	4	3
Utila	1	2	3	4	2	2

Nota: (1) Capacidad adaptativa muy alta;(2) Capacidad adaptativa alta; (3) Capacidad adaptativa media;(4) Capacidad adaptativa baja; (5) Capacidad adaptativa muy baja

Costa Rica es el único país de la región cuyos distritos presentan valores de capacidad adaptativa de alta a muy alta (Cuadro 17).

De los 12 distritos costeros de Panamá, tres presentan resultado de alta capacidad adaptativa muy alta (Colón, Portobello, Santa Isabel), cuatro tienen valores de capacidad adaptativa alta (Bocas del Toro, Changuinola, Chagres, Donoso), tres presentan capacidad adaptativa media y dos tienen capacidad adaptativa muy baja (Kankintú, Kusapin) (Cuadro 18).

Cuadro 17. Capacidad adaptativa de los distritos costeros de Costa Rica

Distrito	Grupos vulnerables	Acceso y uso de conocimientos	Dependencia de los recursos vulnerables	Acceso equitativo a los recursos y servicios	Estrés ambiental	Capacidad Adaptativa Total
Limón	1	1	1	2	3	1
Valle La Estrella	2	3	1	3	2	2
Río Blanco	1	2	1	2	3	1
Matama	1	1	1	2	1	1
Colorado – Pococí	2	2	2	2	1	1
Siquirres	1	1	1	2	4	1
Pacuarito	1	1	1	2	3	1
Sixaola	2	2	1	3	4	2
Cahuita	1	1	2	3	2	1
Matina	1	1	1	3	3	1
Batán	1	1	1	2	3	1
Carrandí	1	1	1	2	4	1

Nota: (1) Capacidad adaptativa muy alta;(2) Capacidad adaptativa alta; (3) Capacidad adaptativa media;(4) Capacidad adaptativa baja; (5) Capacidad adaptativa muy baja

Cuadro 18. Capacidad adaptativa de los distritos costeros de Panamá

Distrito	Grupos vulnerables	Acceso y uso de conocimientos	Dependencia de los recursos vulnerables	Acceso equitativo a los recursos y servicios	Estrés ambiental	Capacidad Adaptativa Total
Bocas del Toro	3	2	3	2	3	2
Changuinola	3	2	2	2	2	2
Chiriquí Grande	4	3	2	2	4	3
Colón	2	1	1	2	3	1
Chagres	3	1	2	1	4	2
Donoso	3	2	2	2	1	2
Portobelo	2	1	2	1	1	1
Santa Isabel	2	1	3	1	1	1
Santa Fe	3	3	3	2	3	3
Comarca Kuna Yala	4	4	4	3	1	3
Kankintú	5	5	3	4	3	5
Kusapin	5	4	3	3	3	5

Nota: (1) Capacidad adaptativa muy alta;(2) Capacidad adaptativa alta; (3) Capacidad adaptativa media;(4) Capacidad adaptativa baja; (5) Capacidad adaptativa muy baja

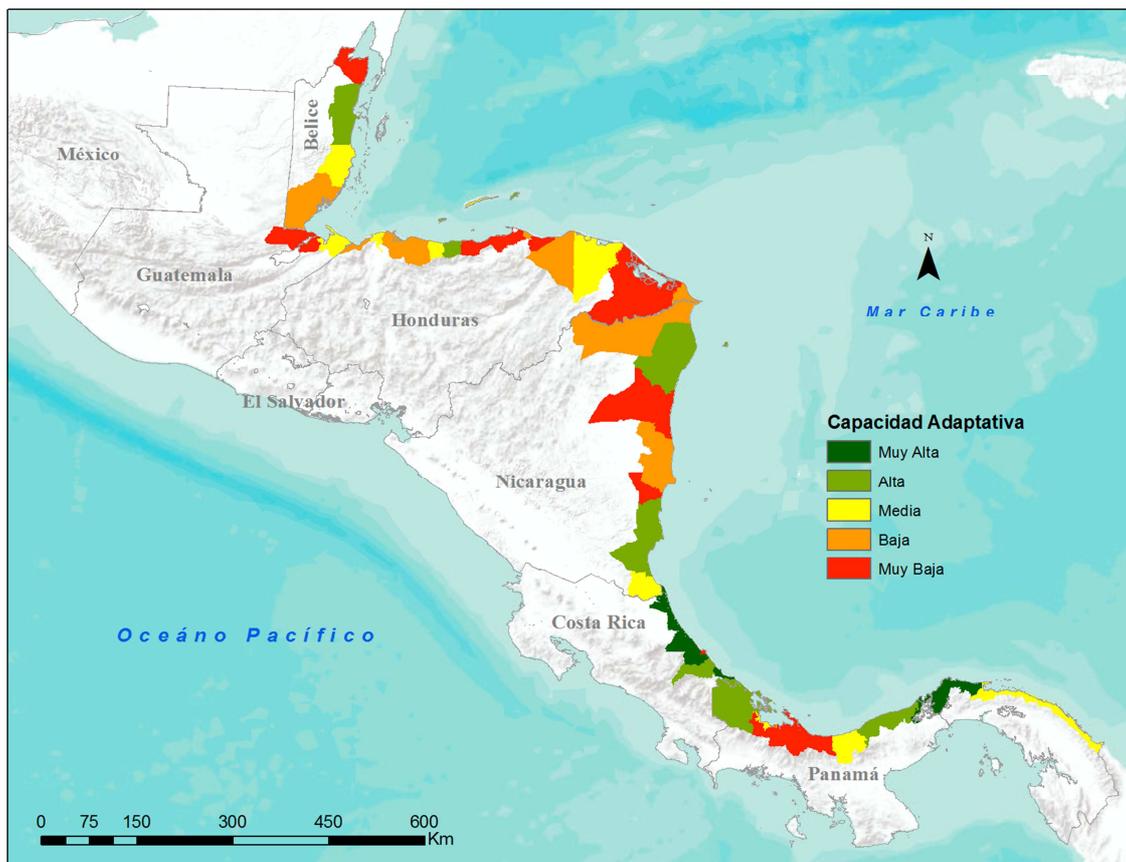


Figura 28. Capacidad adaptativa a nivel de municipio o distrito costero (Elaboración propia)

La figura 28 muestra la capacidad adaptativa a nivel de municipio / distrito costero en cada uno de los países de la. De los 63 municipios y distritos costeros analizados, 25 (39%) presentan valores de capacidad adaptativa alta y muy alta; 13 (21%) tienen capacidad adaptativa media y 25 (40%) presentan capacidad adaptativa de baja a muy baja.

V. Vulnerabilidad al Cambio Climático

Se evaluó la vulnerabilidad al cambio climático de 63 municipios y distritos y 146 áreas protegidas del Caribe de Centroamérica.

Una vez concluido los análisis de exposición y sensibilidad a nivel de los sistemas más relevantes (agropaisaje, bosques, manglares, pastos marinos y corales) estos fueron sumados a la capacidad adaptativa de cada Municipio para calcular la vulnerabilidad de cada uno de estos al cambio climático. En el caso de las áreas protegidas el valor de la capacidad adaptativa es tomada del valor que tiene el municipio de mayor influencia territorial sobre el área protegida (Recuadro 1).

Para representar los resultados finales se asume la vulnerabilidad del municipio / distrito o área protegida considerando la dominancia del nivel de vulnerabilidad que representa más del 50% del área y que en algunos casos es la suma de aquellos niveles de vulnerabilidad que representan la mayoría del territorio.

Recuadro 1. Algoritmos para el cálculo de la vulnerabilidad a nivel de municipio o distrito y área protegida

La vulnerabilidad a nivel de Municipio fue calculada con base al siguiente algoritmo:

$$V_m = [(V_{agr} + V_{bosq} + Anm) + CA_m]$$

Dónde:

V_m = Vulnerabilidad de Municipio

V_{agr} = Vulnerabilidad agricultura a cambios en temperatura y precipitación

V_{bosq} = Vulnerabilidad bosque a cambios en temperatura y precipitación

Anm = Vulnerabilidad al aumento del nivel del mar

CA_m = Capacidad adaptativa del Municipio

La vulnerabilidad a nivel de área protegida fue calculada con base al siguiente algoritmo:

$$V_{ap} = [(V_{agr} + V_{bosq}) + Anm + (TSM_{mang} + TSM_{past} + TSM_{coral})] + CA_m$$

Dónde:

V_{ap} = Vulnerabilidad de área protegida

V_{agr} = Vulnerabilidad agricultura a cambios en temperatura y precipitación

V_{bosq} = Vulnerabilidad bosque a cambios en temperatura y precipitación

Anm = Vulnerabilidad al aumento del nivel del mar

TSM_{mang} = Vulnerabilidad a cambios en la temperatura superficial del mar de manglares

TSM_{past} = Vulnerabilidad a cambios en la temperatura superficial del mar de pastos marinos

TSM_{coral} = Vulnerabilidad a cambios en la temperatura superficial del mar de corales

CA_m = Capacidad adaptativa del Municipio

Municipios y distritos costeros

La figura 29 muestra los resultados globales de vulnerabilidad al cambio climático a nivel de municipios y distritos del Caribe centroamericano, obteniéndose que para el escenario de bajas emisiones (B1) el 62 % de los municipios y distritos tienen vulnerabilidad de media a alta y cuando se analiza bajo el escenario de altas emisiones (A2) este valor sube al 79%. Esto significa que más del 50% del territorio de cada uno de los municipios y distritos de la región presenta vulnerabilidad de media a alta.

