



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

PROGRAMA REGIONAL DE USAID PARA EL MANEJO DE
RECURSOS ACUÁTICOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS



ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL CARIBE DE BELICE, GUATEMALA Y HONDURAS



Foto: Cali-
na Zepeda

Fotos por-
tada: F.
Secaira and
C. Zepeda

Contrato Principal No.EPP – 1-05 -04 – 00020 – 00 TNC

Entregable 5.3.

Esta publicación ha sido preparada para revisión de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y The Nature Conservancy (TNC)

Preparado por:

Programa de Cambio climático y Cuencas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

- Lenin Corrales,
- Pablo Imbach
- Claudia Bouroncle
- Juan Carlos Zamora
- Daniel Ballesteros

Programa del Arrecife Mesoamericano, The Nature Conservancy

- Fernando Secaira
- Hernando Cabral
- Ignacio March
- James Rieger



PRESENTACION:

EL PROGRAMA REGIONAL DE USAID PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS Y LA ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

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 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 del Programa Regional.

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. Durante 2011 el Programa Regional desarrolló las bases para implementar medidas de adaptación en el Golfo de Honduras siguiendo estos pasos:

1. Inició coordinando el desarrollo de un Análisis de Vulnerabilidad ante Cambio Climático y un Plan de Adaptación ante Cambio Climático con las agencias de gobierno de Belice, Guatemala y Honduras responsables del manejo de la pesca, de las áreas protegidas y de establecer y dirigir las agendas gubernamentales ante el cambio climático. La coordinación buscó incorporar en el proceso a las entidades de gobierno y lograr la posterior implementación de las medidas de adaptación recomendadas por este proceso. Se coordinó con el Departamento de Pesca, la Autoridad de Manejo de la Zona Costera y la oficina de Cambio climático de Ministerio de Ambiente de Belice; con UNIPESCA, CONAP y la oficinas de cambio climático y manejo costero del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala; y con DIGEPESCA, dirección de Áreas Protegidas del Instituto de Conservación Forestal y la oficina de Cambio Climático de la Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales de Honduras. Personal de estas instituciones estuvieron presentes en las consultas nacionales indicadas aquí.
2. Desarrolló el Análisis de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras (USAID, 2012b), el cual determinó los impactos



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

**PROGRAMA REGIONAL DE USAID PARA EL MANEJO DE
RECURSOS ACUÁTICOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS**

potenciales a la zona y se estimó la capacidad adaptativa de las comunidades costeras, para identificar las áreas más relevantes y los municipios más vulnerables.

3. Condujo consultas nacionales con actores clave, para presentar los resultados del análisis de vulnerabilidad e identificar conjuntamente las estrategias de adaptación necesarias. Estos talleres tuvieron lugar del 22 al 28 de agosto de 2011 en las ciudades de Belice, La Ceiba y Guatemala (USAID, 2012c).
4. Desarrolló una Propuesta de Estrategias para Adaptación al Cambio Climático para el Caribe de Belice, Guatemala y Honduras, el cual plantea recomendaciones estratégicas y acciones más concretas para cada país.

En la siguiente fase se contempla:

1. Conversión de la Propuesta de Estrategias para Adaptación al Cambio Climático en dos planes nacionales de adaptación costero marino, uno en Honduras y otro en Guatemala, e incorporación de las recomendaciones en el Plan Nacional que desarrollará Belice.
2. Desarrollo de medidas de adaptación al cambio climático en el manejo de áreas protegidas del Golfo de Honduras e Islas de la Bahía.
3. Apoyar medidas de adaptación seleccionadas durante el período de implementación del Programa Regional, del 2012 a 2015.



Contenido

PRESENTACION:	3
EL PROGRAMA REGIONAL DE USAID PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS Y LA ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO	3
ACRONIMOS	7
1 Introducción	8
1.1 Manifestaciones del cambio climático y su efecto en el ámbito costero marino	8
1.2 Definiendo vulnerabilidad ante el cambio climático de los sistemas naturales y de las comunidades humanas.....	11
2 Objetivos	14
2.1 Objetivo General.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 Metodología	14
3.1 Definición del área de estudio	14
3.2 Definición del período de análisis.....	15
3.3 Asuntos focales u objetos del análisis.....	16
3.4 Hipótesis de impacto del cambio climático sobre los objetos de los sistemas naturales	16
3.5 Hipótesis de impacto del cambio climático sobre los objetos de los sistemas sociales	20
3.6 Metodología para medir el impacto potencial y la vulnerabilidad	21
3.6.1 Aumento de la temperatura superficial del mar.....	22
3.6.2 Aumento en la intensidad de los huracanes.....	25
3.6.3 Aumento del nivel del mar y riesgos en la costa	26
3.6.4 Cambios en los patrones de precipitación y en la temperatura del aire	29
3.7 Estimación de la capacidad adaptativa de las comunidades humanas.....	33
3.1 Estimación de la vulnerabilidad.....	36
4 Impacto Potencial del Cambio Climático.....	39
4.1 Aumento de la temperatura superficial del mar.....	39
4.1.1 Exposición	39



4.1.2	Sensibilidad	41
4.2	Frecuencia e intensidad de los huracanes en el Caribe	42
4.3	Aumento del nivel del mar.....	44
4.3.1	Exposición	47
4.3.2	Sensibilidad	47
4.4	Cambios en los patrones de precipitación y en la temperatura del aire	49
4.4.1	Exposición	49
4.4.2	Sensibilidad	51
5	Vulnerabilidad ante el Cambio Climático.....	54
5.1	Resultados del análisis de capacidad adaptativa.....	54
5.2	Vulnerabilidad ante el impacto potencial del aumento del nivel del mar.....	54
5.3	Vulnerabilidad ante el impacto potencial del aumento de temperatura y disminución de la precipitación	55
5.4	Vulnerabilidad integrada ante los efectos del cambio climático	57
6	Conclusiones	58
7	Referencias	59
	ANEXOS	63
	Anexo A: Resultados de Vulnerabilidad por Municipio	63
7.1	Belice	63
7.2	Guatemala	63
7.3	Honduras	64
	Anexo B: Resultados de Vulnerabilidad y Sensibilidad por Área Protegida	65



ACRONIMOS

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CC	Cambio Climático
CMIP3	Coupled Model Intercomparison Project phase 3
CONAP	Consejo Nacional de Areas Protegidas (Guatemala)
CRISP	Coral Reef Initiative for the South Pacific
CRW	Coral Reef Watch (NOAA)
DHW	Semana con 1 grado de calor
DIGEPESCA	Dirección General de Pesca (Honduras)
GEI	Gases de efecto invernadero
ICF	Instituto de Conservación Forestal de Honduras (Honduras)
IPCC	Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Guatemala)
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NOAA	Administración Nacional de Océanos y Atmósfera
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales
SSH	Altura sobre la superficie del mar
SST	Temperature superficial del mar
TNC	The Nature Conservancy
UNIPESCA	Unidad de Pesca (Guatemala)
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
WCRP	Programa Mundial de Investigación sobre el Clima

1 Introducción

Las comunidades del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras dependen en gran medida de la pesca y el turismo como medios de vida. A su vez estas actividades están basadas en el uso de bienes y servicios provenientes de diversos tipos de hábitat costeros y marinos tales como arrecifes, pastos marinos, lagunas y manglares entre otros. Adicionalmente, las comunidades han construido viviendas, infraestructura urbana, de transporte y recreativa a lo largo de la costa y en las planicies costeras, lo cual las hace vulnerable a fenómenos naturales como los tormentas, huracanes e inundaciones, y cuyos efectos son disminuidos por los arrecifes, manglares y lagunas costeras en el área, brindando un servicio clave para la reducción de la vulnerabilidad.

Los hábitats costeros y marinos están seriamente perturbados por actividades humanas –sobrepesca, contaminación, sedimentación y actividades turísticas—y la variabilidad climática y el cambio climático emporarán sustancialmente estas condiciones. Dado el grado de dependencia de las comunidades costeras y de las economías nacionales de estos ecosistemas, es necesario implementar acciones de adaptación para:

1. Mejorar la resiliencia de los ecosistemas costeros ante el cambio climático y eventos climáticos extremos para que pueden continuar prestando los bienes y servicios que sustentan las comunidades y la biodiversidad a largo plazo.
2. Fortalecer la capacidad adaptativa de las comunidades humanas en la costa ante los cambios y los eventos extremos que inevitablemente ocurrirán
3. Finalmente, mejorar la capacidad adaptativa y reducir la sensibilidad de la infraestructura costera -puertos, desembarque de combustibles, carreteras y aeropuertos- de la cual depende las economías de los países.

1.1 Manifestaciones del cambio climático y su efecto en el ámbito costero marino

El océano 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) (Herr y Galland 2009). El aumento en la concentración de gases de efectos invernadero sin precedentes en la historia humana (IPCC 2007), está provocando cambios negativos en los océanos que comprometen en el futuro servicios que estos prestan a los ecosistemas y las poblaciones humanas (Herr y Galland 2009). La **Figura 1** muestra los cambios físicos y químicos que desencadena el aumento de gases de efecto invernadero de la atmósfera en las costas y océanos.

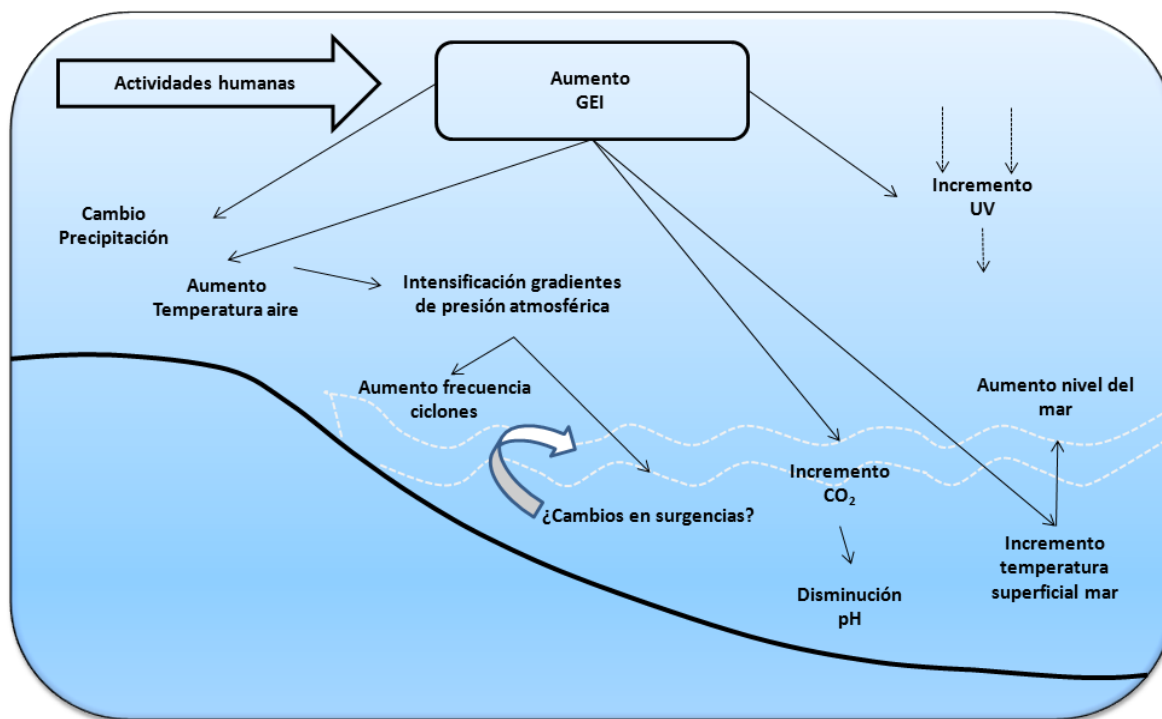


Figura 1. Cambios abióticos importantes asociados con el cambio climático (modificado de Harley 2006)

Estos cambios y sus efectos están ligados unos con otros, exacerbándose entre sí y produciendo impactos en cadena. Por ejemplo, el calentamiento del aire aumenta la temperatura del mar, que también es calentada directamente por los rayos solares. Este calentamiento induce cambios en los regímenes de precipitaciones, aumenta la fuerza de los huracanes, aumenta el volumen del agua y sube el nivel del mar. Estos efectos finalmente aumentan la fuerza de las corrientes, mareas, oleajes, lluvias y vientos que impactan sobre la costa provocando erosión costera, inundaciones, intrusión de agua salada, destrucción de vegetación e infraestructura humana, y cambios importantes en los ecosistemas. (USAID et al. 2009).

El **Cuadro 1** muestra los efectos del cambio climático y sus posibles impactos en hábitats y sistemas marinos.

Cuadro 1. Posibles efectos del cambio climático en el ámbito costero marino (elaboración propia con base a CRRH 1996; Harley 2006; IPCC 2007; Kokot 2004; Nicholls et al, 2007; Orr et al. 2009; UICN 2003; USAID et al. 2009)

Efectos del cambio climático	Impactos probables
Aumento del CO ₂ en la atmósfera	Acidificación del océano.
Acidificación del océano	Disminución del crecimiento de corales e invertebrados que requieren carbonato de calcio para su desarrollo.
Aumento de la temperatura del aire	Calentamiento del océano: temperatura del agua superficial y columna del agua. Cambios en las corrientes de viento. Cambios en los regímenes de precipitación. Anomalías climáticas locales.
Calentamiento del océano:	Expansión térmica del mar lo cual aumenta el nivel del mar.