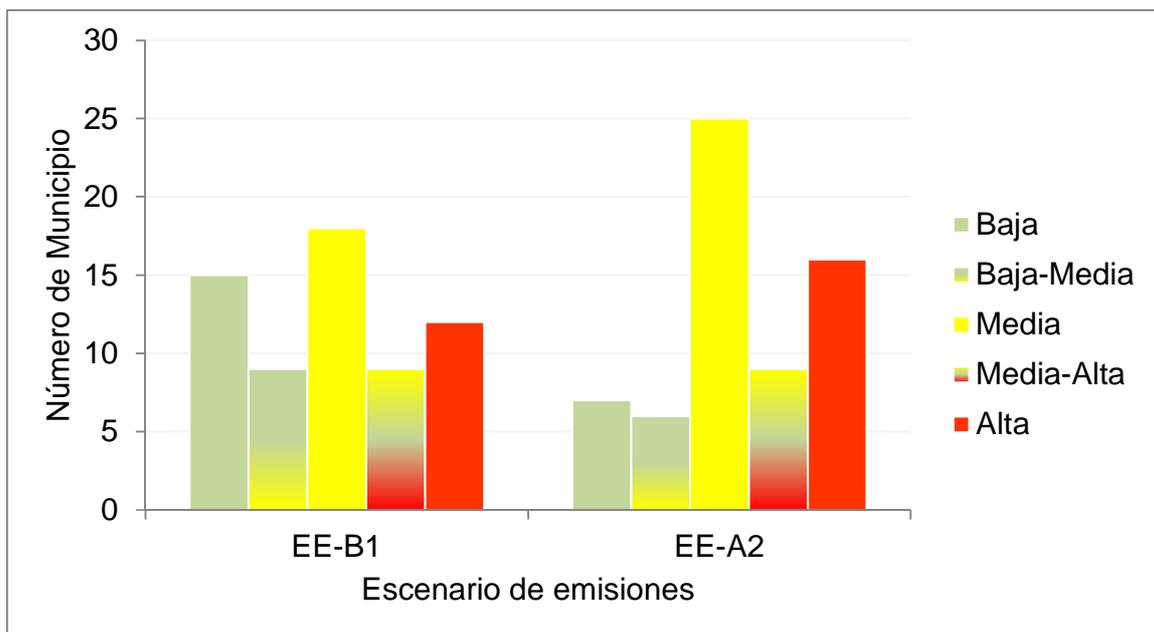


Figura 29. Número de municipios y distritos y nivel de vulnerabilidad al cambio climático para dos escenarios de emisiones (B1-emisiones bajas; A2-emisiones altas)

Las figuras 30 y 31 muestran el mapa de la distribución espacial de la vulnerabilidad a nivel de cada municipio o distrito. La descripción de cada municipio o distrito en cada país se hace en el apartado siguiente.

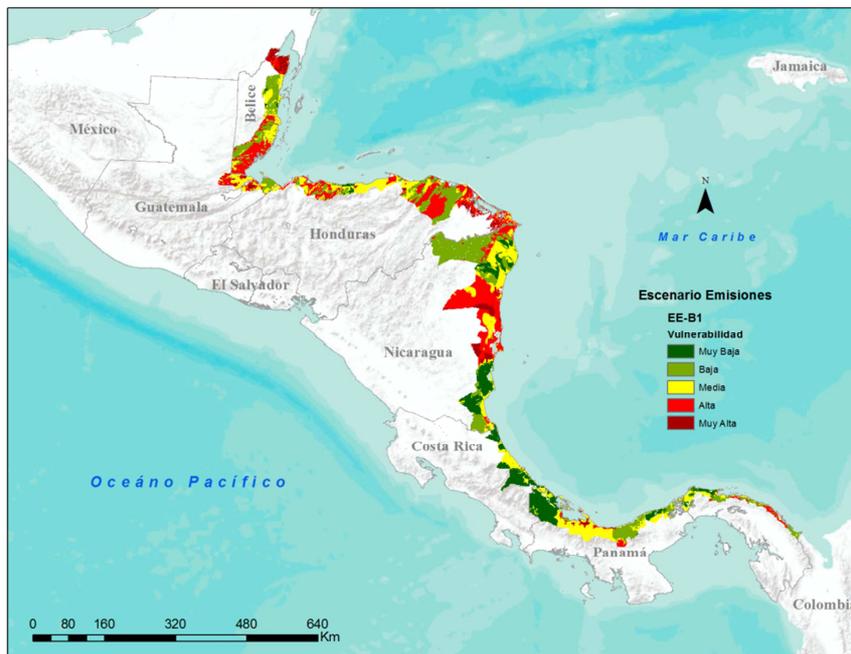


Figura 30. Distribución espacial de la vulnerabilidad al cambio climático a nivel de cada municipio o distrito para el escenario de emisiones bajas (B1)

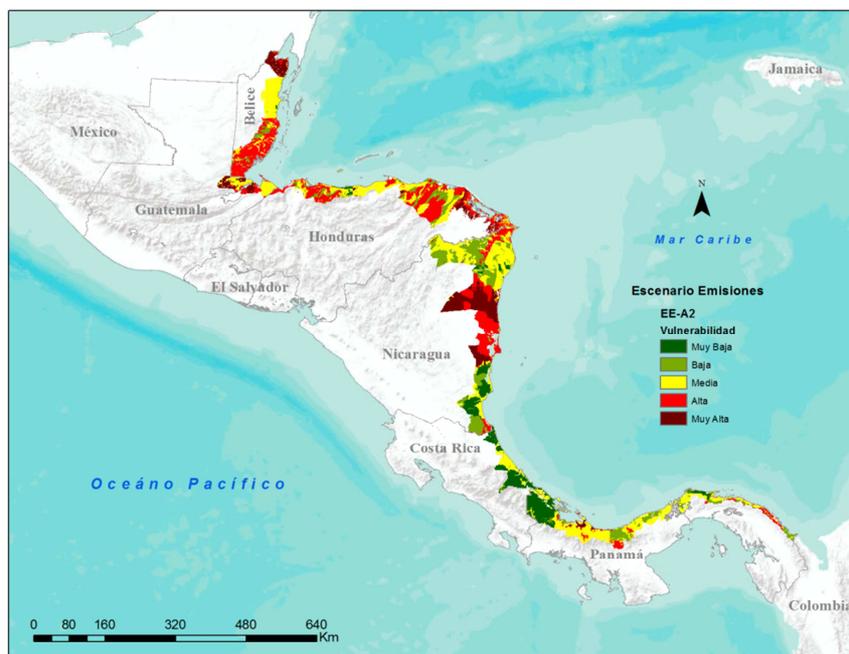


Figura 31. Distribución espacial de la vulnerabilidad al cambio climático a nivel de cada municipio o distrito para el escenario de emisiones altas (A2)

Belice

Los distritos de Corozal y Toledo para ambos escenarios de emisiones mantienen una vulnerabilidad alta en la mayoría de su territorio (>50%), mientras que los distritos de Stann Creek y Belize mantienen una vulnerabilidad de media (Belize) y alta (Stann Creek) bajo el escenario de emisiones altas, mientras que en el escenario B1 mantienen vulnerabilidades de medias a bajas (Cuadro 19).

Cuadro 19. Índice de vulnerabilidad de los distritos de Belice al cambio climático bajo dos escenarios de emisiones

Distrito	Área (ha)	Escenarios Emisiones B1			Escenarios Emisiones A2		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Belize	311.836	0,67	0,33		0,02	0,97	
Corozal	179.248		0,03	0,97		0,06	0,94
Stann Creek	226.576	0,37	0,39	0,24	0,20	0,16	0,63
Toledo	414.546	0,31	0,07	0,61	0,06	0,11	0,83

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio del distrito sometido a cada nivel de vulnerabilidad

Guatemala

El distrito de Livingston en Guatemala presenta vulnerabilidades de media a altas para los dos escenarios analizados mientras que el distrito de Puerto Barrios presentan valores de vulnerabilidad de bajo a medio en el escenario B1 y de medias a altas en el escenarios A2 (Cuadro 20).

Cuadro 20. Índice de vulnerabilidad de los municipios de Guatemala al cambio climático bajo dos escenarios de emisiones

Municipio	Área (ha)	Escenarios Emisiones B1			Escenarios Emisiones A2		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Livingston	218.085		0,47	0,52		0,35	0,65
Puerto Barrios	109.917	0,55	0,34	0,11		0,76	0,24

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio del municipio sometido a cada nivel de vulnerabilidad

Honduras

De los 25 municipios evaluados de Honduras y considerando la dominancia del nivel de vulnerabilidad cuando esta es representada por más del 50% del territorio del municipio los resultados que se obtienen son: cuatro municipios presentan vulnerabilidad baja para el escenario de emisiones B1 (Brus Laguna, La Ceiba, Santa Rosa de Aguán), seis presentaron vulnerabilidad media (Balfate, Guanaja, Jutiapa, Limón, Santa Fe, Utila), nueve presentan vulnerabilidad de media a alta (El Porvenir, Esparta, Iriona, Omoa, Ramón Villeda Morales, San Francisco, Tela, Trujillo) y diez presentan vulnerabilidad alta (Ahuas, Arizona, José Santos, Guardiola, Juan Francisco, Bulnes, La Másica, Puerto Cortés, Puerto Lempira, Roatán).

Cuadro 21. Índice de vulnerabilidad de los municipios de Honduras al cambio climático bajo dos escenarios de emisiones

Municipio	Área (ha)	Escenarios Emisiones B1			Escenarios Emisiones A2		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Ahuas	97.624	0,01	0,16	0,84		0,13	0,86
Arizona	46.458	0,27	0,11	0,62	0,20	0,08	0,72
Balfate	37.611		0,98	0,02		0,99	0,01
Brus Laguna	428.170	0,55	0,05	0,40	0,26	0,30	0,44
El Porvenir	28.582	0,31	0,43	0,26	0,16	0,36	0,47
Esparta	47.224	0,32	0,21	0,46	0,21	0,19	0,60
Guanaja	656	0,45	0,55			1,00	
Iriona	379.944	0,40	0,16	0,44	0,14	0,28	0,59
José Santos Guardiola	773		0,21	0,79		0,73	0,27
Juan Francisco Bulnes	66.211	0,51	0,08	0,42	0,44	0,09	0,48
Jutiapa	52.210		0,91	0,08	0,01	0,88	0,11
La Ceiba	63.764	0,62	0,38		0,46	0,54	0,01
La Másica	45.557	0,26	0,11	0,63	0,22	0,14	0,65
Limón	58.830	0,01	0,83	0,16	0,01	0,79	0,21
Omoa	28.337		0,60	0,40		0,04	0,96
Puerto Cortés	28.231	0,48	0,23	0,28	0,31	0,41	0,28
Puerto Lempira	199.930	0,01	0,11	0,88		0,13	0,87
Ramón Villeda Morales	56.544	0,04	0,37	0,59	0,03	0,38	0,59
Roatán	458		0,29	0,71		0,07	0,93
San Francisco	28.044	0,22	0,45	0,33	0,21	0,44	0,35
Santa Fe	16.002		0,98	0,02		1,00	
Santa Rosa de Aguán	11.475	0,60	0,30	0,09	0,31	0,61	0,08
Tela	113.939	0,15	0,41	0,44	0,10	0,31	0,59
Trujillo	84.667		0,68	0,32		0,66	0,34
Utila	2.808	0,35	0,65		0,34	0,66	

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio del municipio sometido a cada nivel de vulnerabilidad

Para los escenarios de emisiones altas A2 solamente los municipios de Brus Laguna (medio-alto), Esparta (alto), Iriona (alto), La Ceiba (medio), La Masica (alto), Omoa (alto), Puerto Cortés (medio-alto), Santa Rosa de Aguán (medio-alto) cambian sus niveles de vulnerabilidad hacia niveles más altos.

Nicaragua

De los ocho municipios de Nicaragua solamente tres mantienen valores de vulnerabilidad baja (Bluefields, San Juan del Norte, Waspám); uno vulnerabilidad media (Puerto Cabezas); uno vulnerabilidad de media-alta (Desembocadura del Río Grande) y los tres restantes presentan vulnerabilidades altas (Kukrahill, Laguna de Perlas, Prinzapolka). En relación al escenario de emisiones altas A2, Bluefields y San Juan del Norte siguen manteniendo vulnerabilidades bajas y Waspám pasa de vulnerabilidad baja a media-alta,

el resto de los municipios mantienen los valores de vulnerabilidad descritos para el escenario B1 (Cuadro 22).

Cuadro 22. Índice de vulnerabilidad de los municipios de Nicaragua al cambio climático bajo dos escenarios de emisiones

Municipio	Área (ha)	Escenarios Emisiones B1			Escenarios Emisiones A2		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Bluefields	446.305	0,87	0,13		0,75	0,25	
Desembocadura del Río Grande	172.820		0,48	0,52	0,01	0,01	0,98
Kukrahill	117.241		0,13	0,87		0,10	0,90
Laguna de Perlas	197.866	0,02	0,16	0,82	0,03	0,07	0,91
Prinzapolka	677.125		0,11	0,88		0,02	0,98
Puerto Cabezas	605.886	0,48	0,51		0,33	0,66	
San Juan del Norte	156.793	0,74	0,18	0,08	0,76	0,01	0,23
Waspám	858.826	0,82	0,03	0,15	0,43	0,41	0,16

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio del municipio sometido a cada nivel de vulnerabilidad

Costa Rica

De los doce distritos de Costa Rica, cuatro presentan vulnerabilidad baja para ambos escenarios de emisiones B1 y A2 (Cahuita, Colorado-Pococí, Matama, Valle de la Estrella); uno con vulnerabilidad de baja a media (Matina); y siete presentan vulnerabilidad media (Batán, Carrandí, Limón, Pacuarito, Río Blanco, Siquirres, Sixaola) (Cuadro 23).

Cuadro 23. Índice de vulnerabilidad de los distritos de Costa Rica al cambio climático bajo dos escenarios de emisiones

Distrito	Área (ha)	Escenarios Emisiones B1			Escenarios Emisiones A2		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Batán	20.584	0,34	0,66		0,35	0,65	
Cahuita	19.931	0,92	0,08		0,93	0,07	
Carrandí	19.959	0,22	0,78		0,25	0,75	
Colorado-Pococí	102.318	0,77	0,23		0,74	0,26	
Limón	4.522	0,10	0,66	0,24	0,05	0,69	0,26
Matama	32.657	0,88	0,11	0,01	0,86	0,14	
Matina	33.588	0,67	0,33		0,66	0,34	
Pacuarito	21.559	0,46	0,54		0,43	0,57	
Río Blanco	12.452	0,49	0,51	0,01	0,46	0,54	0,01
Siquirres	33.939	0,33	0,67		0,31	0,69	
Sixaola	15.673	0,25	0,75		0,19	0,81	
Valle La Estrella	114.308	0,89	0,11		0,89	0,11	

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio del municipio sometido a cada nivel de vulnerabilidad

Panamá

En el Caribe de Panamá se evaluaron doce distritos, de los cuáles para el escenario de emisiones bajas B1 cinco presentan vulnerabilidades bajas (Bocas del Toro, Chagres, Changuinola, Chiriquí Grande, Santa Fe); cinco vulnerabilidades de bajas a medias (Colón, Comarca Kuna Yala, Donoso, Portobelo, Santa Isabel); y dos presentan vulnerabilidades medias (Kankint, Kusapin) (Cuadro 24).

Al evaluar la vulnerabilidad utilizando el escenarios de emisiones altas A2 se obtiene que solamente ocho municipios cambias de condición; Bocas del Toro (pasa a vulnerabilidad baja a media), Chagres (media), Chiriquí Grande (Baja-media), Colón (media), Donoso (media), Portobelo (media) y Santa Fe (Baja a media).

Cuadro 24. Índice de vulnerabilidad de los distritos de Panamá al cambio climático bajo dos escenarios de emisiones

Municipio	Área (ha)	Escenarios Emisiones B1			Escenarios Emisiones A2		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Bocas del Toro	23.459	0,60	0,40		0,57	0,43	
Chagres	39.479	0,58	0,42		0,06	0,94	
Changuinola	376.515	0,89	0,11		0,87	0,13	
Chiriquí Grande	17.388	0,55	0,10	0,35	0,53	0,16	0,31
Colón	88.049	0,56	0,44		0,24	0,76	
Comarca Kuna Yala	199.608	0,57	0,13	0,30	0,35	0,36	0,29
Donoso	162.865	0,59	0,41		0,31	0,69	0,01
Kankint-	230.625	0,01	0,89	0,10	0,01	0,83	0,16
Kusapin	160.839		0,87	0,13		0,85	0,15
Portobelo	30.548	0,46	0,54		0,30	0,70	
Santa Fe	184.244	0,75	0,10	0,15	0,53	0,20	0,27
Santa Isabel	66.354	0,61	0,39		0,62	0,38	

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio del municipio sometido a cada nivel de vulnerabilidad

Áreas protegidas del Caribe de Centroamérica

La figura 32 muestra el porcentaje de áreas protegidas ubicadas en el caribe de Centroamérica bajo cada nivel de vulnerabilidad en cada uno de los países de la región. En general el mayor número de áreas protegidas presentan vulnerabilidades al cambio climático que van de medias a altas para el escenario de bajas emisiones (B1), siendo Nicaragua y Honduras los países que presentan mayor proporción de áreas con vulnerabilidades altas, probablemente esto está relacionado con la presencia de importantes extensiones de manglares, corales y pastos marinos en sus áreas, aunque también es de observar que el 56% de las áreas de Belice presentan vulnerabilidades de medias a altas, siendo este país uno de lo que presenta mayor extensión de arrecifes de coral protegidos. Llama la atención que Panamá no presenta áreas protegidas con vulnerabilidades altas bajo este escenario.

Al observar los datos globales de todas las áreas protegidas del Caribe centroamericano se obtiene que el 64% presenta vulnerabilidad de medias a altas (33,5% cada nivel) y solamente un 33% presenta vulnerabilidades bajas.

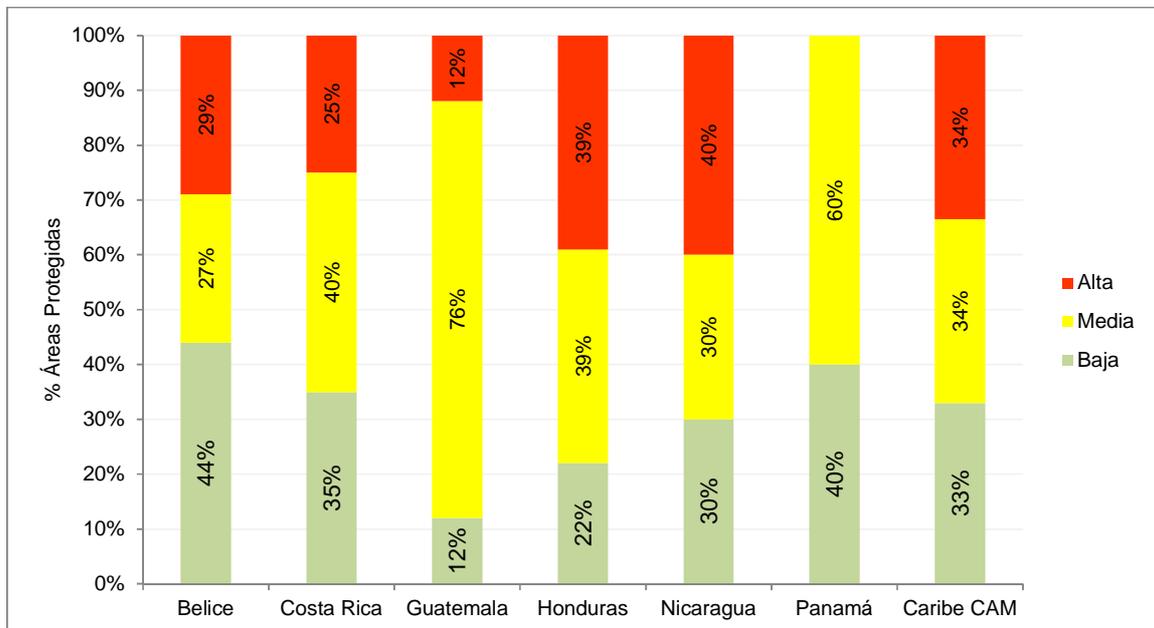


Figura 32. Porcentaje de áreas protegidas en el Caribe centroamericano y su nivel de vulnerabilidad al cambio climático bajo escenario de emisiones bajas (B1)

Bajo el escenario de emisiones altas (A2) Honduras (61%) es el que presentan mayor número de áreas con vulnerabilidades altas, seguido de Nicaragua (50%), Belice (42%), Costa Rica (30%) pero se sigue manteniendo la tendencia que el mayor número de áreas de la región se encuentran bajo vulnerabilidades que va de medias a altas, observando se en el datos global que el 44% de todas las áreas del Caribe de Centroamérica tiene vulnerabilidades alta seguidas de vulnerabilidad media (35%) y solamente un 20% presenta vulnerabilidades bajas (Figura 33) .

El anexo 2 muestra el detalle de vulnerabilidad basado en la extensión para cada una de las áreas protegidas del Caribe Centroamericano.

Las figuras 34 y 35 muestran las áreas del Caribe de Centroamérica según su vulnerabilidad.