Efectos del cambio climático	Impactos probables
	Incremento de la estratificación termal. Cambios en corrientes marinas. Reducción y cambios en los afloramientos y surgencias. Estrés térmico sobre los ecosistemas y especies.
Aumento del nivel del mar	Inundación permanente de zonas costeras y pérdida de ecosistemas costeros e infraestructura. Cambios en el grado de salinización de estuarios y tiempo de residencia de las mareas. Cambio en los patrones y niveles de inundación. Erosión costera y pérdida de playas. Intrusión salina en los acuíferos costeros.
Cambios en la precipitación	Incremento de lluvias torrenciales que provocan inundaciones y cambios en la salinidad de estuarios. Incremento de períodos de sequía que cambia la salinidad de estuarios.
Cambios en las corrientes marinas	Cambios en los patrones de dispersión de larvas. Aumento en la erosión de playas. Cambios en los patrones de precipitación y vientos. Cambios en los afloramientos.
Aumento en la intensidad de las tormentas	Inundación y vientos destructivos sobre ecosistemas e infraestructura. Inundación y erosión de costas. Inundaciones en zonas costeras, planicies y riveras de ríos e impacto en áreas vulnerables en las montañas.

La acidificación del océano es un fenómeno que ha venido ocurriendo y se tienen registros del Pacífico Norte desde el año 1990 (Unesco 2009), en correlación con el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera (Figura 2).

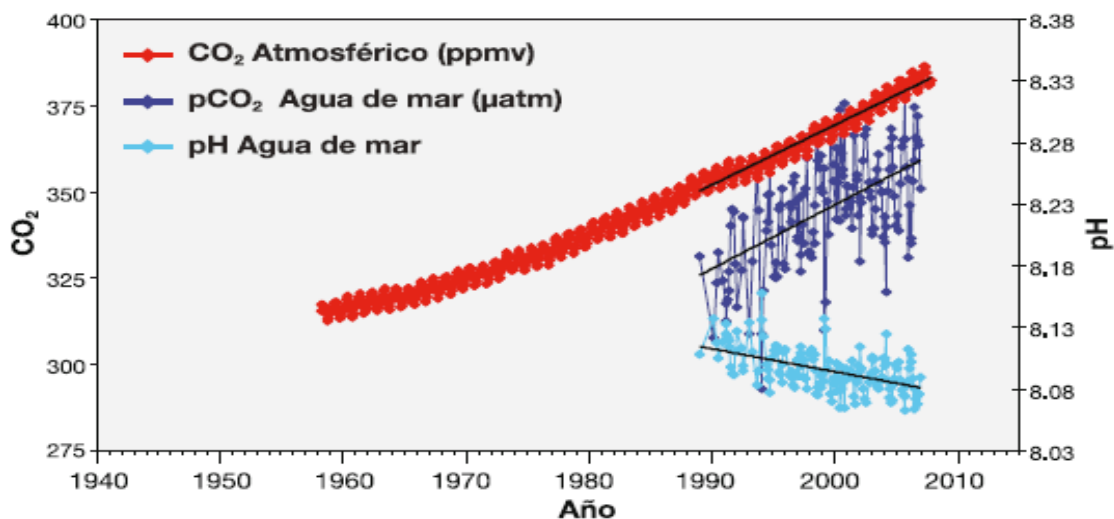


Figura 2. Acidificación en el océano y su relación con la concentración de CO₂ en la atmósfera en el Pacífico (Unesco 2009)

1.2 Definiendo vulnerabilidad ante el cambio climático de los sistemas naturales y de las comunidades humanas

Los efectos del cambio del clima actual y futuro son cada vez más complejos presionando a los ecosistemas y con ello afectando los modos de vida de la gente que depende de los recursos naturales en condiciones cada vez más cambiantes. Es por ello que los pueblos costeros necesitan anticiparse y prepararse para el cambio, y las instituciones tendrán que favorecer ambientes que faciliten esa anticipación y preparación para el futuro (Marshall *et al.* 2009). La preparación debe realizarse ahora y por lo tanto la medición de vulnerabilidad se hizo principalmente para el periodo actual, con algunas proyecciones futuras.

El cambio climático es un proceso global, donde las comunidades locales pueden ejercer poca influencia. Sin embargo, pueden hacerle frente y adoptar medidas significativas que reduzcan su vulnerabilidad, disminuir los impactos y ganar tiempo para una mayor adaptación (Marshall *et al.* 2009).

Marshall *et al.* (2009) señalan que las evaluaciones de vulnerabilidad deben considerar tanto la escala individual como la comunitaria, ya que suelen ser importantes las interacciones entre las escalas. Es decir, las comunidades se componen de individuos, sin embargo, las respuestas individuales son a menudo conformadas por normas de la comunidad, de manera que no es posible entender la vulnerabilidad a solo a la escala del individuo.

Existen interacciones estrechas entre el sistema social y ecológico debido a la dependencia de las personas de los recursos naturales; por ejemplo las actividades de subsistencia como la pesca y las actividades recreativas de las cuales dependen los ingresos van a estar sujetas a la vulnerabilidad que tengan los ecosistemas a los cambios en el clima (Marshall *et al.* 2009). Esto implica que los sistemas sociales y los sectores que dependen del medio ambiente marino tendrán que adaptarse a los cambios en la distribución y la productividad de las especies de pesca; pérdidas potenciales en el valor del turismo (recreación y estética) de importantes hábitats marinos como los arrecifes de coral y las playas; una pérdida de las funciones de protección brindadas por los arrecifes de barrera y los bosques de manglares. Un cambio de los efectos del clima tendrá grandes efectos sobre las formas sociales y culturales de la vida en muchas sociedades (CRISP 2011).

También será necesario que las personas hagan frente a otros impactos directos como; los cambios en la disponibilidad de agua potable; la erosión costera; la intrusión de agua salada; la inundación de las tierras residenciales y agrícolas y las fuentes de agua subterránea (CRISP 2011).

El concepto de vulnerabilidad que se utilizó es el definido por el Grupo de Expertos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio climático (IPCC 2001) de Naciones Unidas¹: "el

¹ PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y WMO (World Meteorological Organization) formaron en el 1988 el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, conocido como IPCC por sus siglas en inglés y el Convenio Marco para Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés - United Nations Framework Convention on Climate Change)

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 está conformada por tres componentes: exposición, *sensibilidad* y capacidad de adaptación.

1. La exposición se refiere a la presencia de un efecto del cambio climático que pueda tener repercusiones negativas. Se mide por el grado de anomalía del efecto, por ejemplo el aumento de temperatura media, o máximos, sobre la media de los últimos años.
2. La sensibilidad se refiere a la presencia de un objeto que es susceptible o sensible al riesgo climático. La existencia de agricultura de temporal es sensible a las anomalías en la precipitación.
3. La capacidad de adaptación se refiere a la capacidad de un sistema para cambiar a un estado más favorable para hacerle frente a los impactos adversos. Las comunidades humanas y los individuos, las economías de los países y las empresas, tienen más o menos capacidad adaptativa ante cualquier evento que perjudique las funciones normales.

En un contexto social, los términos de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, se definen de la siguiente manera:

1. **La exposición** se considera el grado en que una comunidad entra en contacto con los fenómenos climáticos o los impactos específicos del clima. Específicamente, esto incluye las áreas de residencia y uso de los recursos expuestos a fenómenos climáticos e impactos diferentes. Por ejemplo, las casas cerca de la pleamar pueden tener una alta exposición a la subida del nivel del mar. Las plantaciones costeras también pueden tener una alta exposición a la intrusión de agua salada y a las inundaciones. Los arrecifes de poca profundidad expuestos a pleno sol en zonas de poco viento pueden tener una alta exposición a los aumentos en la temperatura superficial del mar (CRISP 2011).
2. **La sensibilidad** es el grado en que la infraestructura y los medios de vida de la comunidad se verá afectada por los cambios en el clima. Por ejemplo, las comunidades son sensibles a cambios en la producción de las plantaciones costeras comerciales o de subsistencia serán afectadas por mayores temperaturas, sequías o inundaciones debido al cambio climático. Los pescadores son sensibles si sus zonas de pesca son arrecifes propensos al blanqueamiento debido al aumento de la temperatura superficial del mar (CRISP, 2011; Marshall *et al.*, 2009).
3. **La capacidad de adaptación** es el potencial o la capacidad de una comunidad para prepararse o a recuperarse de los impactos del cambio climático. Los recursos de conocimiento, organización, productivos, sociales, institucionales determinan esta capacidad de adaptación. Por ejemplo, un pueblo bien informado con buenas organizaciones, tradiciones culturales y una buena participación puede ser capaz de desarrollar buenos planes y tomar decisiones que ayuden a todos los miembros de la comunidad. Un hogar con ingresos diversificados y suficientes tiene una mayor capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático que los que dependen de una actividad y están en niveles de pobreza. La capacidad de adaptación es el componente de vulnerabilidad más susceptible a la influencia por los sistemas sociales, y por lo tanto es el principal área de acciones de adaptación (CRISP 2011; Marshall *et al.* 2009).

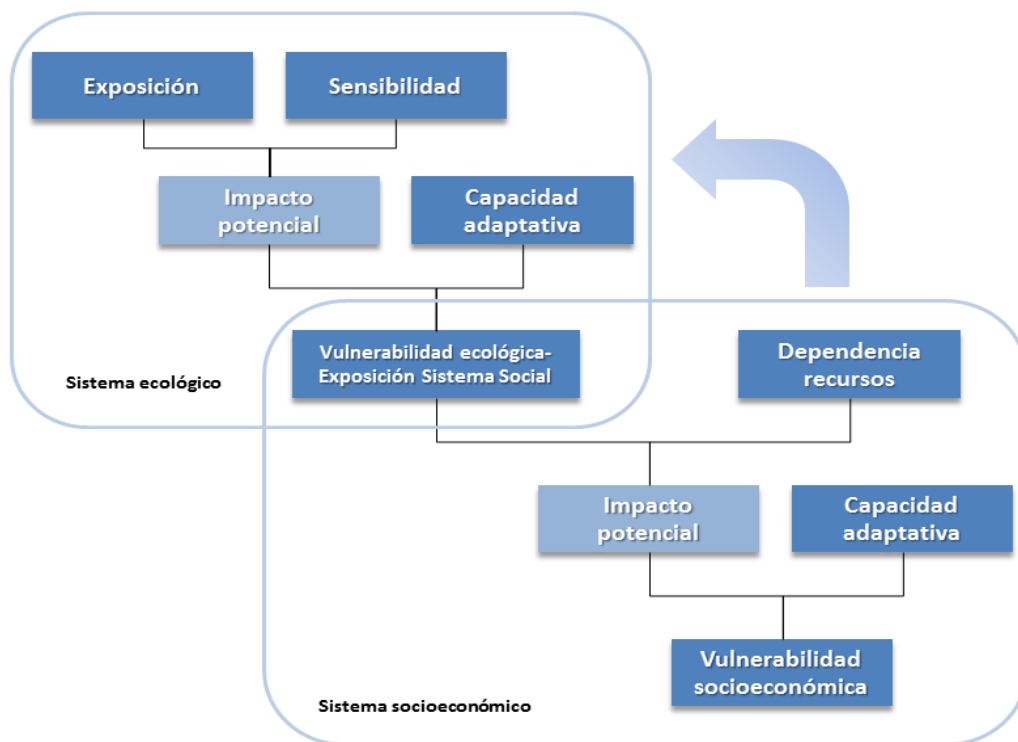


Figura 3. Co-dependencia de los sistemas ecológicos y sociales. No puede ser evaluados sin referencia unos de los otros (Hobday et al. en revisión; tomado de Marshall et al. 2009)

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Determinar el nivel de vulnerabilidad ante el cambio climático de los sistemas naturales y sistemas sociales de la zona costera del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras e identificar las áreas donde es prioritario iniciar acciones de adaptación.

2.2 Objetivos Específicos

1. Presentar las bases científicas que sustentan las tendencias del cambio climático, de forma que los tomadores de decisión puedan sustentar sus políticas y proyectos de adaptación.
2. Identificar los impactos previstos del cambio climático sobre los hábitats marino-costeros que brindan bienes y servicios que sustentan los medios de vida de las comunidades costeras y reducen el riesgo ante eventos climáticos extremos.
3. Identificar los impactos previstos del cambio climático sobre los medios de vida de las comunidades costeras las cuales dependen de los sistemas naturales.
4. Identificar las áreas donde es prioritario mantener o restaurar los ecosistemas costeros para que continúen o mejoren la prestación de bienes y servicios a dichas comunidades.
5. Proponer estrategias de adaptación puntuales para enfrentar los impactos del cambio climático.

3 Metodología

El marco general del análisis de vulnerabilidad está sustentado en el marco metodológico propuesto por Schröter et al. (2005) y modificado por el equipo consultor:

3.1 Definición del área de estudio

Para el análisis de exposición y sensibilidad al cambio climático se utilizaron como límites las cuencas hidrográficas que tienen influencia sobre el Sistema Arrecifal Mesoamericano y las zonas económicas exclusivas de Belice, Guatemala y Honduras (**Figura 4-A**). Se incluyeron las cuencas pues las tormentas, huracanes y lluvias y los cambios derivados del cambio climático determinan el volumen de agua y sedimentos que las cuencas aportan a las zonas costeras lo cual incide en la disponibilidad de agua dulce, salinidad de los esteros, inundaciones y sedimentación de la zona marina. Sin embargo se analizó únicamente el impacto del cambio climático en la vegetación terrestre.

Para el análisis de capacidad adaptativa de las comunidades humanas se consideraron los municipios costeros de Belice, Guatemala y Honduras (**Figura 4-B**) pues es la unidad administrativa de menor tamaño con información estadística de aspectos sociales y económicos para los tres países.

3.2 Definición del período de análisis

La exposición de los sistemas naturales y sociales a los impactos del cambio climático depende del nivel de cambio de las variables climáticas y físicas. Por lo tanto es necesario usar las proyecciones de cambio climático disponibles para determinar la exposición a la cual serán sometidos los objetos del análisis.