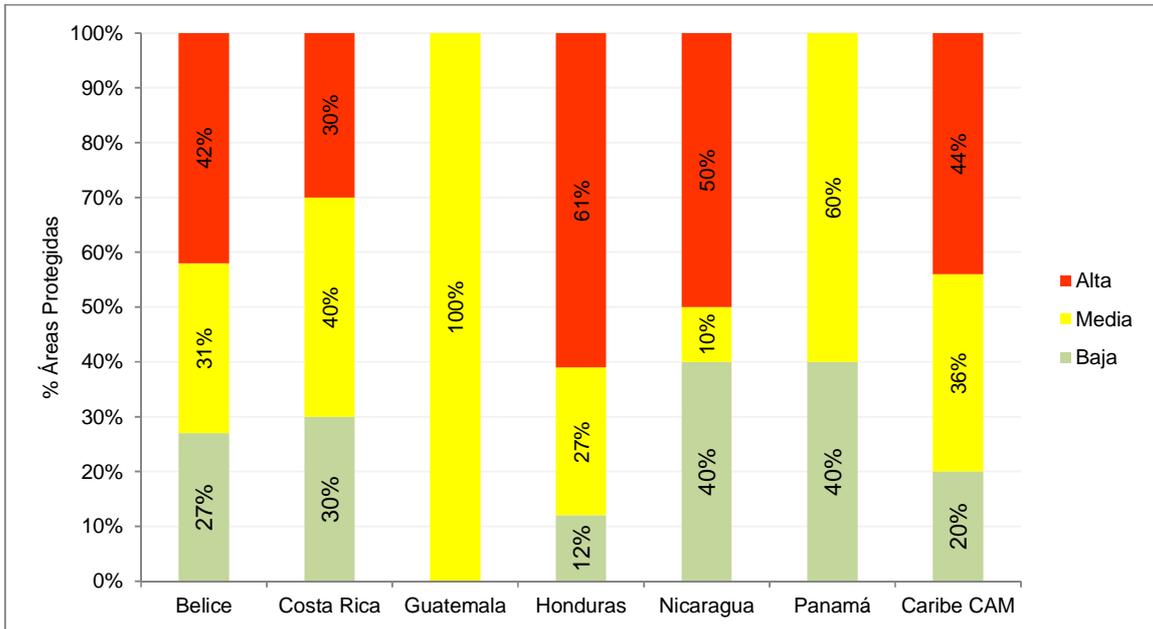


Figura 33. Porcentaje de áreas protegidas en el Caribe centroamericano y su nivel de vulnerabilidad al cambio climático bajo escenario de emisiones altas (A2)

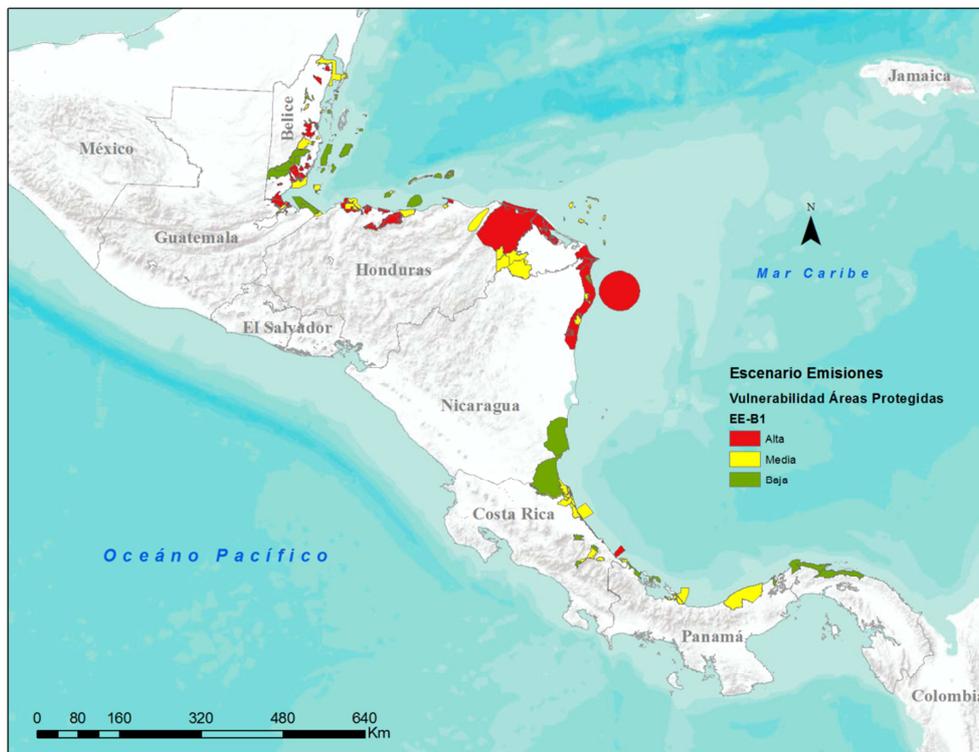


Figura 34. Vulnerabilidad de las áreas protegidas del Caribe centroamericano al cambio climático bajo escenario de emisiones bajas (B1)

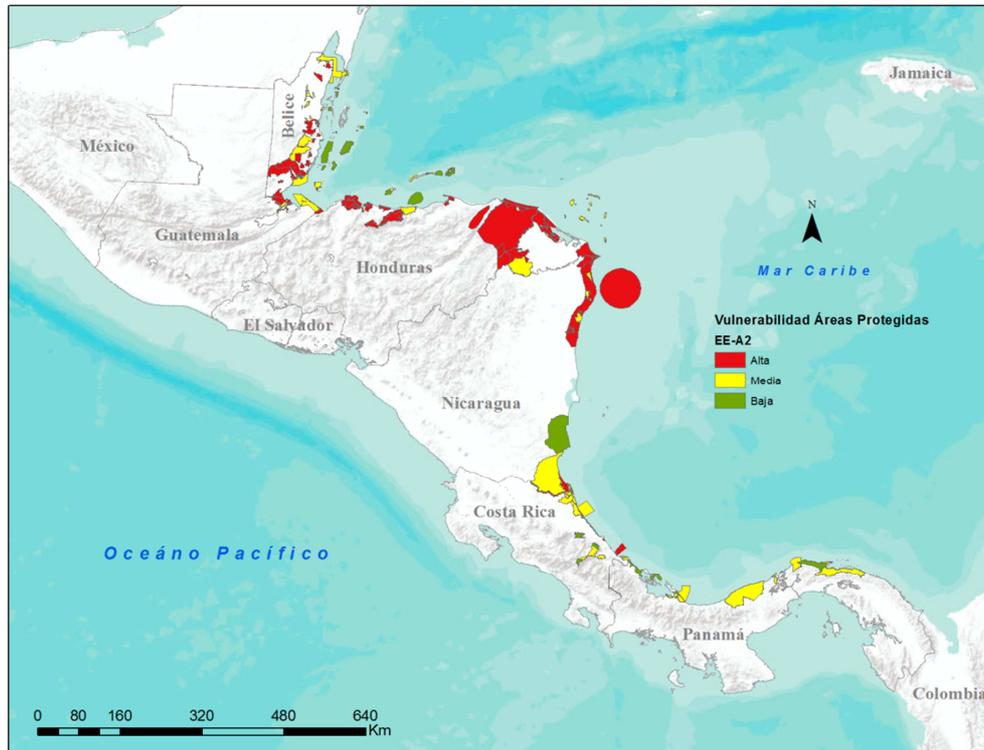


Figura 35. Vulnerabilidad de las áreas protegidas del Caribe centroamericano al cambio climático bajo escenario de emisiones altas (A2)

VI. Hallazgos Relevantes

Evidencias del cambio climático

- Las anomalías observadas en la temperatura superficial del mar muestran incrementos de temperatura en la mayor parte del Caribe en las últimas dos décadas, de hasta 0.3°C al este de Nicaragua, y enfriamiento en Yucatán y el Golfo de México.
- Los datos de tres mareógrafos en el Golfo de Honduras muestran una tendencia de aumento del nivel relativo del mar de más de 3 mm/año entre 1948 y 1977.
- Datos de altimetría obtenidos con satélites en órbita polar muestran una tendencia de aumento del nivel del mar de entre 1.76 mm/año y 4.4 mm/año, entre 1992 y 2010, en los sitios donde se encontraban las estaciones mareo gráficas.
- Tanto la serie de tiempo altimétrica como la del mareógrafo de San Cristóbal en Panamá (iniciada en 1907) muestran un aumento en el nivel del mar en la costa del caribe de 1-2 mm/año. La tendencia revelada por el mareógrafo de San Cristóbal es de 1.44 mm/año para el intervalo 1907-1978.
- El cambio del nivel del mar registrado con altímetros entre 1992 y 2010 tiene una estructura bipolar, con una tendencia positiva (aumento) sobre la costa centroamericana y una disminución hacia el interior del Mar Caribe.
- La variabilidad interanual del nivel del mar en la costa del Caribe es de menor amplitud que en el Pacífico (< 20 cm) y muestra poca coherencia con la señal del ENOS.
- Hay evidencias que sugieren que la tendencia de aumento del nivel del mar en la costa del Caribe podría ser explicada, al menos en parte, por cambios en la circulación de las aguas.
- Se encontró una tendencia al aumento del nivel del mar en el mar Caribe que pone en evidencia la probabilidad de que surjan algunos efectos directos sobre algunos hábitats marino-costeros como playas, humedales y manglares, a la vez que surge la potencial afectación sobre las actividades agrícolas, infraestructura y asentamientos humanos localizados en la zona costera.
- Los cambios en el patrón de precipitaciones de la región no parecen explicar la tendencia de aumento del nivel del mar en la costa centroamericana. Sin embargo,

el aumento del nivel del mar en la costa podría explicarse por un aumento en la descarga de agua continental debido a cambios en el uso del suelo.

Impacto del cambio climático en los ecosistemas

- Todos los arrecifes de la región estuvieron expuestos en mayor o menor medida al estrés térmico entre el año 2006 y 2010.
- El impacto potencial del aumento de la temperatura ambiental en todos los manglares es medio bajo en dos escenarios de emisiones, pero el impacto potencial de los cambios en la precipitación y del aumento en el nivel del mar es alto y muy alto respectivamente.
- Los pastos ubicados en áreas protegidas de Nicaragua y Panamá presentan los valores más altos de impacto potencial del aumento de la temperatura superficial del mar, en el resto de los países la mayoría del área está en regiones con un impacto potencial entre bajo y muy bajo de este proceso del cambio climático.

Capacidad adaptativa de los municipios y distritos costeros

- De los 63 municipios y distritos costeros analizados, 25 (39%) presentan valores de capacidad adaptativa alta y muy alta; 13 (21%) tienen capacidad adaptativa media y 25 (40%) presentan capacidad adaptativa de baja a muy baja.
- Para el escenario de bajas emisiones (B1) el 62 % de los municipios y distritos tienen un impacto potencial medio a alto, cuando se analiza bajo el escenario de altas emisiones (A2) este valor sube al 79%.
- Los datos globales de todas las áreas protegidas del Caribe centroamericano muestran que el 64% presenta un impacto potencial de medio a alto (33,5% cada nivel) y solamente un 33% presenta un impacto potencial bajo.

VII. Recomendaciones de Políticas y Opciones de Adaptación de los Sistemas Marino-Costeros

Con base a los resultados mostrados en el presente informe se recomienda que los países de la región consideren las siguientes propuestas de políticas y opciones de adaptación a escala de municipio o distrito para aumentar la capacidad adaptativa de las comunidades humanas y favorecer un ambiente para que los sistemas marino-costeros logren a través de sus procesos de resiliencia natural alcanzar la adaptación al cambio climático.

Es importante señalar que el presente reporte está basado únicamente en variables relacionadas con cambio climático y no han sido tomados en cuenta aspectos relacionados con amenazas no climáticas que pueden eventualmente acelerar o aumentar los impactos, además, que se requiere del control de estas amenazas para garantizar una eventual recuperación ante fenómenos de estrés y mantener la resiliencia de los sistemas marinos. Así mismo, se debe tomar en cuenta que conforme avance la disponibilidad de datos de otros aspectos no analizados en este reporte como acidificación del mar, altura de las olas o cambios en la frecuencia e intensidad en las tormentas podrían cambiar los valores de exposición y vulnerabilidad.

Recomendaciones

1. Fortalecer las capacidades institucionales y humanas en la región para generar conocimiento sobre la relación entre cambio climático y los ecosistemas costero-marinos y su gestión sustentable como lo establece la Estrategia Regional de Cambio Climático (CCAD y SICA 2010)
2. Se recomienda que los gobiernos en sus procesos de planificación a escala regional y local adopten como enfoque la adaptación basada en ecosistemas como un componente integral que ayude en la reducción de desastres y estrategias de adaptación al cambio climático
3. El diseño de proyectos relacionados con el cambio climático deben de tener en cuenta la condiciones locales medioambientales identificando las oportunidades que maximicen el servicio de los ecosistemas y hábitat marino-costeros en la reducción del riesgo a los desastres y la adaptación al cambio climático en general
4. Las comunidades locales y los grupos de interés deben participar en todos los procesos de diseño de estrategias de adaptación basadas en ecosistemas para lograr incrementar la capacidad adaptativa
5. La resiliencia de los pobladores locales y la de los hábitat marino-costeros a los impactos de origen humano y los impactos del cambio climático deben ser mejorada mediante la gestión utilizando el enfoque ecosistémico y el uso sostenible de los recursos

Opciones de adaptación

Es importante recalcar la reducción o eliminación del estrés no climático como base importante de la adaptación. El cambio climático compromete la sostenibilidad de la provisión de los servicios ecosistémicos, cualquier tensión adicional puede empeorar sus consecuencias.

Las siguientes opciones de adaptación se desprenden del análisis de vulnerabilidad realizado. Su implementación requiere trabajo intersectorial y la colaboración de diferentes interesados:

Basadas en el ordenamiento territorial

- Desarrollar mecanismos de planificación de las zonas costeras mediante un enfoque de manejo integrado de costas u ordenamiento espacial marino, principalmente en aquellas zonas donde se asienta ciudades de relativo tamaño a nivel costero.
- Incorporar en la planificación de la infraestructura costera a los humedales.
- Consolidar la protección de áreas críticas para la cría, desove y concentración alta de biodiversidad mediante la creación de zonas de no extracción.

Basadas en las prácticas de aprovechamiento de recursos

- Limitar la pesca y las capturas de aquellas especies que tienen importantes funciones ecológicas. La disminución de la presión pesquera mantiene la resiliencia y da oportunidad para que ciertas especies se recuperen del cambio en las condiciones ambientales.
- Reducir al mínimo la captura incidental y evitar el uso de artes de pesca no selectivos para evitar el estrés de las acciones y exacerbar la sobrepesca. Mantener la pesca de pequeña escala para mantener la seguridad alimentaria y los medios de vida.

Basadas en la conservación y restauración de ecosistemas

- Permitir que los humedales migren tierra adentro ya sea comprando tierras o poniendo restricciones al desarrollo y la agricultura costera.
- Conservar y promover la restauración de la biodiversidad de vegetación en las marismas, manglares y praderas de pastos marinos.
- Promover la restauración de manglares.
- Retirar de la costa estructuras abandonadas que no se estén utilizando para permitir la migración de la costa.

- Mantener o restaurar la vegetación de las playas y la costa con especies nativas para crear sombra natural. Los árboles y arbustos mitigan las altas temperaturas y contribuyen con la reducción de la erosión costera. La vegetación en el interior y a lo largo de la costa también ayuda a conservar la humedad y proteger las fuentes de agua, especialmente en aquellas zonas donde la tendencia de las lluvias es a disminuir.
- Proteger y restaurar cuencas hidrográficas.

Basadas en la construcción y manejo de infraestructura

- Reducir al mínimo la modificación de la línea de costa para mantener los hábitats naturales que protegen el agua, las especies y regulan el clima local. El desarrollo litoral (puertos, oleoductos, etc.) también aumenta el riesgo de intrusión de agua salada, que puede ser muy perjudicial para las zonas con escasez de agua (por ejemplo, islas). Esto implica tomar en consideración los impactos del cambio climático en la planificación de nuevos proyectos de infraestructura costera.
- Utilizar diques naturales que ayuden a disipar la acción del oleaje y así proteger las costas de la erosión.

Basadas en la gestión de información

- Desarrollar programas de seguimiento para ayudar a evaluar los cambios e informar para la toma de decisiones de gestión. Integrar el monitoreo de las especies con el monitoreo de la calidad del medio ambiente, así como el seguimiento de los eventos esporádicos (como afloramientos de algas, mortalidad masivas y blanqueamiento), para ayudar en la identificación de la vulnerabilidad de los hábitats y las especies.
- Desarrollar e implementar programas de comunicación y educación para las comunidades, los grupos de interés locales (pescadores, buzos, etc.), así como operadores de turismo para crear consenso y conciencia de que el problema del cambio climático es una cuestión compleja que requiere la participación de todos los interesados. Sólo a través de una fuerte cooperación y voluntad se puede lograr la adaptación social y ecológica.

REFERENCIAS

Aguilar E, et al. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119

Ballesteros D, Murillo G, Salazar P. 2011. *Variabilidad y cambio del nivel del mar en el Golfo de Honduras*. Informe Técnico preparado por el Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero de la Universidad Nacional. Setiembre 2011. 20 p.

Ballesteros D, Salazar P. 2012. *Variabilidad y cambio del nivel del mar en Costa Rica*. Informe Técnico preparado por el Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero de la Universidad Nacional. Setiembre 2012. 31 p.

Bindoff NL, Willebrand J, Artale V, Cazenave A, Gregory J, Gulev S, Hanawa K, Le Quéré C, Levitus S, Nojiri Y, Shum CK, Talley LD, Unnikrishnan, A. 2007. Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis, KB Averyt, M Tignor, HL Miller (eds.)]. Cambridge University Press.

Björk M, Short F, Mcleod E, Beer S. 2008. *Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change*. IUCN, Gland, Switzerland. 56 p.

Cambers G, Claro R, Juman R, Scott S. 2007. *Climate Change Impacts on Coastal and Marine Biodiversity*. Working Group Report. Caribbean Natural Resources Institute. Puerto Rico, USA.

Cazenave A, Nerem RS. 2004. Present-day sea level change: Observations and causes, *Rev. Geophys.*, 42, RG3001, doi:10.1029/2003RG000139

CCAD, SICA. 2010. *Estrategia Regional de Cambio Climático*. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo – CCAD Sistema de la Integración Centroamericana – SICA. El Salvador. 95 p.

CEPAL, MASEE, IH-UC. 2012. *Dinámicas, tendencias y variabilidad climática. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Ministerio de Asuntos Exteriores de España (MASEE), Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. Santiago-Chile. 263 p.

Cheeseman JM, Herendeen LB, Cheeseman AT, Clough BF. 1997. Photosynthesis and photoprotection in mangroves under field conditions. *Plant Cell and Environment* 20, 579–588

Clough BF, Sim RG. 1989. Changes in gas exchange characteristics and water use efficiency of mangroves in response to salinity and vapour pressure deficit. *Oecologia* 79, 38–44

Connolly, RM. 2009. *Seagrass*. In A marine climate change impacts and adaptation Report Card for Australia 2009 (Eds. Poloczanska, ES, Hobday, AJ, Richardson, AJ), NCCARF Publication 05/09.

Díaz JM. 1995. Zoogeography of marine gastropods in the southern Caribbean: a new look at provinciality. *Carib. J. Sci.*, 31(1-2): 104-121.

Donner S, Knutson T, Oppenheimer M. 2007. *Model-based assessment of the role of human-induced climate change in the 2005 Caribbean coral bleaching event*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0610122104

Engle NL. (2009). *Adaptive capacity and its assessment*. Global Environ. Change, doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.01.019

Fabricius K, Hoegh-Guldberg O, Johnson J, McCook L, Lough J. 2007. Chapter 17. *Vulnerability of coral reefs of the Great Barrier Reef to climate change*. In Climate Change and the Great Barrier Reef, eds. Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia

Fitzgerald, DM, MS Fenster, BA Argow, IV Buynevich. 2008. Coastal impacts due to sea-level rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 36: p.601–647.

Fish M, Côté IM, Gill JA, Jones AP, Renshoff S, Watkinson AR. 2005. *Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat*. *Conservation Biology* 19: p.482–491

Fonseca A. 2001. *Rapid Reef Assessment of Marine Ecosystems at Cayos Miskitus, Nicaragua*. Proarca/Costas and WWF: July to August 2001.