En este análisis se utilizaron dos horizontes temporales para la temperatura superficial de mar, una al 2030-2039 y la otra al 2040-2090-2099; para el cambio en los patrones de precipitación y temperatura del aire utiliza un horizonte temporal del 2070-2099, debido que existe un alto nivel de incertidumbre para el periodo 2030-2039. Para el aumento del nivel del mar se utiliza solamente la información histórica disponible al 2010, pues es igualmente incierto el grado de cambio y la temporalidad en el cual ocurrirá. El cambio climático ya ha ido ocurriendo en el último siglo, lo cual se corroboró por medio de la compilación de registros históricos de las siguientes variables climáticas y físicas:

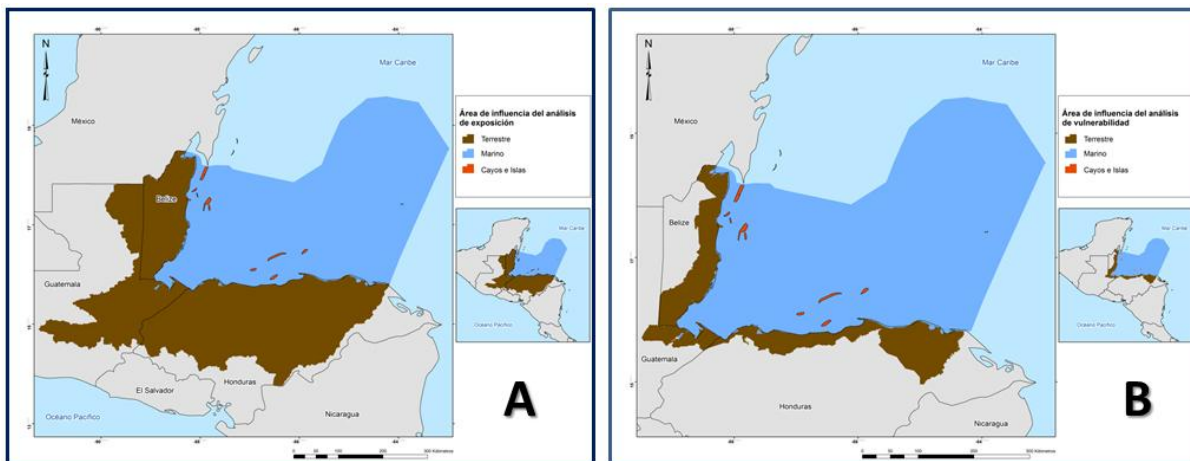


Figura 4. Área de estudio. El mapa A muestra el área de estudio para la evaluación de la exposición y sensibilidad al cambio climático. El mapa B muestra el área de estudio para el análisis de capacidad adaptativa al CC en la zona marino costera, y por lo tanto de vulnerabilidad

- Temperatura del aire: 1900-2010
- Estrés térmico: 2006-2010
- Huracanes y tormentas tropicales: 1898 – 2010
- Nivel del mar: 1951-2010

La vulnerabilidad futura depende de la evolución de los sistemas sociales como el desarrollo de capacidades humanas, crecimiento de la población, cambio y crecimiento en las actividades económicas, futuras construcciones e infraestructura. Estos aspectos no fueron proyectados al futuro, sino que se estimó únicamente la sensibilidad y capacidad adaptativa actual. Esta decisión se tomó debido a que el plan busca reducir la vulnerabilidad actual y es ahora que los gobiernos, sector privado e individuos podemos y debemos realizar acciones. La exposición futura nos ayuda para planear un desarrollo que sea menos sensible y sociedades con mayor capacidad adaptativa.

3.3 Asuntos focales u objetos del análisis

En el análisis se seleccionan elementos de los sistemas naturales (ecosistemas, hábitats, especies, sitios clave para especies) considerados importantes por su aportación de bienes y servicios y sobre los cuales el cambio climático tiene o tendrá impacto. De igual forma se seleccionan elementos clave de los sistemas sociales (comunidades humanas, actividades productivas, infraestructura) importantes en función del nivel de vida de las personas y de las economías y los cuales serán afectados por el cambio climático. La selección de medidas de adaptación –siguiente fase– estará enfocada en mantener la capacidad de estos elementos y mantener sus funciones mediante la adaptación a los cambios futuros.

Elementos del sistema natural

1. Arrecifes de coral y corales
2. Sitios de agregaciones reproductivas de peces.
3. Pastos marinos.
4. Sitios de importancia para la pesca.
5. Sitios de anidación de tortugas marinas.
6. Playas.
7. Manglares y otros humedales costeros.
8. Aves costeras y migratorias.

Objetos de los sistemas sociales

1. Poblaciones humanas: viviendas y edificios de servicios (escuelas, hospitales, centros comerciales, etc.)
2. Pesca artesanal e industrial
3. Turismo: hoteles, restaurantes, atractivos turísticos y accesos
4. Infraestructura costera: puertos, marinas, muelles, carreteras, instalaciones industriales y aeropuertos
5. Agricultura comercial y de subsistencia

3.4 Hipótesis de impacto del cambio climático sobre los objetos de los sistemas naturales

El **Cuadro 2** muestra un conjunto de hipótesis de cambio que surgen y tienen su origen en la consideración de cómo diversos factores asociados al cambio climático podrían impactar a objetos focales de conservación seleccionados en el área del presente análisis.

Cuadro 2. Hipótesis de cambio para los sistemas naturales (adaptado de Cambers et al. 2007)

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
Arrecifes de coral y corales.	Aumento de la temperatura superficial del mar.	<ul style="list-style-type: none"> • El aumento de la temperatura del mar provoca blanqueamiento (pérdida de algas denominadas zooxantelas, en simbiosis con los corales) y puede provocar mortandad. Los corales debilitados por otras presiones (contaminación, sobrepesca) son más susceptibles al blanqueamiento y a mortandad.
	Incremento	<ul style="list-style-type: none"> • El aumento de dióxido de carbono en el aire aumenta la concentra-

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
	dióxido de carbono en el agua del mar.	ción 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.	<ul style="list-style-type: none"> • 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.	<ul style="list-style-type: none"> • 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.	<ul style="list-style-type: none"> • El crecimiento de corales saludables puede mantenerse a pesar del ritmo de aumento del nivel del mar, a menos que ocurran cambios muy rápidos que reduzcan la luminosidad que reciben los corales, afectando su crecimiento. • 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.
Humedales costeros: manglares, lagunas, sabanas.	Aumento del nivel del mar.	<ul style="list-style-type: none"> • Probable pérdida de área de manglar debido a la erosión de los márgenes o pérdida de las barras y lagunas que dan protección. • Aumento en la superficie de manglares por reubicación y migración natural hacia el interior, donde la topografía, suelo y uso humano lo permita. • Al aumentar el nivel del mar, aumentará la salinidad de las lagunas costeras, lo cual cambiará la composición de especies, ya que el mangle rojo es más tolerante a la salinidad que otras especies. • Cambios en la salinidad generan una reducción de supervivencia de las plántulas, del crecimiento y en la capacidad fotosintética de especies menos tolerantes (botoncillo, negro y blanco)
	Aumento de la temperatura superficial del mar.	<ul style="list-style-type: none"> • En combinación con altos niveles atmosféricos de dióxido de carbono y aumento de la temperatura se espera que aumente la productividad de los manglares, aumente el crecimiento, la producción de hojarasca y la expansión de algunas especies. • A una temperatura del agua superior a los 35 ° C, pueden causar estrés térmico en <i>Rhizophora mangle</i>. • A más de 38 ° C, la diversidad de comunidades de invertebrados que viven en las raíces se puede reducir, y es probable que se impida el establecimiento de plántulas.

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
	Incremento de dióxido de carbono en el mar.	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la productividad en los manglares. • Se reduce la conductancia estomática.
	Aumento en la intensidad de las lluvias.	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de precipitaciones da lugar a una reducción en la salinidad, exposición a sulfatos y un aumento en el suministro de nutrientes.
	Aumento de los períodos de sequía.	<ul style="list-style-type: none"> • Se prevé que la disminución de precipitaciones y el aumento de la evaporación generará una reducción de las zonas de manglares, sobre todo con la pérdida de zonas tierra adentro, sin vegetación y con pisos hipersalinos, además, de sufrir una disminución de las tasas de crecimiento.
	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	<ul style="list-style-type: none"> • La cobertura de los manglares será severamente afectada por el aumento en intensidad de los huracanes. La tasa de mortalidad de los manglares por huracanes categoría 4 en el Caribe está entre 68 y 99% en las áreas afectadas.
Playas, dunas costeras, islas bajas y cayos.	Aumento del nivel del mar.	<ul style="list-style-type: none"> • El aumento del nivel del mar acelerará la erosión de playas y cayos, lo cual eventualmente alterará la topografía costera, eliminando dunas y barreras entre el mar y lagunas interiores o bahías. También eliminará los cayos y hará desaparecer las islas pequeñas.
	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	<ul style="list-style-type: none"> • Estos procesos de erosión de playas y desaparición de barreras, cayos e islas se verán exacerbados con tormentas tropicales más intensas.
Tortugas marinas y sitios de anidación.	Aumento del nivel del mar.	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida del hábitat de anidación de tortugas marinas y aves, debido al aumento de la erosión y la alteración de la topografía de las playas causado por el aumento del nivel del mar y las tormentas más frecuentes y más intensas. • El aumento de la altura de la marea también puede inundar los huevos por debajo. Si la arena está saturada por las olas de tempestades e inundaciones del subsuelo y no drenan adecuadamente, los embriones se ahogarán.
	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor erosión y destrucción de playas y de nidos.
	Aumento de la temperatura del agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Podría alterar las rutas migratorias de las tortugas debido a que hay estudios que indican que las rutas están fuertemente influenciados por la temperatura superficial del mar y las concentraciones de clo-

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
		rofila.
	Aumento de la temperatura del aire.	<ul style="list-style-type: none"> El sexo es determinado por la temperatura en el tercio medio de incubación. Las temperaturas más altas propician hembras y las bajas propician machos, dentro de un rango de tolerancia térmica de 25 a 35 ° C. Se ha planteado la hipótesis que las poblaciones podrían auto regularse al existir mayor cantidad de individuos de un sexo. La temperatura puede afectar la severidad de las infecciones y aumentar los brotes de la enfermedad en las tortugas marinas.
	Aumento de la temperatura del aire.	<ul style="list-style-type: none"> Aproximadamente el 60% de los estudios realizados en el tema de reproducción muestran a largo plazo que las fechas de puesta están cambiando, de acuerdo con los patrones del calentamiento global.
	Cambios en los patrones de vientos.	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en los patrones de migración de las aves por los cambios en el desplazamiento geográfico de los vientos y aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas.
Aves marinas y costeras.	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la frecuencia de las tormentas en el Caribe parece ser la causa de reducción del número de algunas aves migratorias. La mortandad causada por el viento, la lluvia y las inundaciones está documentada en aves acuáticas, como el pelicano marrón (<i>Pelecanus occidentalis</i>), y el Rascón Picudo (<i>Rallus longirostris</i>). Los huracanes provocarán la pérdida de hábitat de las aves migratorias, como playas, humedales costeros, islas, cayos y bosques.
	Aumento del nivel del mar.	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de hábitat, como playas, islas, cayos y humedales costeros.
	Aumento del nivel del mar.	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en la luminosidad, energía de las olas, tipo de sustrato y herbívoros influirá en las praderas marinas según las especies. Todavía no se determina las tendencias de estos cambios.
Pastos marinos	Aumento en la intensidad de las lluvias y períodos de sequía más prolongados.	<ul style="list-style-type: none"> 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.	<ul style="list-style-type: none"> 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 dióxido de carbono en el	<ul style="list-style-type: none"> El aumento de dióxido de carbono 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 detri-

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
	mar.	tus.
	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	<ul style="list-style-type: none"> El aumento de tormentas y olas de marea, y el consiguiente 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 submarinas crecen en ambientes de baja energía, y por lo tanto, el aumento en la turbulencia de podría ocasionar el desplazamiento o desaparición.
Peces costeros y pelágicos.	Aumento de la temperatura del agua.	<ul style="list-style-type: none"> El aumento de la temperatura del agua ha provocado blanqueamiento y posterior mortandad de corales y proliferación de algas, lo cual ha disminuido significativamente la densidad de peces y la biomasa en los arrecifes coralinos. Datos del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. La migración de diversas especies hacia las aguas más frías podría resultar en extinciones masivas debido a su poca capacidad de dispersión o por ausencia de hábitat. Cambios en la temperatura impactará la distribución y abundancia de peces.
	Incremento del dióxido de carbono en el mar.	<ul style="list-style-type: none"> Hay evidencia convincente que sugiere que la acidificación afecta el proceso de calcificación, por el cual los animales como los corales y moluscos y otros invertebrados construyen sus esqueletos, conchas y placas de carbonato de calcio.
	Aumento en la intensidad de tormentas y huracanes.	<ul style="list-style-type: none"> Al aumentar la intensidad de las tormentas es probable que reduzca hábitats críticos para peces, como arrecifes, manglares y pastos marinos, lo cual reducirá las poblaciones de peces que los utilizan.

3.5 Hipótesis de impacto del cambio climático sobre los objetos de los sistemas sociales

El **Cuadro 3** 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 en los sistemas sociales en el área del presente análisis.