Gardner TA, Cote IM, Gill JA, Grant A, Watkinson AR (2003) *Science* 301:958–960

Gilman E, Ellison J, Duke N, Field C. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options. *Aquat. Bot.* doi:10.1016/j.aquabot.2007.12.009

Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08707

Glynn P, D'croz L. 1990. Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño coincident coral mortality. *Coral Reefs* 8: 181–191.

Gómez JA, Villalaz JR, D'Croze L. 2005. *Panama*. Pp. 157-167 in P. Miloslawich & E. Klein (Eds.). *Caribbean Marine Biodiversity, the Known and the Unknown*. DEStech Publications, Lancaster, USA.

Gyory J, Mariano AJ, Ryan EH. 2007. *The Caribbean Current*: <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/caribbean.html>

Green EP, Short F. 2003. *World Atlas of Seagrasses*. Prepared by the UIMEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA.

Hale LZ, Meliane I, Davidson S, Sandwith T, Hoekstra J, Spalding M, Murawski S, Cyr N, Osgood K, Hatzilos M, Van Eijk P, Davidson N, Eichbaum W, Dreus C, Obura D, Tamelander J, Herr D, McClennen C, Marshall P. 2009. Ecosystem-based Adaptation in Marine and Coastal Ecosystems. *Renewable Resources Journal* 25, 21-28

Hayes RL, Goreau, TJ. 2008. Satellite-derived sea surface temperature from Caribbean and Atlantic coral reef sites, 1984-2003. *Rev. Biol. Trop.*, 56, 1, 97-118.

Harley, CDG, Randall Hughes A, Hultgren KM, Miner BG, Sorte CJB, Thornber CS, Rodriguez LF, Tomanek L, Williams SL. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology letters* 9: p.228–41.

Hawkes L, Broderick A, Godfrey M, Godley B. 2009. Climate Change and marine turtles. *Endangered Species Research* 7: p.137–154.

Imbach P, Molina L, Locatelli B, Roupsard O, Mahé G, Neilson R, Corrales L, Scholze M, Ciais P. 2012. Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. *Journal of Hydrometeorology* 13: 665–680

IPCC. 2001. *Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Resúmenes del Grupo de Trabajo II, Panel Intergubernamental Sobre El Cambio Climático.

IPCC. 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A., Ginebra, Suiza: IPCC. Panel Intergubernamental Sobre El Cambio Climático

Klein RJT, Nicholls RJ. 1999. Assessment of change climate coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28: 182–187

Kokot RR, Codignotto JO, Elissondo M. 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 477–487.

Liu G, Matrosova LE, Penland C, Gledhill DK, Eakin CM, Webb RS. 2008. NOAA Coral Reef Watch Coral Bleaching Outlook System. In 11th International Coral Reef Symposium. pp. 7–11, Ft. Lauderdale, FL.

Lovelock C, Ellison J. 2007. *Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change*. In *Climate Change and the Great Barrier Reef*, eds.

Johnson JE and Marshall PA. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia. 237-269 pp

McLeod E, Salm RV. (2006). *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*. IUCN, Gland, Switzerland. 64pp.

Macleod, C. 2009. *Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis*. *Endangered Species Research* 7: 125–136.

McWilliams JP, Côte IM, Gill JA, Sutherland WJ, Watkinson AR. (2005). *Accelerating impacts of coral bleaching with temperature in the Caribbean*. *Ecology* 86:2055–2060

Manrow M, Vilchez B. 2012. Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, Limón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 23(9)

Marshall NA, Marshall PA, Tamelander J, Obura D, Malleret-King D, Cinner JE. 2009. *A Framework for Social Adaptation to Climate Change, Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries*. Gland, Switzerland, IUCN. v + 36 pp.

Mccarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS. 2001. *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. D, K. White (Eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Mooers CNK, Maul GA. 1998. Intra-Americas sea circulation, coastal segment (3,W). *The Sea*, A. Robinson and KH Brink, Eds., Vol. 11, John Wiley and Sons, 183–208.

Nicholls RJ, Hoozemans FMJ, Marchand M. 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Global Environmental Change* 9, Supplem: p.S69–S87.

Nicholls RJ, Tol RSJ. 2006. Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences* 364: 1073–95.

Neelin, JD, Münnich, M, Su, H, Meyerson, JE, Holloway, CE. (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *PNAS* 103: 6110–5

Preston BL, Smith TF, Brooke C, Gorrdard R, Measham TG, Withycombe G, Beveridge B, Morrison C, Mcinnes K, Abbs D. 2008. *Mapping climate change vulnerability in the Sydney Coastal Councils Group*, Canberra: Sydney Coastal Councils Group (SCCG).

Rauscher SA, Giorgi F, Diffenbaugh NS, Seth A. 2008. Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Climate Dynamics* 31: 551–571

Retana J, Campos M, Deford D. 2008. Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana en Costa Rica, San José, CR.

Salazar-Vallejo, SI. 2000. Biogeografía marina del Gran Caribe. *Interciencia*, 24:7-12

Schröter D, Polsky C, Patt AG. 2005. Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: 573–596

Short A, Woodroffe C. 2009. *The Coast of Australia*, Cambridge University Press

TNC. 2008. *Evaluación de ecorregiones marinas en Mesoamérica. Sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones Bahía de Panamá, Isla del Coco y Nicoya del Pacífico Tropical Oriental, y en el Caribe de Costa Rica y Panamá*. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. TNC, San José, Costa Rica. 165 p.

Vallis GK. 2012. *Climate and the oceans*, Princeton, US: Princeton University Press

Wilkinson C. 2000. *Status of coral reefs of the world: 2000*. Global Coral Reef Monitoring Network-Australian Institute of Marine Science, 2000. 315-331 p.

Wilkinson C, Souter D. 2008. *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005*. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, 152 p.

Wongbusarakum S, Loper C. 2011. Indicators to assess community-level social vulnerability to climate change: an addendum to SocMon and SEM-Pacific regional socioeconomic monitoring guidelines. Coral Reef Initiative for the South Pacific, SprepProe, TNC, SocMon, NOAA. 41 p.

WWF. 2012a. Belizean Reef mangroves. In <http://worldwildlife.org/ecoregions/nt1406>

WWF. 2012b. Belizean Coast mangroves. In <http://worldwildlife.org/ecoregions/nt1405>

WWF. 2012c. *Northern Honduras mangroves*. In <http://worldwildlife.org/ecoregions/nt1426>

WWF. 2012d. *Mosquitia-Nicaraguan Caribbean Coast mangroves*. In <http://worldwildlife.org/ecoregions/nt1424>

WWF. 2012e. *Rio Negro-Rio San Juan mangroves*. <http://worldwildlife.org/ecoregions/nt1431>

WWF. 2012f. Bocas del Toro-San Bastimentos Island-San Blas mangrove. <http://worldwildlife.org/ecoregions/nt1407>

ANEXO 1: Escenarios climáticos

Se utilizaron las siguientes bases de datos y modelos y escenarios de CC:

- Datos climáticos de línea base. Se utilizó como climatología base los datos de WorldClim (Hijmans et al. 2005) provenientes de un conjunto de datos climáticos globales a una resolución espacial de 1 km² y un período de 1960-1990.
- Datos climáticos futuros. Los escenarios de CC utilizados provienen del Programa de Investigación Mundial sobre el Clima (WCRP), del grupo CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project phase 3), usados en el reporte AR4 del IPCC. Estos escenarios han sido reducidos de escala (a una resolución de aproximadamente 5 km) por The Nature Conservancy en tres grupos de forzamiento radiativo (IPCC-SRES), B1 y A2 con 48, 52 y 36 escenarios respectivamente para el período 2070-2100, para 136 simulaciones de clima futuro en total (cuadro siguiente).

Simulaciones utilizadas de Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (AOGCM)

AOGCM	Siglo XX	Bajas emisiones (B1)	Altas emisiones (A2)	
BCC-CM1		1	1	0
BCCR-BCM2.0		1	1	1
CCSM3		8	8	4
CGCM3.1(T47)		5	5	5
CGCM3.1(T63)		1	1	0
CNRM-CM3		1	1	1
CSIRO-Mk3.0		1	1	1
ECHAM5/MPI-OM		4	3	3
ECHO-G		3	3	3
FGOALS-g1.0		3	3	0
GFDL-CM2.0		1	1	1
GFDL-CM2.1		1	1	1
GISS-AOM		2	2	0
GISS-EH		3	0	0
GISS-ER		5	1	1
INM-CM3.0		1	1	1
IPSL-CM4		1	1	1
MIROC3.2(hires)		1	1	0
MIROC3.2(medres)		3	3	3
MRI-CGCM2.3.2		5	5	5
PCM		4	3	4
UKMO-HadCM3		2	1	1
UKMO-HadGEM1		1	1	0
Total		58	48	36

Se utilizó como base la metodología del IPCC sobre probabilidad de cambio, la cual evalúa la cantidad de simulaciones que superan el umbral establecido (disminución

superior a 50% de precipitación). Cuando <33% del total de simulaciones por escenario de emisiones (B1 o A2) supera el umbral entonces la exposición es muy baja, de 33 a 50% baja, de 50 a 66% media, de 66 a 90% alta y de 90 a 100% muy alta.

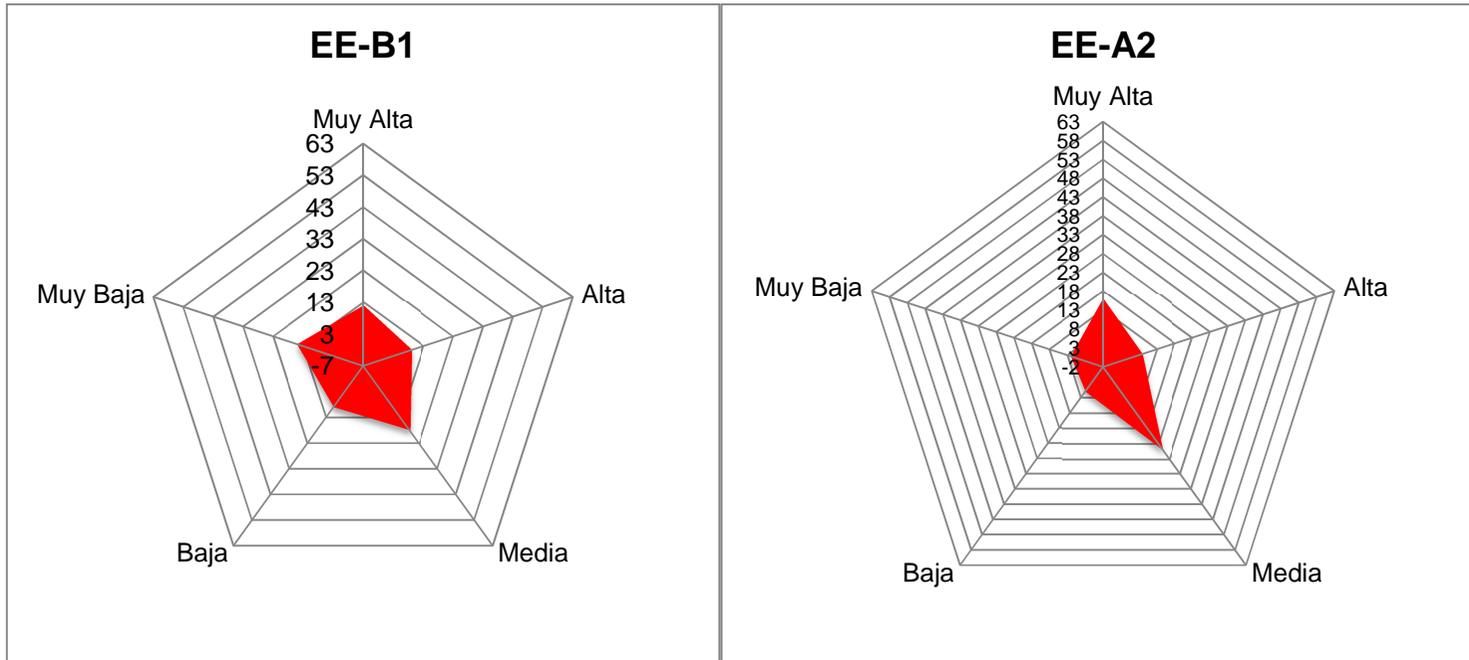
ANEXO 2: Vulnerabilidad de las áreas protegidas del Caribe centroamericano bajo dos escenarios de emisiones para el período 2070-2100

País	Área Protegida	Escenario de emisiones	
		Bajas (B1)	Altas (A2)
Belice	Bacalar Chico	media	media
Belice	Burdon Creek	media	media
Belice	Caye Caulker	baja	baja
Belice	Corozal Bay	media	media
Belice	Emily or Caye Glory	baja	baja
Belice	Gales Point	baja	media
Belice	Gladden Spit and Silk Cayes	baja	baja
Belice	Gloves Reef	baja	baja
Belice	Half-Moon Caye	baja	baja
Belice	Hol Chan	baja	baja
Belice	Laughing Bird Caye	baja	baja
Belice	Monkey Caye	media	alta
Belice	Nicholas Caye	baja	baja
Belice	Northern Glovers Reef	baja	baja
Belice	Payne's Creek	alta	alta
Belice	Port Honduras	media	media
Belice	Rise and Fall Bank	media	media
Belice	Rocky Point	media	media
Belice	Sandbore	baja	baja
Belice	Sapodilla Cayes	media	media
Belice	Sarstoon-Temash	alta	alta
Belice	Seal Caye	media	media
Belice	Shipstern	alta	alta
Belice	Silk Grass	baja	baja
Belice	South Point Lighthouse	baja	baja
Belice	South Water Caye	baja	baja
Belice	Swallow Caye	baja	baja
Belice	TIDE Crown Block Reserves	alta	alta
Costa Rica	Aviarios del Caribe (privado)	baja	baja
Costa Rica	Barra del Colorado (mixto)	media	media
Costa Rica	Cahuita	alta	alta
Costa Rica	Dr.Archie Carr (estatal)	alta	alta
Costa Rica	Gandoca-Manzanillo (mixto)	media	media
Costa Rica	Limoncito(mixto)	alta	alta
Costa Rica	Nacional Cariari	alta	alta
Costa Rica	Tortuguero	media	media
Guatemala	Punta de Manabique	baja	media
Guatemala	Río Dulce	alta	alta
Guatemala	Río Sarstún	alta	alta
Guatemala	Tapón Creek	media	media

Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del Caribe centroamericano

País	Área Protegida	Escenario de emisiones	
		Bajas (B1)	Altas (A2)
Honduras	Barbareta	baja	baja
Honduras	Barras de Cuero y Salado	alta	alta
Honduras	Blanca Jeannette Kawas-Amortiguamiento	alta	alta
Honduras	Blanca Jeannette Kawas-Núcleo	media	alta
Honduras	Cayos Cochinos	baja	baja
Honduras	Cayos de Utila	baja	baja
Honduras	Cayos Misquitos	media	media
Honduras	Cayos Zapotillos	media	media
Honduras	Guanaja 1	media	media
Honduras	Laguna de Guaymoreto	alta	alta
Honduras	Laguna de Karataska	alta	alta
Honduras	Nombre de Dios	media	media
Honduras	Omoa (Barras del Río Motagua)	media	alta
Honduras	Port Royal	baja	media
Honduras	Punta Izopo-Zona de Amortiguamiento	alta	alta
Honduras	Punta Izopo-Zona Núcleo	alta	alta
Honduras	Río Kruta	alta	alta
Honduras	Río Plátano	alta	alta
Honduras	Sandy Bay-West End	baja	media
Honduras	Santa Elena	baja	media
Honduras	Turtle Harbour	media	media
Nicaragua	Cabo Viejo-Tala Sulamas	alta	alta
Nicaragua	Cayos Miskitos	alta	alta
Nicaragua	Cerro Silva	baja	baja
Nicaragua	Laguna Bismuna-Raya	baja	media
Nicaragua	Laguna Kukalaya	alta	alta
Nicaragua	Laguna Layasiksa	alta	alta
Nicaragua	Laguna Pahara	media	media
Nicaragua	Laguna Yulu Karat	media	media
Nicaragua	Río Indio Maíz	baja	media
Panamá	Damani-Guariviara	media	media
Panamá	Donoso	media	media
Panamá	Isla Escudo de Veraguas-Degó	media	media
Panamá	Isla Galeta	media	baja
Panamá	Marino Isla Bastimento	baja	baja
Panamá	Nargana	baja	media
Panamá	Portobelo	baja	media
Panamá	San Lorenzo	baja	media
Panamá	San San Pond Sak	baja	baja
Panamá	Santa Isabel	baja	baja

ANEXO 3: Número de municipios y distritos y nivel de vulnerabilidad al cambio climático para los escenarios de emisiones



ANEXO 4: Distritos y municipios costeros del Caribe de Centroamérica

País	Departamento/Provincia/ Corregimiento	Distrito/Municipio	Área (km ²)
Belice	Belize	Belize	3,249
Belice	Corozal	Corozal	1,908
Belice	Stann Creek	Stann Creek	2,389
Belice	Toledo	Toledo	4,309
Guatemala	Izabal	Puerto Barrios	1,196
Guatemala	Izabal	Livingston	2,354
Honduras	Atlántida	La Ceiba	665
Honduras	Atlántida	El Porvenir	294
Honduras	Atlántida	Esparta	484
Honduras	Atlántida	Jutiapa	537
Honduras	Atlántida	La Másica	465
Honduras	Atlántida	San Francisco	286
Honduras	Atlántida	Tela	1,229
Honduras	Atlántida	Arizona	489
Honduras	Colón	Trujillo	928
Honduras	Colón	Balfate	401
Honduras	Colón	Iriona	3,916
Honduras	Colón	Limón	627
Honduras	Colón	Santa Fe	189
Honduras	Colón	Santa Rosa de Aguán	132
Honduras	Cortés	Omoa	398
Honduras	Cortés	Puerto Cortés	356
Honduras	Gracias a Dios	Puerto Lempira	7,368
Honduras	Gracias a Dios	Brus Laguna	4,468
Honduras	Gracias a Dios	Ahuas	1,348
Honduras	Gracias a Dios	Juan Francisco Bulnes	680
Honduras	Gracias a Dios	Ramón Villeda Morales	606
Honduras	Islas de la Bahía	Roatán	82
Honduras	Islas de la Bahía	Guanaja	57
Honduras	Islas de la Bahía	José Santos Guardiola	51
Honduras	Islas de la Bahía	Utila	41
Nicaragua	Río San Juan	San Juan de Nicaragua	1,659
Nicaragua	RAAN	Waspám	8,951
Nicaragua	RAAN	Puerto Cabezas	6,204
Nicaragua	RAAN	Prinzapolka	6,956
Nicaragua	RAAS	Río Grande	1,793
Nicaragua	RAAS	Laguna de Perlas	2,585
Nicaragua	RAAS	Kukrahill	1,215
Nicaragua	RAAS	Bluefields	4,804
Costa Rica	Limón	Limón	59
Costa Rica	Limón	Valle La Estrella	1,240
Costa Rica	Limón	Río Blanco	131
Costa Rica	Limón	Matama	340

**Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del Caribe
centroamericano**

País	Departamento/Provincia/ Corregimiento	Distrito/Municipio	Área (km ²)
Costa Rica	Limón	Colorado – Pococí	1,134
Costa Rica	Limón	Siquirres	373
Costa Rica	Limón	Pacuarito	219
Costa Rica	Limón	Sixaola	167
Costa Rica	Limón	Cahuita	240
Costa Rica	Limón	Matina	355
Costa Rica	Limón	Batán	213
Costa Rica	Limón	Carrandí	203
Panamá	Bocas del Toro	Bocas del Toro	427
Panamá	Bocas del Toro	Changuinola	4,018
Panamá	Bocas del Toro	Chiriquí Grande	214
Panamá	Colón	Colón	1,201
Panamá	Colón	Chagres	452
Panamá	Colón	Donoso	1,849
Panamá	Colón	Portobelo	402
Panamá	Colón	Santa Isabel	751
Panamá	Veraguas	Santa Fe	1,943
Panamá	Kuna Yala	Comarca Kuna Yala	2,466
Panamá	Ngöbe Buglé	Kankintú	2,436
Panamá	Ngöbe Buglé	Kusapin	1,760

ANEXO 5: Áreas protegidas del Caribe de Centroamérica incluidas total o parcialmente en el análisis