Cuadro 3. Hipótesis de impacto sobre los sistemas sociales

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
Atracciones turísticas	Aumento del nivel del mar Aumento de la intensidad de las tormentas y huracanes Aumento de la temperatura del agua superficial	El aumento del nivel del mar y aumento de la temperatura afectarán seriamente los arrecifes de coral, bancos de peces y las playas, elementos esencial de atracción turística Los caminos de acceso y muelles a los atractivos turísticos

Objeto	Efecto del CC	Hipótesis de cambio o afectación al elemento
		se verán afectados.
Infraestructura turística: hoteles, restaurantes, desarrollos	Aumento del nivel del mar Aumento de la intensidad de las tormentas y huracanes	El aumento del nivel de mar exacerbado por las tormentas tropicales más frecuentes e intensas, dañarán la infraestructura costera, deteniendo la actividad turística, aumentando los costos de construcción y mantenimiento.
Ciudades, pueblos y comunidades costeras	Aumento del nivel del mar Aumento de la intensidad de las tormentas y huracanes	El aumento del nivel de mar exacerbado por tormentas tropicales más frecuentes e intensas, dañarán la infraestructura costera, deteniendo la actividad turística, aumentando los costos de construcción y mantenimiento. Las tormentas tropicales más frecuentes e intensas, y la intensificación de las lluvias incrementarán la ocurrencia, la gravedad y cobertura de las inundaciones en las planicies, afectando pueblos y comunidades.
Infraestructura de comunicación y transporte: puertos, marinas, carreteras, desembarco de combustibles	Aumento del nivel del mar Aumento de la intensidad de las tormentas y huracanes	El aumento del nivel de mar exacerbado por tormentas tropicales más frecuentes e intensas, dañarán la infraestructura costera, afectando las actividades productivas, aumentando los costos de construcción y mantenimiento. Las tormentas tropicales más frecuentes e intensas, y la intensificación de las lluvias incrementarán la ocurrencia, gravedad y cobertura de inundaciones en las planicies, afectando vías de comunicación, instalaciones industriales, puertos
Ríos, lagunas y acuifero costero (agua dulce)	Aumento del nivel del mar Aumento de la intensidad de las tormentas y huracanes Cambios en los patrones de precipitación	El aumento de la temperatura del aire aumentará la evapotranspiración y la reducción de la lluvia promedio anual disminuyendo la cantidad de agua dulce en cuerpos superficiales aumentando la salinidad. El aumento del nivel del mar, la disminución de las lluvias y la mayor extracción de agua dulce, aumentará la intrusión salina. Aumentará la extracción de agua del acuifero para consumo humano. Tormentas tropicales más frecuentes e intensas causarán erosión de las cuencas, arrastrando sedimentos que afectarán la calidad y cantidad de agua en los ríos y lagunas costeras

3.6 Metodología para medir el impacto potencial y la vulnerabilidad

Para el análisis del impacto potencial y la vulnerabilidad se seleccionaron aquellos efectos del cambio climático para los cuales se cuenta con información cartográfica para el área de estudio. Estos efectos se agruparon y para cada uno se analizaron los objetos más susceptibles. Se excluyeron aquellos para los cuales no se contaba información, como la acidificación del océano. Los efectos para los cuales se midió el impacto potencial fueron:

- Aumento de la temperatura superficial del mar
- Aumento en la intensidad de huracanes
- Aumento del nivel del mar
- Cambios en los patrones de precipitación y en la temperatura del aire

Para cada efecto del cambio climático se definieron indicadores de exposición e indicadores de sensibilidad. Los indicadores fueron calificados cualitativamente de acuerdo a la metodología propuesta por Preston *et al.* (2008), la cual propone calificar los indicadores en un rango de 1 a 5, donde 1 representará la menor exposición o sensibilidad, y 5 la mayor. Sumando estos indicadores se obtiene el impacto potencial del efecto del cambio climático. Estos indicadores se estiman para tres escenarios temporales: actual, 2030-2039 y 2090-99.

Posteriormente se estimó la capacidad adaptativa de las comunidades humanas, donde se utilizaron 13 indicadores, evaluados con la misma escala. Menor capacidad adaptativa es 5, y mayor capacidad adaptativa es 1. Este análisis es únicamente para las condiciones actuales. Los tres tipos de indicadores (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) se sumaron y se reajustaron para estimar la vulnerabilidad neta de cada efecto climático, para el escenario actual (**Figura 5**).

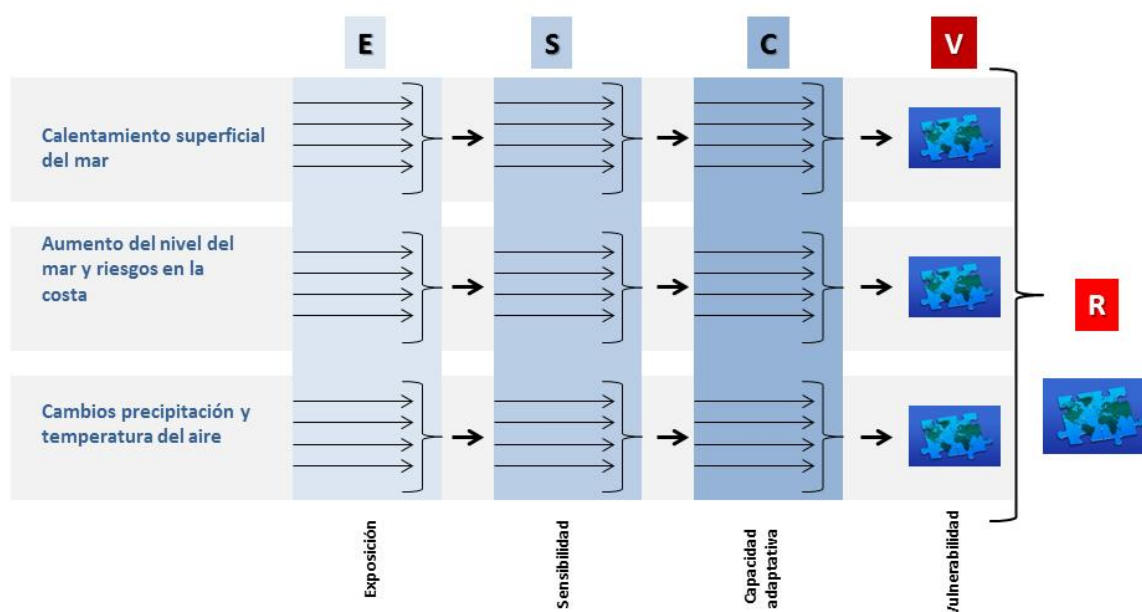


Figura 5. Modelo conceptual del enfoque para elaborar los mapas de impacto potencial y vulnerabilidad para cada uno de los tres efectos de cambio climático y para determinar la vulnerabilidad integrada en el área de estudio.

A continuación se describe la metodología para medir el impacto potencial de cada efecto climático, los indicadores utilizados y las fuentes de información.

3.6.1 Aumento de la temperatura superficial del mar

El calentamiento de la superficie del mar tiene varias consecuencias conocidas entre ellas el aumento del nivel del mar, ya que al calentarse el agua se expande y con ello se eleva la superficie del océano. El otro efecto importante lo constituye la afectación que ejerce la temperatura superficial del mar sobre los eventos climáticos extremos por el calentamiento. Este calentamiento es energía que ayuda a que los huracanes y tifones aumenten su energía destructiva (Herr y Galland 2009). Aunque, no está claro si la frecuencia de estas tormentas en el futuro estará afectada por el cambio climático, su intensidad se espera que aumente

con el aumento de temperatura superficial del mar (IPCC 2007) y esta intensificación pondría a las personas y a los ecosistemas marino-costeros en riesgo en una región propensa a sufrir este tipo de eventos anualmente (**Figura 6**).

Los cambios en la temperatura superficial del mar tienen importantes implicaciones biológicas para las condiciones habitables de muchos organismos vivos (Plancton, algas marinas, moluscos, crustáceos, peces y mamíferos). Se seleccionaron los objetos que sufrirán mayor impacto con el aumento de la temperatura del mar: los arrecifes de coral, pastos marinos, sitios de agregación de desove y los sitios de importancia para la pesca.

Desde la década de 1980, los científicos descubrieron que los corales comienzan a estresarse si el agua se calienta sólo 1 °C más allá que la temperatura más alta promedio del mes más caliente del verano (Glynn y D'Croz 1990), a esto le llaman la temperatura del "umbral de blanqueamiento", ya que el estrés causado por el agua más caliente de lo normal puede provocar el inicio del blanqueamiento a las ocho semanas de estar sometido a esa variación o entrar en blanqueamiento generalizado y mortalidad si se mantiene en ese estado por 12 semanas (NOAA Coral Reef Watch 2011).

Cuadro 4. Indicadores de exposición y sensibilidad utilizados para la evaluación del impacto del aumento de la temperatura superficial del mar

Indicadores	Fuente Datos
Indicadores exposición	
Degree Heating Weeks (DHW) período 2006-2010	Anomalías temperatura superficial del mar (NOAA 2011)
Degree Heating Weeks (DHW) 2030-2039 bajo escenarios A2 y B1	Modelos generados por CATIE, 2011, para 2030-2039 bajo escenarios A2 y B1
Degree Heating Weeks (DHW) 2090-2099, bajo escenarios A2 y B1	Modelos generados por CATIE, 2011, para 2090-2099, bajo escenarios A2 y B1
Indicadores sensibilidad	
Arrecifes de coral expuestos a anomalías de temperatura	Cobertura arrecifes coral (WRI 2011) y DHW 2006-2010 y modelos de DHW 2030-2039, 2090-2099
Sitios importancia pesca expuestos a anomalías de temperatura	Sitios importancia pesca (WWF 2007) y DHW 2006-2010 y modelos de DHW 2030-2039, 2090-2099
Pastos marinos expuestos a anomalías de temperatura	Cobertura de pastos marinos (TNC 2008) y DHW 2006-10 y modelos de DHW 2030-2039, 2090-2099
Sitios de agregaciones reproductivas a anomalías de temperatura	Cobertura de sitios de agregaciones reproductivas de TNC (2008) y DHW 2006-2010 y modelos de DHW 2030-2039, 2090-2099

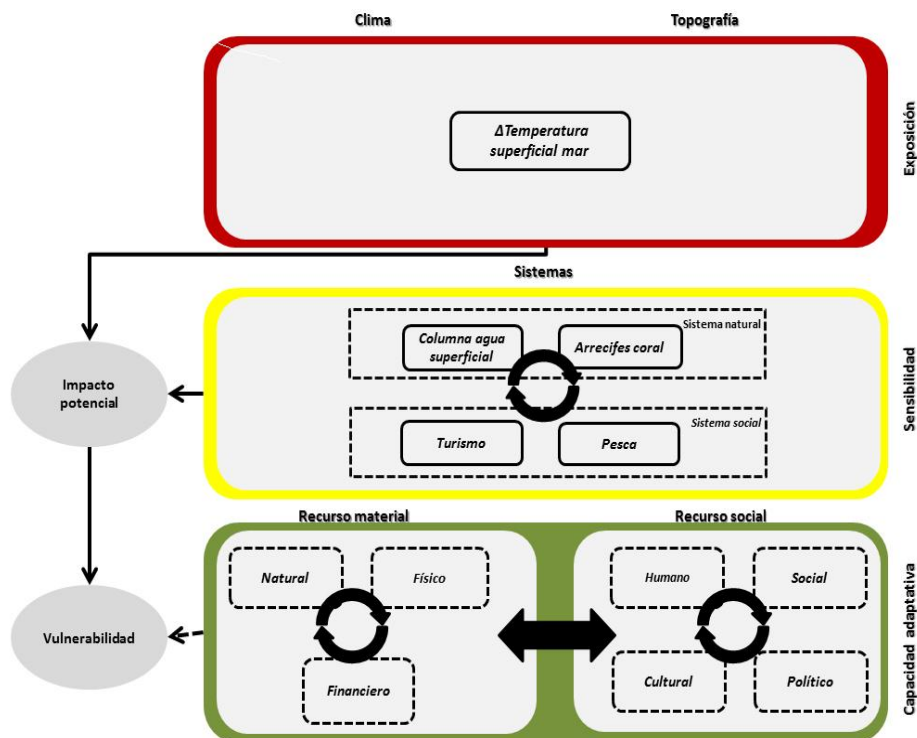


Figura 6. El modelo causal para medir el impacto potencial del aumento de la temperatura superficial del mar

La metodología empleada para el análisis del comportamiento de la temperatura superficial del mar fue la desarrollada por el “Coral Reef Watch” (CRW, <http://coralreefwatch.noaa.gov/>) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), que consiste en:

1. **Selección de datos nocturnos de la base de datos Coast Watch**, para eliminar el efecto de deslumbramiento solar y reducir la variación de la Temperatura superficial del mar (TSM) causada por el calentamiento diurno.
2. Cálculo de la media mensual de la temperatura superficial del mar.
3. **Evaluación de los niveles de estrés térmico** mediante la comparación de la media mensual máxima de la climatología base (MMM, periodo 2001 – 2005) contra la temperatura mensual del periodo de estudio (SST, periodo 2006 – 2011). El **Cuadro 5** muestra la interpretación del estrés térmico con base en los diferentes estados que pueden o no pueden producir el suficiente estrés que causes un blanqueamiento en los corales.

Los datos de climatología base utilizados en el análisis fueron tomados de la base de datos “Coast Watch de la NOAA” (<http://coastwatch.noaa.gov/>), la cual que contiene datos globales de la Temperatura Superficial del Mar a una resolución espacial de 5 km². Para la evaluación del estrés termal, se utilizó escenarios futuros de aumento de Temperatura Superficial del Mar basados en Donner (2009). La base de datos presenta simulaciones para dos escenarios de emisiones (B1 y A2), una por cada escenario y se evaluaron dos umbrales temporales como se mencionó anteriormente (período 2030-2039 y período 2090-2099), para un total de cuatro simulaciones de clima futuro.

Los datos son reportados como anomalías de Temperatura Superficial del Mar, es decir, la diferencia entre la temperatura actual y la futura. El primer paso fue sumarlos a los de la climatología base (2001-2005), para luego encontrar los “hotspots” de aumento de la Temperatura Superficial del Mar utilizando la misma metodología de los datos de línea base.

Cuadro 5. Indicador de estrés térmico de las áreas marinas al aumento de la temperatura superficial del mar (NOAA Coral Reef Watch 2011)

Estado	Interpretación	Definición
Sin estrés (1)	Sin estrés térmico	“HotSpot” (1) es igual a 0
Atención (2)	Bajo nivel de estrés térmico	“HotSpot” (1) por encima de cero pero SST por debajo del umbral de blanqueamiento
Advertencia (3)	El estrés térmico se está acumulando	Por encima de umbral de SST de blanqueamiento; DHW(2) por encima de 0
Nivel de alerta 1 (4)	Se espera blanqueamiento	SST por encima del umbral de blanqueamiento; DHW(2) 4 o superior
Nivel de alerta 2 (5)	Blanqueamiento generalizado y se espera cierta mortalidad	SST por encima de umbral de blanqueamiento; DHW(2) 8 o superior

Notas: (1) “HotSpot”: áreas donde los datos en el Temperatura Superficial del Mar están por encima del valor medio que se puede observar en el mes más caluroso del año. (2) DHWs muestra la cantidad de estrés por calor que se ha acumulado en un área en las últimas 12 semanas (3 meses). En otras palabras, se suman los valores de “HotSpot” cuando la temperatura supera el umbral de blanqueamiento.

3.6.2 Aumento en la intensidad de los huracanes

De igual forma, la pregunta de análisis es ¿Cuales son las áreas históricamente más afectadas por los huracanes? ¿Cuáles son las que han sufrido con mayor frecuencia y las que han recibido los huracanes de mayor intensidad?

Todos los objetos de análisis son sensibles ante los huracanes, resaltando las poblaciones humanas, los arrecifes y playas. Se mapearon las trayectorias de los huracanes de los últimos 150 años y la intensidad a lo largo de su trayectoria dentro del área de estudio. Luego se comparó sobre la ubicación de los objetos.

Cuadro 6. Indicadores de exposición y sensibilidad del impacto de huracanes

Indicadores	Fuente Datos
Indicadores exposición	
Áreas afectadas según intensidad de huracanes	Datos históricos ciclones tropicales (NOAA, 2011)
Áreas afectadas por mayor frecuencia de huracanes	Datos históricos ciclones tropicales (NOAA, 2011)
Indicadores sensibilidad	
Áreas agrícolas expuestos a mayor frecuencia de huracanes	Cobertura arrecifes coral (WRI, 2011) y Áreas afectadas por mayor frecuencia de huracanes
Áreas agrícolas expuestos a huracanes de mayor intensidad	Cobertura arrecifes coral (WRI, 2011) y áreas afectadas según intensidad de huracanes
Infraestructura expuestos a mayor frecuencia	Cobertura arrecifes coral (WRI, 2011) y Áreas

Indicadores	Fuente Datos
de huracanes	afectadas por mayor frecuencia de huracanes
Infraestructura expuestos a huracanes de mayor intensidad	Cobertura arrecifes coral (WRI, 2011) y áreas afectadas según intensidad de huracanes
Áreas urbanas y pobladas expuestos a mayor frecuencia de huracanes	Cobertura arrecifes coral (WRI, 2011) y Áreas afectadas por mayor frecuencia de huracanes
Áreas urbanas y pobladas expuestos a mayor intensidad de huracanes	Cobertura arrecifes coral (WRI, 2011) y Áreas afectadas según intensidad de huracanes

Cuadro 7. Los huracanes son clasificados en 5 categorías de acuerdo a la velocidad de los vientos

Categoría	1	2	3	4	5
Velocidad del viento (km/h)	119–153	154–177	178–209	210–249	≥250
Altura de la marea (m)	1.2–1.5	1.8–2,4	2.7–3,7	4.0–5,5	≥5,5
Presión central en el huracán (hPa)	980	965–979	945–964	920–944	<920

Fuente: NOAA. 2011. The Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale. En <http://www.nhc.noaa.gov/sshws.shtml>

3.6.3 Aumento del nivel del mar y riesgos en la costa

Este análisis se basó en la estimación de los cambios absolutos y relativos – a tierra - del nivel del mar. Las mediciones relativas se basan en mareógrafos instalados en la superficie de la tierra, los que pueden ser afectados por cambios en la posición de la misma superficie, afectando la medición de los cambios en el nivel del mar. Los cambios absolutos son mediciones con instrumentos satelitales de alta precisión, que fueron instalados en la década de 1990.

El volumen oceánico aumentó en escalas de tiempo geológicos muy grandes (10^9 años), y la modificación de la morfología de las cuencas oceánicas y la tectónica de placas, en escalas temporales de 10^7 – 10^8 años, pueden resultar en cambios en el nivel del mar de cientos de metros. En escalas temporales de cientos de miles de años, el nivel del mar ha cambiado como resultado de cambios climáticos que indujeron el intercambio cíclico de agua entre las capas de hielo y el océano; además la elevación de la corteza (ajuste isostático) todavía está ocurriendo y las estimaciones del cambio del nivel del mar global deben realizar una corrección o consideración por este efecto.

El volumen oceánico global es también alterado como resultado del cambio climático en escalas temporales del orden de décadas, como resultado de la dilatación térmica y el intercambio de agua entre el océano y otros reservorios incluyendo la atmósfera. En esta escala temporal, además del cambio global, se observan marcadas variaciones geográficas del nivel del mar a las que contribuyen variaciones en la circulación oceánica y la presión atmosférica. A nivel regional y local el nivel relativo del mar puede ser modificado por procesos tectónicos, subsidencia y sedimentación. En el escenario actual de aumento del nivel

global del mar (~ 3 mm/año), los procesos regionales pueden predominar, con variaciones regionales entre -1 mm/año y 10 mm/año.

Desde 1992 el nivel del mar es medido globalmente por la NASA y la Agencia Espacial Europea, con una precisión de 5 mm en intervalos de 10 días, utilizando altímetros a bordo de satélites de observación geofísica en órbitas polares. Los altímetros miden la distancia entre el satélite y la superficie mediante pulsos de radar, y conociendo con gran precisión la posición del satélite respecto a una superficie elipsoidal de referencia bien determinada (un modelo de la forma de la superficie de la Tierra), se obtiene la altura de la superficie del mar (SSH por sus siglas en inglés). El nivel medio del mar es calculado globalmente con altimetría promediando las medidas de SSH sobre todos los océanos del planeta. A diferencia de las mediciones mareográficas, donde se mide el nivel relativo del mar, la altimetría permite obtener las variaciones absolutas del nivel del mar en forma global, con una precisión de décimas de mm/año. La variación del nivel del mar medio global medida de esta forma incluye: a) la expansión o contracción debida a variaciones en la densidad del agua (determinadas por variaciones de temperatura y salinidad); b) el intercambio de agua con los continentes, la atmósfera y las capas polares; c) variaciones de baja frecuencia de la circulación oceánica.

Como se mencionó antes, la pregunta de investigación a responder fue: ¿Cuáles áreas en la costa son vulnerables a los efectos del aumento en el nivel del mar, tormentas, mareas de tempestad y cuáles son los impactos probables sobre las personas y la infraestructura y los ecosistemas?

En el modelo conceptual de la vulnerabilidad de la costa al aumento del nivel del mar (**Figura 7**), la exposición (en rojo) es impulsada por la interacción entre el sistema climático y la topografía del paisaje costero. La sensibilidad (en amarillo) es una función de la presencia de ecosistemas, actividades productivas y la infraestructura en el paisaje costero. La combinación de la exposición y la sensibilidad crea el impacto potencial adverso. La capacidad adaptativa (en verde) es una función del capital material y el capital social con el cual se abordan los impactos potenciales y la vulnerabilidad. La interacción y los procesos críticos están representados por las flechas.

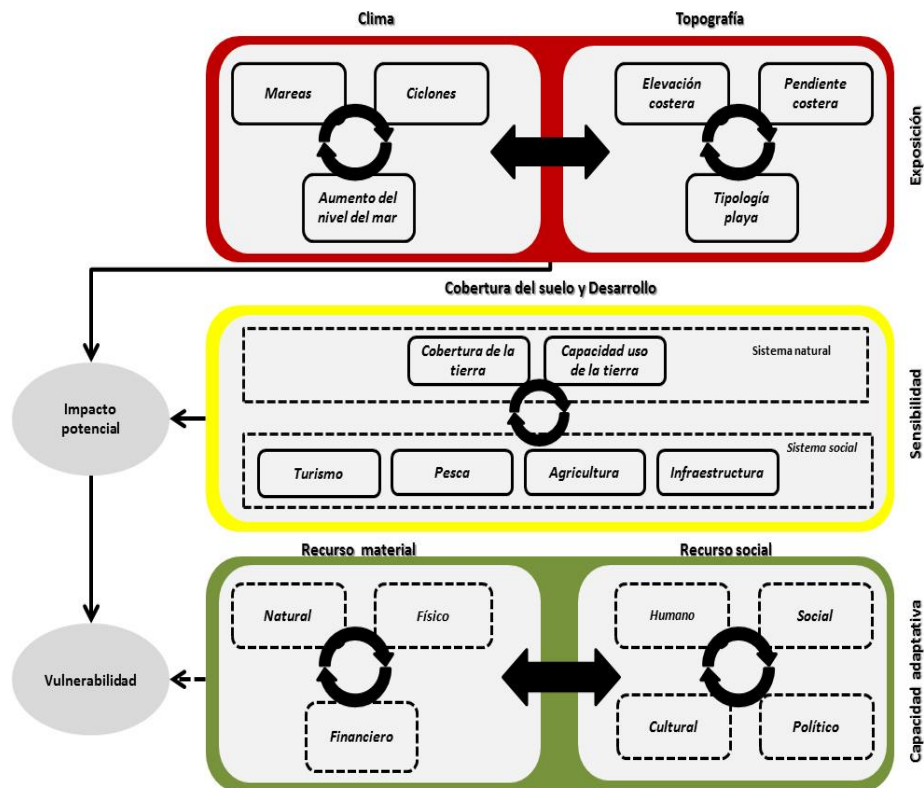


Figura 7. Modelo conceptual de la vulnerabilidad de la costa al aumento del nivel del mar

Cuadro 8. Indicadores y fuente de datos para evaluar la exposición y sensibilidad ante el aumento del nivel del mar

Indicadores	Fuente datos
Indicadores exposición	
Área expuesta al aumento del nivel del mar.	Modelo elevación digital 90 metros, con umbrales de 1, 2, 4, 8 y 16 msnm
Km de costa expuestos al aumento del nivel del mar	Serie datos estaciones mareográficas de países y Serie datos sensores remotos Topex/Poseidon, Jason I y Jason II
Indicadores sensibilidad	
Áreas urbanas expuestas aumento nivel del mar.	Modelo elevación digital 90 metros.
Áreas de humedales expuestos aumento del nivel del mar	Modelo elevación digital 90 metros.
Áreas de vegetación natural expuestas al aumento del nivel de mar	Mapa de vegetación.
Área de pesca en lagunas costeras expuesta al aumento del nivel del mar	WWF (2007).
Área con capacidad uso agrícola expuesta al aumento del nivel del mar	Capacidad uso suelo agrícola.
Área y/o extensión de infraestructura ex-	Coberturas carreteras y caminos.

puesta al aumento del nivel del mar	Área urbanizada y poblados.
Población expuesta al aumento del nivel del mar	Crecimiento poblacional proyectado 2015, Censo Nacional Densidad población, Censo Nacional.

Cada uno de los indicadores fue evaluado en una escala exponencial del riesgo de elevación del nivel del mar y fueron calificados de acuerdo a la escala del 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 cubiertas con el aumento del nivel de mar previsto para 2090
1 a 2 m	Alta	Áreas expuestas inundación por tormentas con el actual nivel del mar. Áreas altamente expuestas a inundación y erosión por mareas, lluvias extremas y tormentas de todas las categorías con el aumento del nivel del mar previsto para 2090
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 previsto para 2090
4 - 8 m	Baja	Áreas expuestas a eventos extremos categoría 5 con condiciones actuales Áreas expuestas a inundación por eventos extremos con el aumento del nivel del mar
8 - 16 m	Muy baja	Áreas no expuestas actualmente y poco expuestas con el aumento del nivel del mar

Para el análisis del aumento del nivel del mar se utilizaron datos de aumento relativo del mar (provenientes de mareógrafos) y de aumento absoluto del nivel del mar (Provenientes de sensores remotos) de los Puertos de Cortés, Castilla en Honduras y Santo Tomás en Guatemala. El cuadro siguiente detalla el número de años de datos recopilados para cada tipo de dato.

Cuadro 10. Años de datos recopilados por puerto y estaciones de sensores remotos para calcular el aumento relativo y absoluto del nivel del mar

Puerto	Años datos		Total años
	Aumento relativo	, Aumento Absoluto	
Cortés	20	18	38
Castilla	13	18	31
Santo Tomás	16	18	34

3.6.4 Cambios en los patrones de precipitación y en la temperatura del aire

Para el análisis de exposición, donde se determinan las anomalías proyectadas de temperatura y precipitación, se utilizaron las siguientes bases de datos y modelos y escenarios de cambio climático:

Datos climáticos de línea base: para la evaluación de los cambios en temperatura del aire y precipitación se utiliza como climatología base los datos de WorldClim (Hijmans *et al.* 2005) los cuales provienen 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 cambio climático 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. Los escenarios de nivel de emisiones del siglo XX, bajas emisiones (B1) y altas emisiones (A2) fueron aumentados a una escala con resolución de 2,5 minutos, aproximadamente 5 km por The Nature Conservancy (TNC, pendiente de publicación), Universidad de California en tres grupos de forzamiento radiactivo (IPCC-SRES), con 48, 52 y 36 escenarios respectivamente para el período 2070-2100, para un total de 136 simulaciones de clima futuro (Cuadro 11).

Cuadro 11. 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

Cálculo de exposición a cambios en precipitación y temperatura del aire: en el caso de la precipitación, 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, 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, A1B 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.