País	Nombre del área protegida	Categoría	Área (ha)
Belice	Bacalar Chico	Spawning aggregation site	6
Belice	Bacalar Chico	Marine Reserve	6.391
Belice	Burdon Creek	Nature Reserve	2.031
Belice	Caye Caulker	Marine Reserve	3.913
Belice	Corozal Bay	Marine Reserve	nd
Belice	Corozal Bay	Wildlife Sanctuary	70.609
Belice	Emily or Caye Glory	Spawning aggregation site	518
Belice	Gales Point	Wildlife Sanctuary	3.375
Belice	Gladden Spit and Silk Cayes	Spawning aggregation site	1.617
Belice	Gladden Spit and Silk Cayes	Marine Reserve	10,514
Belice	Gloves Reef	Spawning aggregation site	0
Belice	Gloves Reef	Marine Reserve	86.653
Belice	Half-Moon Caye	Natural Monument	3.872
Belice	Hol Chan	Marine Reserve	1.444,00
Belice	Laughing Bird Caye	National Park	4.018
Belice	Monkey Caye	Marine Reserve	nd
Belice	Nicholas Caye	Spawning aggregation site	673
Belice	Nicholas Caye	Marine Reserve	673
Belice	Northern Glovers Reef	Spawning aggregation site	621
Belice	Northern Glovers Reef	Marine Reserve	621
Belice	Payne's Creek	Marine Reserve	nd
Belice	Port Honduras	Bird Sanctuary	1
Belice	Port Honduras	Marine Reserve	40.700
Belice	Port Honduras	National Park	88
Belice	Rise and Fall Bank	Spawning aggregation site	1.721
Belice	Rise and Fall Bank	Marine Reserve	1.721
Belice	Rocky Point	Spawning aggregation site	570
Belice	Rocky Point	Marine Reserve	570
Belice	Rocky Point	National Park	1
Belice	Sandbore	Marine Reserve	494
Belice	Sapodilla Cayes	Spawning aggregation site	40
Belice	Sapodilla Cayes	Marine Reserve	521
Belice	Sarstoon-Temash	Area de Uso Múltiple	6
Belice	Sarstoon-Temash	National Park	16.352
Belice	Seal Caye	Spawning aggregation site	648
Belice	Seal Caye	Marine Reserve	648
Belice	Shipstern	Private Reserve	8.039
Belice	Shipstern	Wildlife Sanctuary	1
Belice	Silk Grass	Marine Reserve	0
Belice	South Point Lighthouse	Spawning aggregation site	533
Belice	South Water Caye	Bird Sanctuary	1

Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del Caribe centroamericano

País	Nombre del área protegida	Categoría	Área (ha)
Belice	South Water Caye	Marine Reserve	47.467
Belice	Swallow Caye	Wildlife Sanctuary	3.545
Belice	TIDE Crown Block Reserves	Marine Reserve	17
Belice	TIDE Crown Block Reserves	Private Reserve	3.722
Belice	South Point Turneffe	Spawning aggregation site	558
Costa Rica	Aviarios del Caribe (privado)	Refugio de Vida Silvestre	55
Costa Rica	Barra del Colorado (mixto)	Refugio de Vida Silvestre	78.977
Costa Rica	Cahuita	Parque Nacional	24.067
Costa Rica	Gandoca-Manzanillo (mixto)	Refugio de Vida Silvestre	9.449
Costa Rica	Limoncito(mixto)	Refugio de Vida Silvestre	1.096
Costa Rica	Nacional Cariari	Humedal	648
Costa Rica	Tortuguero	Parque Nacional	50.160
Costa Rica	Tortuguero	Zona Protectora	4.875
Guatemala	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	151.878
Guatemala	Río Dulce	Parque Nacional	13.000
Guatemala	Río Sarstún	Area de Uso Múltiple	35.202
Guatemala	Tapón Creek	Reserva Natural Privada	630
Honduras	Barras de Cuero y Salado	Refugio de Vida Silvestre	13.027
Honduras	Cayos Cochinos	Reserva Biológica	122.037
Honduras	Cayos Zapotillos	Reserva Biológica	1.064
Honduras	Jeannette Kawas -núcleo	Parque Nacional	79.382
Honduras	Laguna de Karataska	Reserva Biológica	133.750
Honduras	Nombre de Dios	Parque Nacional	30.312
Honduras	Omoa (Barras del Río Motagua)	Reserva Biológica	8.844
Honduras	Punta Izopo	Parque Nacional	18.584
Honduras	Río Plátano	Reserva del Hombre y la Biosfera	833.186
Honduras	Cayos Misquitos	Parque Nacional Marino	27.966
Honduras	Guanaja	Reserva Marina	2.702
Honduras	Laguna de Guaymoreto	Refugio de Vida Silvestre	8.019
Honduras	Port Royal	Parque Nacional	500
Honduras	Turtle Harbour	Refugio de Vida Silvestre	934
Nicaragua	Cayos Miskitos	Reserva Biológica	50.000
Nicaragua	Cerro Silva	Reserva Natural	339.400
Nicaragua	Río Indio Maíz	Reserva Biológica	318.000
Panamá	Damani-Guariviara	Humedal de Importancia Internacional	24.089
Panamá	Isla Galeta	Paisaje Protegido	605
Panamá	Marino Isla Bastimento	Parque Nacional	13.226
Panamá	Nargana	Area Silvestre	100.000
Panamá	Portobelo	Parque Nacional	35,929
Panamá	San Lorenzo	Bosques Protector y Paisaje	12.000
Panamá	San San Pond Sak	Humedal de Importancia Internacional	20.025
Panamá	Donoso	Área Uso Múltiple	195.917
Panamá	Isla Escudo de Veraguas-Degó	Paisaje Protegido	42.129

ANEXO 6: Indicadores de capacidad adaptativa de las unidades administrativas

criterio	Indicador	Supuesto	Cálculo	Fuentes de información
Grupos demográficamente vulnerables	Proporción de hogares con el máximo número de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)	Menor CA si la pobreza aumenta	Este método de estimación de la pobreza considera cuatro necesidades materiales básicas (albergue digno, vida saludable, conocimiento e ingresos de los hogares) así como las condiciones para considerar si cada necesidad está satisfecha o no.	2000 Housing and Population Census, Belice; XI Censo de Población y VI de Habitación 2002, Guatemala; VI Censo de Población y V de Vivienda 2007, El Salvador; XVI Censo de Población y V de Vivienda 2001, Honduras; VIII Censo de Población y IV de Vivienda 2005, Nicaragua; X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011, Costa Rica; Censo de Población y Vivienda 2010, Panamá
	Relación de dependencia demográfica	Menor CA si la proporción de personas en edades económicamente productivas es baja	Relación del número de personas en edades dependientes (personas menores de 15 y mayores de 64 años de edad) entre el número de personas en edades “económicamente productivas” (entre 15 y 64 años de edad) en una población.	
Dependencia de los recursos vulnerables a los impactos del cambio climático	Proporción de personas cuya actividad económica principal es la pesca	Menor CA si la dependencia de la pesca es alta	Proporción de la población económicamente activa (PEA) dedicada a actividades de servicios relacionadas con la pesca, incluyendo la explotación de criaderos de peces y granjas piscícolas.	Censos de población y vivienda citados anteriormente
	Proporción de personas cuya actividad económica principal es la agricultura	Menor CA si la dependencia de la agricultura es alta	Proporción de la PEA dedicada a las actividades relacionadas con la agricultura, incluyendo la ganadería, caza y silvicultura	
Acceso y uso de conocimientos relacionados	Proporción de población analfabeta (%)	Menor CA si la proporción de población que puede acceder a	Relación del número de personas con 15 años de edad o más que no saben leer ni escribir un texto breve, entre el número total de personas con 15 años de edad o	Censos de población y vivienda citados anteriormente

criterio	Indicador	Supuesto	Cálculo	Fuentes de información
con el clima		información es alta	más habitantes de la unidad administrativa.	
Acceso equitativo a los recursos y servicios	Número de centros de salud de atención primaria por cada 1000 personas	Menor CA si el número de centros de salud es bajo	Relación del número de centros en cada unidad administrativa entre el número total de habitantes llevado a millares	Belize basic indicators 2010, Ministerio de Salud Belice; Red de servicios de salud en los municipios Guatemala, FUDECE 2000; Recursos humanos en salud, Secretaría de Salud Honduras; Estadísticas de salud 2010, Ministerio de Salud Nicaragua; Inventario de áreas de salud, sectores, EBAIS, sedes y puestos de visita periódica, Caja Costarricense del Seguro Social 2011; Instalaciones de salud 2010-2011, Ministerio de Salud Panamá
	Proporción de hogares sin abastecimiento de agua por tubería (%)	Menor capacidad adaptativa si la proporción de hogares agua sin agua potable es alta	Relación del número de hogares sin provisión de agua potable por tubería entre la cantidad total de hogares registrados por unidad administrativa.	Censos de población y vivienda citados anteriormente
	Proporción de hogares sin instalación sanitaria (%)	Menor CA si la proporción de hogares sin instalación sanitaria es alta	Relación del número de hogares que no están conectados a alcantarilla pública, tanque séptico, pozo negro, letrina u otro sistema de manejo de aguas negras	Censos de población y vivienda citados anteriormente
Estrés ambiental	Proporción de territorio con áreas protegidas (%)	Menor CA si la proporción protegida del territorio es baja	Combinación de capas de límites de unidades administrativas con la capa de áreas protegidas oficiales en cada país	Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas
	Proporción de territorio bajo cobertura forestal (%)	Menor CA si la proporción de cobertura forestal remanente es baja	Combinación de capas de límites de unidades administrativas con capas de uso actual del suelo de cada país mediante análisis SIG.	Belice y Guatemala: World Resources Institute; Honduras: Sist. Nacional de Información Territorial; Nicaragua: Instituto Nicaragüense de

Criterio	Indicador	Supuesto	Cálculo	Fuentes de información
				Estudios Territoriales; CR: Proyecto KfW-FONAFIFO; Panamá: CATHALAC

Los datos de todas las variables fueron escalados en el rango de 1 a 5 para transformaciones lineares y asignados a cinco categorías, de acuerdo a la distribución de sus valores escalados en los percentiles 20, 40, 60, 80 y 100, siguiendo la propuesta de Malczewski (2000). La capacidad adaptativa de cada unidad administrativa se calculó considerando el valor promedio de las categorías de las variables definió la categoría de cada indicador y el valor promedio de los indicadores definió el valor de la capacidad adaptativa. Este valor fue nuevamente categorizado para evitar la concentración de valores de capacidad adaptativa en las categorías medias (2, 3 y 4).