En el caso de la temperatura, la exposición está medida según la cantidad de simulaciones que predicen un aumento en temperatura superior a 3 °C. Se utilizó la misma metodología empleada para evaluar la exposición en el cambio de precipitación.

Cambios en el tipo de vegetación según el sistema de zonas de vida de Holdridge: se desarrolló una simulación del sistema de zonas de vida de Holdridge para evaluar las probabilidades de cambio en el tipo de vegetación producto del cambio climático. El sistema de Holdridge se basa en las variables de región latitudinal, piso altitudinal y provincia de humedad, y para su construcción se utilizó la metodología propuesta por Zamora-Pereira (2011), esta metodología se basa en los siguientes pasos:

- **Definición de pisos altitudinales:** Utilizando como datos climáticos base los de WorldClim (Hijmans *et al.* 2005) se procedió a calcular los valores promedios mensuales y luego anual de biotemperatura y con ello definir los pisos altitudinales. Al final se obtiene un dato promedio correspondiente a los doce meses, es decir la biotemperatura promedio anual, con la cual se generó una capa de información que define los pisos altitudinales, separando los rangos entre 0-1.5, 1.5-3, 3-6, 6-12, 12-17, 17-24, 24-30.
- **Definición de provincias humedad:** La segunda variable que se calcula es la precipitación mensual, con la que se obtiene la sumatoria de la precipitación para el año completo, este dato es la precipitación anual absoluta. Dicha capa de información es útil para obtener las provincias de humedad, Así los datos de precipitación anual son reclasificados en los siguientes rangos: 62.5-125, 125-250, 250-500, 500-1000, 1000-2000, 2000-4000, 4000-8000, > 8000 mm.
- **Definición de región latitudinal:** La tercera y última variable es la biotemperatura a nivel del mar, y se obtiene combinando la biotemperatura promedio de un sitio y su elevación. Así se logra definir la región latitudinal de la zona de vida de acuerdo con la progresión geométrica que indica que la temperatura disminuye conforme se aumenta la elevación sobre el nivel del mar.
- **Construcción del mapa de zonas de vida base:** Finalmente mediante la sobre posición de capas de información anteriores utilizando un programa de análisis de información geográfica (ArcGIS 9.3), se construyó el mapa de la distribución actual de zonas de vida presentes. Este constituye el mapa de referencia para los posteriores análisis de cambio en la distribución de zonas de vida.
- **Zonas de vida futuras:** Para los escenarios futuros de distribución de las zonas de vida se utiliza la misma metodología descrita anteriormente. En total se construyeron 136 mapas de distribución futura. Los valores de las variables climáticas son reportados como anomalías climáticas para cada mes, es decir, la diferencia entre el dato climático presente (1961-1990) y el dato futuro simulado (2070-2100).
- **Cálculo de la incertidumbre en la exposición:** La incertidumbre en los resultados climáticos futuros se refiere a las diferentes posibilidades de cambio que tendrán los datos en el horizonte temporal propuesto. Se realizó su análisis mediante la comparación del cambio entre zonas de vida, utilizando como base la distribución actual y comparando con cada una de las 136 simulaciones, después se aplicó la metodología de incertidumbre del IPCC (2005) para reclasificar el área según la cantidad de simulaciones que indicaban cambios en el tipo de bosque. Cuando <33% del total de simulaciones por escenario de emisiones (B1, A1B o A2) indica cambio en el tipo de bosque la expo-

sición 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.

La pregunta de investigación a responder fue: ¿Cuáles áreas son vulnerables a cambios en los patrones de precipitación y en la temperatura del aire?, utilizando los indicadores del **Cuadro 12**.

Cuadro 12. Indicadores para evaluar la vulnerabilidad a los cambios en la precipitación y temperatura del aire en las tierras costeras

Indicadores exposición	Datos
Área expuesta a Δ precipitación al 2030-2039	Modelos generados por CATIE basado en escenario A1
Área expuesta a Δ temperatura al 2039-2039	Modelos generados por CATIE basado en escenario B2
Área expuesta a Δ precipitación al 2090-2099	Modelos generados por CATIE basado en escenario A1
Área expuesta a Δ temperatura del 2090-2099	Modelos generados por CATIE basado en escenario B2
Indicadores sensibilidad	Datos
Área de vegetación natural expuestas a Δ en precipitación y temperatura aire	Mapa de uso del suelo y tipos de vegetación.
Área de pesca en lagunas costeras expuesta a Δ en precipitación y temperatura aire	Mapa de sitios de importancia para la pesca de WWF (2008)
Área de uso agrícola expuesta a Δ en precipitación y temperatura aire	Mapa de uso del suelo y tipos de vegetación.
Población expuesta a Δ en precipitación y temperatura aire	Mapa de uso del suelo y tipos de vegetación e institutos nacionales de estadística.

Nota: Δ = Cambio

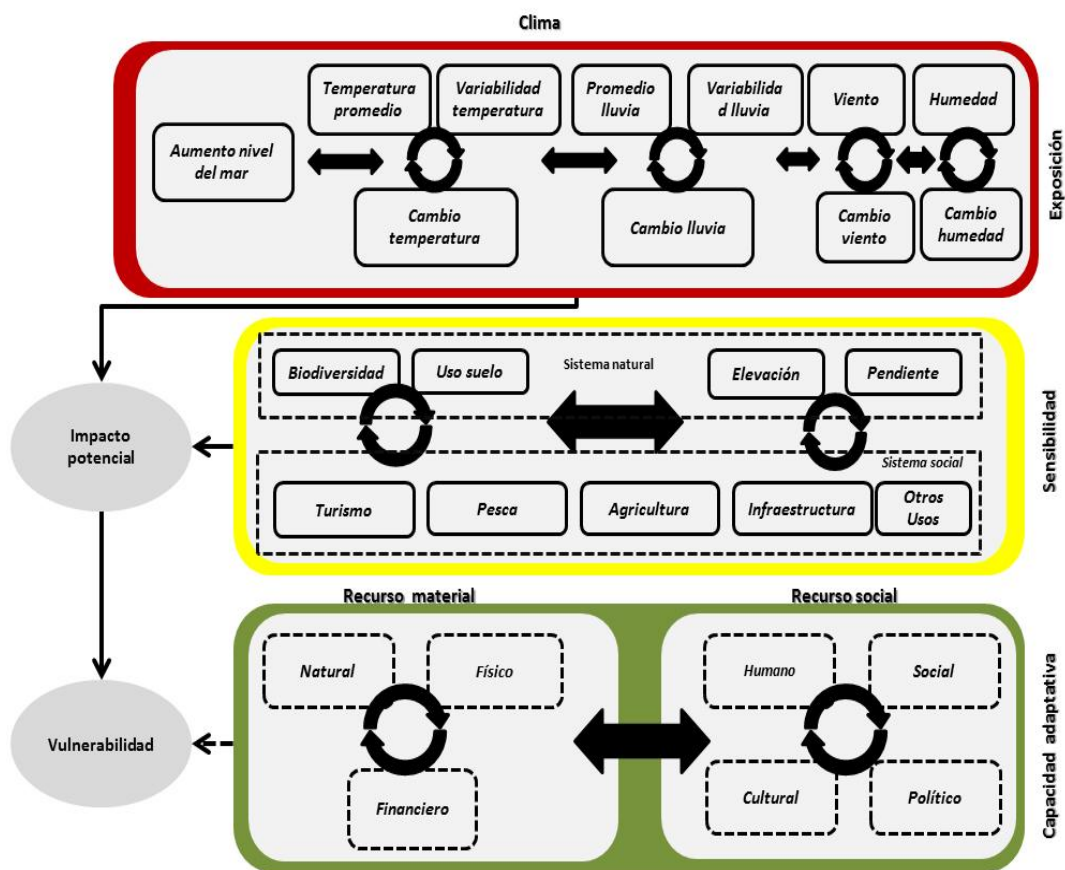


Figura 8. Modelo conceptual para evaluar la vulnerabilidad ante el cambio de precipitación y temperatura del aire

3.7 Estimación de la capacidad adaptativa de las comunidades humanas

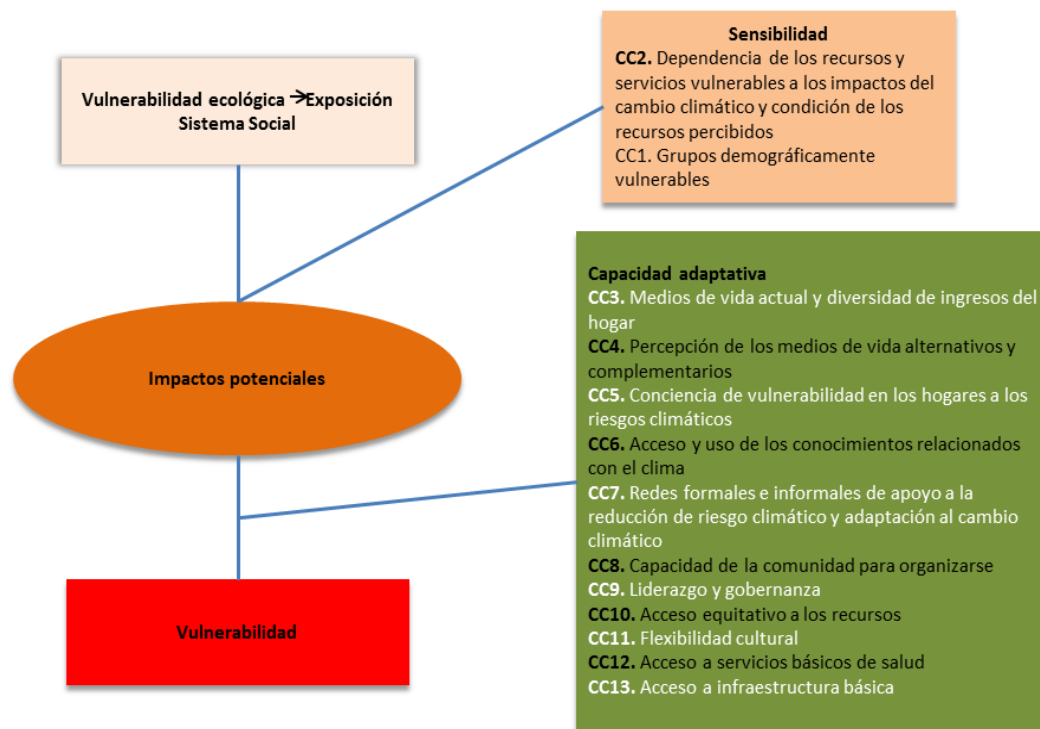
La capacidad de adaptación puede estimarse desde una escala individual a una escala de comunidades, sectores y regiones. Si bien una idea de la capacidad de adaptación de una comunidad puede derivarse de la capacidad de adaptación de los individuos que la componen, la evaluación de las características de la comunidad puede proporcionar información que refleje mejor la capacidad de respuesta ante el cambio climático (Marshall *et al.* 2009).

Diferentes factores deben considerarse y ser evaluados por una variedad de métodos, incluyendo el análisis de la información censal, las encuestas de informantes clave de los negocios, industria, gobierno, organizaciones de investigación, organizaciones no gubernamentales, grupos indígenas y el público en general (Marshall *et al.* 2009).

Cada sitio puede presentar ciertas características propias que hacen que algunos indicadores puedan ser más adecuados que otros para la evaluación de la vulnerabilidad. 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 S and Loper). 2011). Para el presente trabajo se seleccionó un conjunto mínimo de indicadores mostrados en la

Figura 9. Sin embargo la disponibilidad de datos a nivel de los municipios en los tres países permitió evaluar sólo 6 indicadores de los 13 propuestos (**Cuadro 13**).



Fuente: Adaptado de CRISP, 2011.

Figura 9. Marco conceptual para analizar la capacidad adaptativa de las comunidades humanas

Cuadro 13. Criterios para el análisis la capacidad adaptativa a nivel regional y local, posibles métodos de colección de información y ejemplos de su utilidad (adaptado de Wongbusarakum y Loper 2011)

CRITERIO	INDICADOR	UTILIDAD
CC1. Grupos demográficamente vulnerables.	% de la población en situación de pobreza y extrema pobreza.	Identificar grupos con mayor riesgo asociado al cambio climático y requieran mayor apoyo.
CC2. Dependencia de los recursos y servicios vulnerables a los impactos del cambio climático (CC).	% de la población cuyos medios de vida principales (más del 50% del ingreso) dependen de recursos naturales: turismo, pesca y agricultura.	Predecir impactos del cambio climático en los medios de vida, la economía y la seguridad alimentaria. Señala los medios de vida que son altamente sensibles a amenazas particulares del clima.

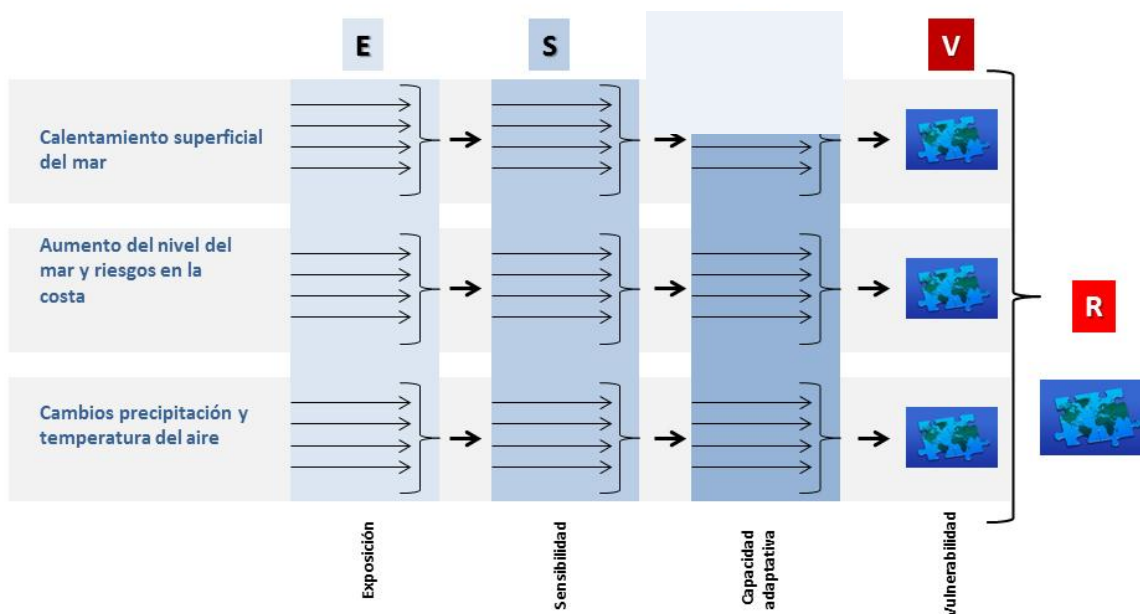
CRITERIO	INDICADOR	UTILIDAD
CC3. Medios de vida actual y diversidad de ingresos del hogar.	Numero de actividades productivas locales.	Identificar la sensibilidad económica de las comunidades al cambio climático y otras amenazas externas. Identificar opciones necesarias para la diversificación de los medios de vida.
CC4. Percepción de los medios de vida alternativos y complementarios.	Cantidad de destrezas existentes en las actividades claves (pesca, agricultura y turismo).	Identificar posibilidades y recursos necesarios para la adaptación de los medios de vida al cambio climático y otras amenazas externas.
CC6. Acceso y uso de los conocimientos relacionados con el clima.	% analfabetismo.	Capacidad de las comunidades de comprender los impactos del cambio climático y necesidad de educación. Identificar usos actuales y potenciales de la información sobre CC.
CC7. Redes formales e informales de apoyo a la reducción de riesgo climático y adaptación.	Número y tipo de redes existentes.	Ajustar tipos de programas de extensión y educación para enfrentar el CC. Llenar vacíos en redes de información.
CC8. Capacidad de la comunidad para organizarse.	Número y tipo de organizaciones comunitarias.	Identificar redes potenciales que sirvan como conductores para información relacionada al cambio climático y para dar asistencia. Colaborar con redes actuales que pueden apoyar la adaptación y la planificación.
CC9. Liderazgo y gobernanza.	Numero de plataformas de coordinación de con incidencia en recursos o territorios.	Estimar si una comunidad es capaz de reestructurarse después de sufrir un impacto. Determinar el nivel de autoconfianza dentro de una comunidad. Identificar áreas que deben ser fortalecidas para el trabajo de adaptación. Entender el nivel de la participación de los interesados en el manejo y toma de decisiones.
CC12. Acceso servicios básicos de salud.	Expectativa de vida al nacer. Calorías ingeridas per	Identificar segmentos de población vulnerable que pueden ser menos capaces de adaptarse al cambio climático.

CRITERIO	INDICADOR	UTILIDAD
	cápita	
CC13. Acceso a infraestructura básica	Kilómetros carreteras	Identificar el acceso a la infraestructura básica ya que a mayor acceso se espera mayor capacidad de adaptación
	% población con acceso a agua potable	

Los indicadores se aplicaron por municipio y los datos se clasificaron en 5 categorías (1 mayor capacidad – 5 menor capacidad), y se sumaron, dando como resultado la capacidad adaptativa de cada municipio.

3.1 Estimación de la vulnerabilidad

Para estimar la vulnerabilidad se considera el impacto (exposición y sensibilidad) y lo comparamos con la capacidad adaptativa de las comunidades humanas, estimada por municipio. La capacidad adaptativa reduce el impacto y por lo tanto reduce la vulnerabilidad. No se determinó la vulnerabilidad ante el calentamiento superficial del mar, pues solo afecta los ecosistemas marinos y no terrestres. A continuación se explica como se sumaron los distintos indicadores de exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa para determinar la vulnerabilidad.



Exposición ante cambios en precipitación y temperatura: mapas con el cambio potencial en precipitación o temperatura (dos mapas) bajo dos escenarios de emisiones (A2 y B1), reclasificado en cinco categorías según la probabilidad de cambio.

Exposición ante el aumento del nivel del mar: mapas con las áreas expuestas ante el aumento en el nivel del mar. Se reclasificó un modelo de elevación digital (resolución espacial de 90m) en cinco categorías (Muy alta: 0-1 msnm; Alta: 1-2 msnm; Media: 2-4 msnm; Baja: 4-8 msnm; y Muy baja: 8-16 msnm).

Mapeo de elementos sensibles: vegetación natural (manglares), sitios de pesca (lagunas costeras), áreas con capacidad de uso agrícola y población. Los mapas son binarios (1 para las áreas con presencia del elemento, y 0 para los sitios con ausencias). Se construyó un mapa que resumiera todos los elementos sensibles por medio de la suma de los mismos, reclasificando con un código logarítmico en lugar del código binario para diferenciar en el mapa cada uno de los elementos (Laguna costera: 10, Manglar: 100, capacidad de uso agrícola: 1000). Cuando se encontraron áreas de traslape se respetó un orden lógico de presencia en el espacio, dando prioridad a los elementos naturales (Laguna costera y manglar), y finalmente elementos potenciales (capacidad de uso de la tierra).

En el caso del mapeo de elementos a los cambios a temperatura y precipitación se adicionan las áreas de vegetación potencial según estudio realizado por CATIE usando las zonas de vida de Holdridge (Zamora e Imbach, en revisión), sobre las áreas con cobertura vegetal (código 10000). El análisis es el resultado de proyectar a futuro el cambio potencial vegetación de acuerdo a cambios en precipitación y temperatura.

Sensibilidad : Se obtiene un mapa de sensibilidad al multiplicar el mapa de exposición (categorías 1 al 5) por el mapa de elementos sensibles. El mapa tiene valores entre 1 (muy baja) y 5 (muy alta) y no hay necesidad de reclasificar el mapa.

Capacidad adaptativa: determinada según explicación previa para todos los municipios de la costa.

Vulnerabilidad ante cada impacto: se obtuvo al **multiplicar** el mapa de sensibilidad final contra el mapa de capacidad adaptativa. La vulnerabilidad varía desde muy baja (1) hasta muy alta (25). Los resultados fueron reclasificados en cinco clases para obtener la vulnerabilidad relativa del área de estudio. Por ejemplo, un pixel con sensibilidad 4 (alta) dentro de un municipio con capacidad 2 (alta), resulta en un pixel con vulnerabilidad 8 (baja). El área de los mapas finales solamente abarca el área de los municipios marino-costeros.

Vulnerabilidad	Clase	Resultado multiplicar capacidad por sensibilidad
Muy alta	5	21-25
Alta	4	16-20
Mediana	3	11-15
Baja	2	6-10
Muy baja	1	1-5

Vulnerabilidad integrada: Se suma los resultados reclasificados (1 al 5) de vulnerabilidad ante cambios de temperatura y precipitación y la vulnerabilidad ante el aumento del nivel del mar. Los resultados se clasifican nuevamente en 5 categorías.

4 Impacto Potencial del Cambio Climático

4.1 Aumento de la temperatura superficial del mar

4.1.1 Exposición

La **Figura 10** muestra el nivel de exposición a estrés térmico a que ha estado sometido el Golfo de Honduras entre el año 2006 y 2010. Se observan valores de estrés térmico altos y medios en la zona cercana a Punta Manabique lo que indica que en esa zona se pudo esperar blanqueamiento de corales. Durante dicho periodo ocurrieron blanqueamientos en distintos puntos de Belice y Honduras pero no un evento generalizado. El Golfo de Honduras está sufriendo estrés térmico en algunas localidades lo que plantea la necesidad de contar con un sistema de monitoreo en la zona para identificar blanqueamiento y la capacidad de recuperación de los arrecifes.

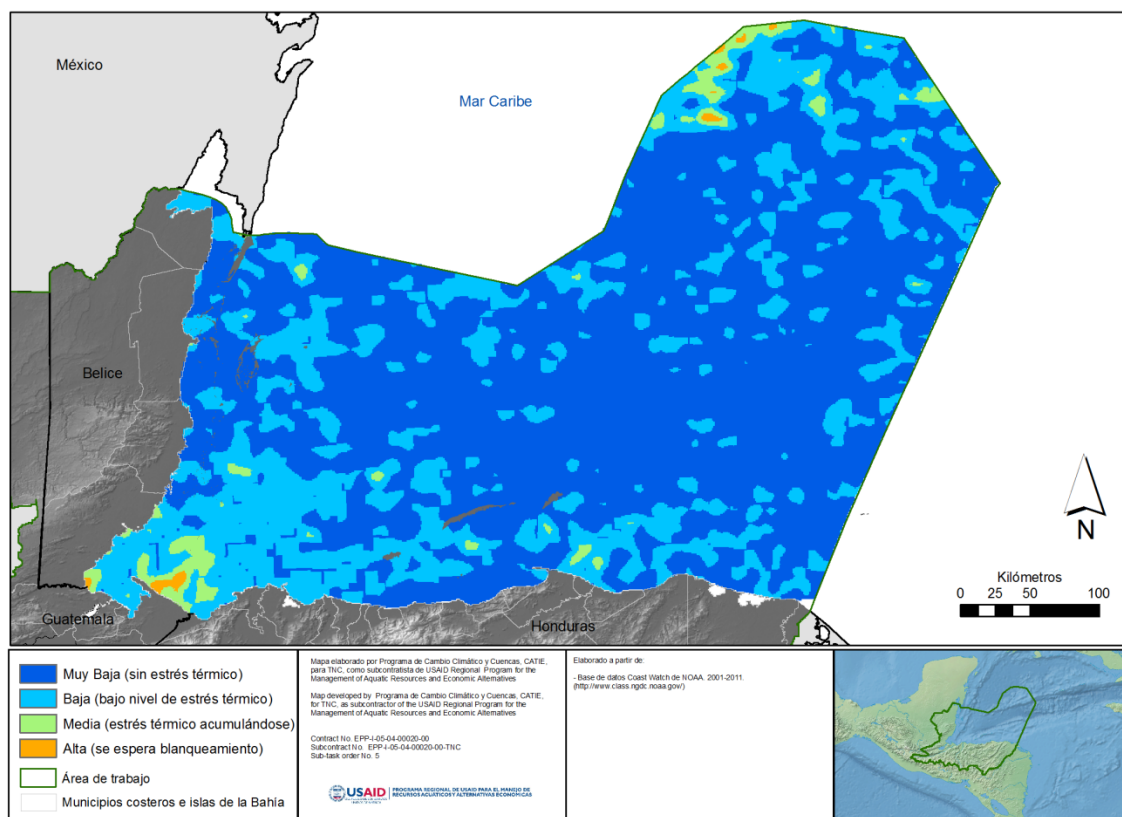


Figura 10. Nivel de estrés térmico en el período 2006-2010

Sin embargo, durante el periodo del 1998 al 2007 la ocurrencia de estrés térmico fue muy marcada como puede observarse en el siguiente mapa. En 1998 ocurrió un evento de blanqueamiento generalizado en todo el mundo, afectando seriamente los arrecifes dentro del área de estudio.

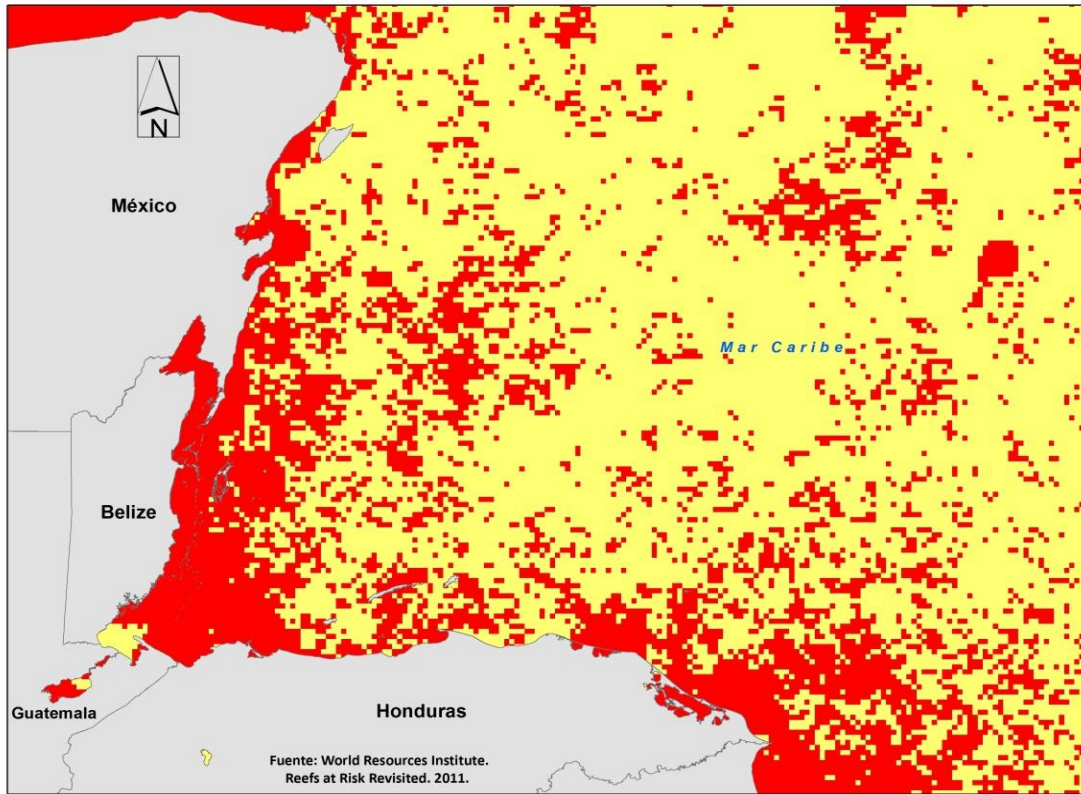


Figura 11. Nivel de estrés térmico en el período 1998-2007

Al evaluar las regiones del Golfo de Honduras expuestas a estrés térmico futuro se observa para los dos escenarios de emisiones (B1 y A2) para el período 2030-2039 que se mantiene un calentamiento siempre hacia la zona de Punta Manabique y hacia el exterior del Golfo de Honduras (**Figura 12**), no obstante, cuando se observan los resultados para las mismas escenarios de emisiones para el período 2090-2099 se obtiene que todo el Caribe de Belice, Guatemala y Honduras estará bajo estrés térmico en relación a las temperaturas actuales (**Figura 13**).

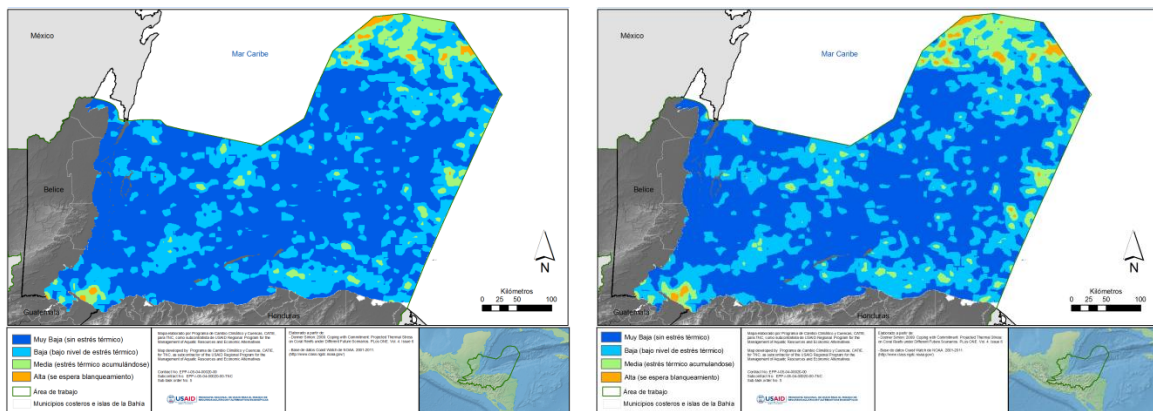


Figura 12. Nivel de estrés térmico en el periodo 2030-2039 bajo escenarios de emisiones B1 (izquierda) y A2 (derecha)

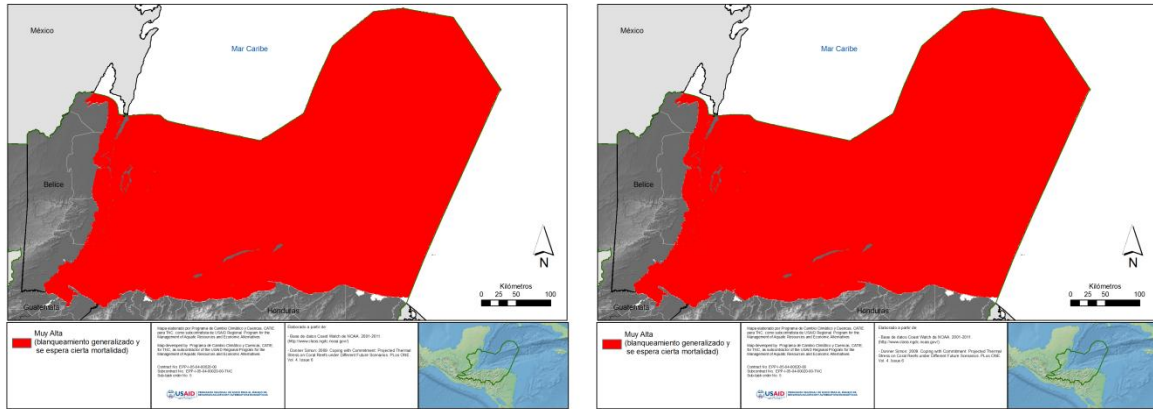


Figura 13. Nivel de estrés térmico en el periodo 2090-2099 bajo escenarios de emisiones B1 (izquierda) y A2 (derecha)

4.1.2 Sensibilidad

Los arrecifes de coral, pastos marinos, sitios de agregación de desove de pargos y meros, y sitios de importancia para la pesca, fueron superpuestos a las capas de estrés térmico actual y futuro. Como se indicó, pocas zonas han sido expuestas a estrés térmico en los últimos años. Para el período 2030-2039 la exposición aumenta e impacta la zona del Golfo de Honduras. Para el periodo 2090-2099 todas las ocurrencias de los objetos mencionados se verán expuestas con estrés térmico generalizado, esperándose un impacto alto. Esto representa una amenaza severa para los arrecifes de coral, los cuales podrían sufrir blanqueamientos generalizados en toda el área de estudio.

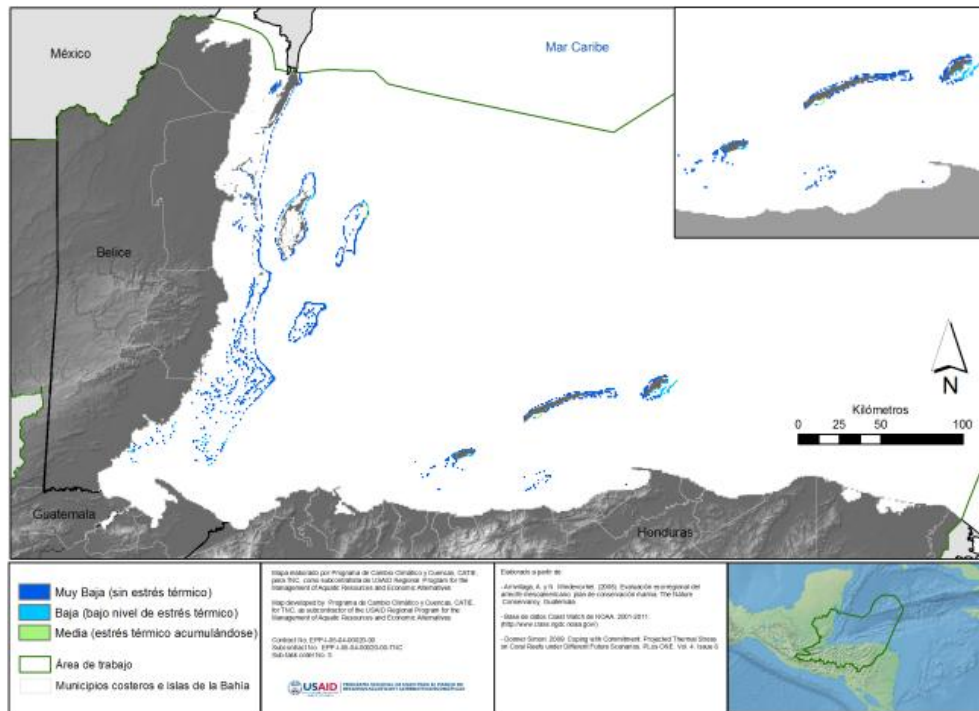


Figura 14. Sensibilidad de arrecifes ante calentamiento superficial del mar para el periodo 2030-2039 bajo escenario de emisiones B1

4.2 Frecuencia e intensidad de los huracanes en el Caribe

Según en el historial de huracanes el Caribe de Belice, Guatemala y Honduras es una región históricamente impactada por estos fenómenos y debido a la presencia de comunidades humanas, ecosistemas sensibles y poca capacidad adaptativa, es una región altamente vulnerable. Los huracanes impactan toda la región, pero diferencialmente, debido a que hay zonas con mayor ocurrencia de eventos y áreas impactadas regularmente por huracanes de mayor intensidad. Al observar la figura 16 es importante señalar que el impacto de los huracanes con intensidades altas y medias convergen en el norte de Belice y La Mosquitia de Honduras. Eso, junto con la calidad de los suelos, puede explicar la vegetación dominante en estas regiones que son sabanas de pino moldeadas por los huracanes durante siglos.



Figura 15. La recuperación del daño de los huracanes sobre los bosques de manglar puede tomar años. La interrupción de los flujos hidrológicos causados por el ser humano dificulta aún más el proceso (foto F.Secsaira).

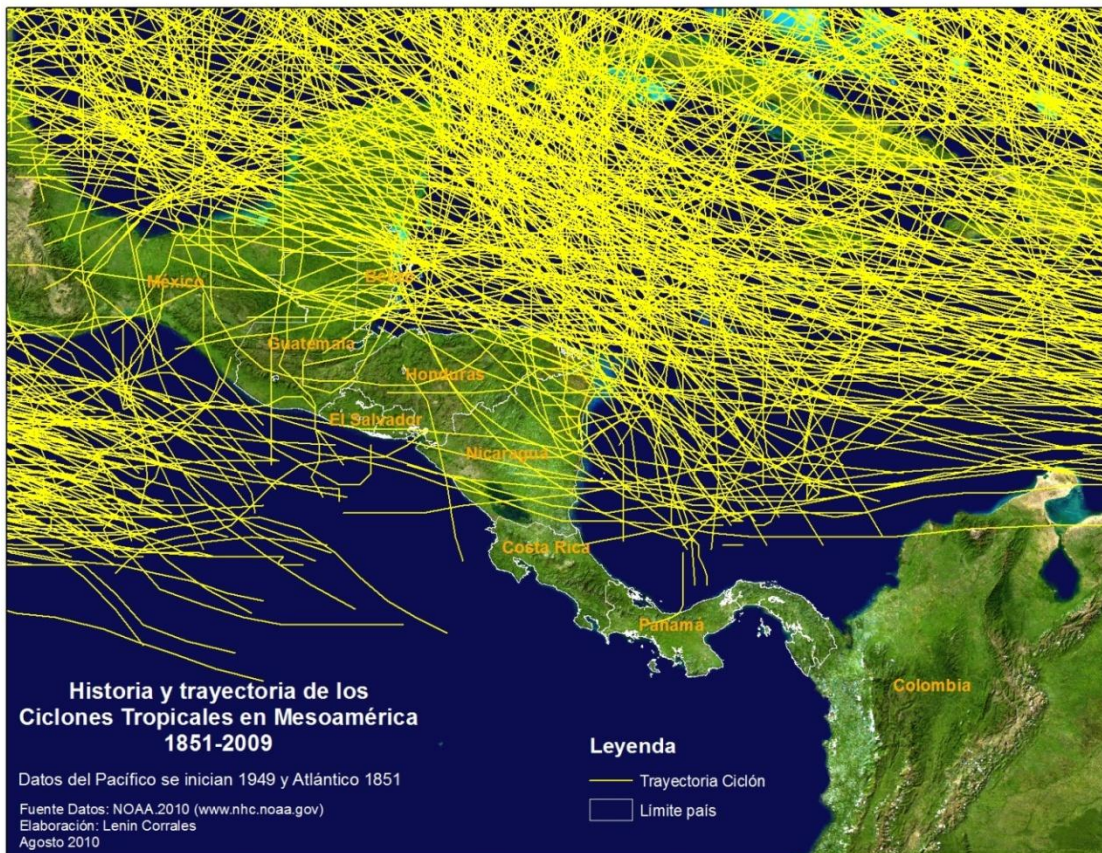


Figura 16. Trayectorias de los huracanes sobre Centro América

Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras

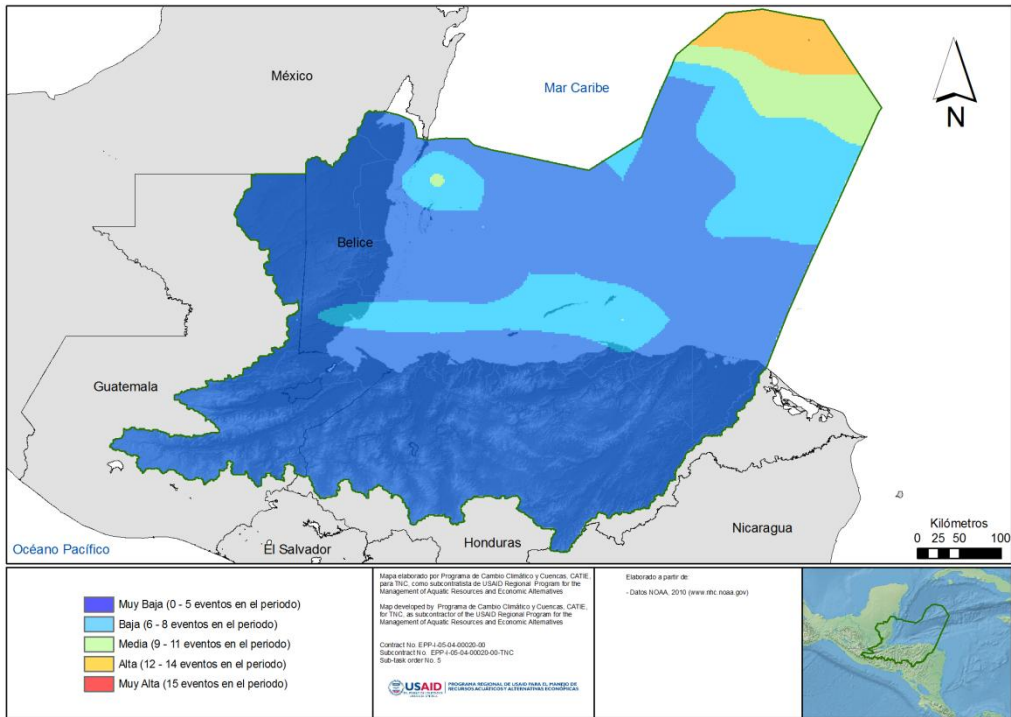


Figura 17. Frecuencia de huracanes en el período 1851-2009

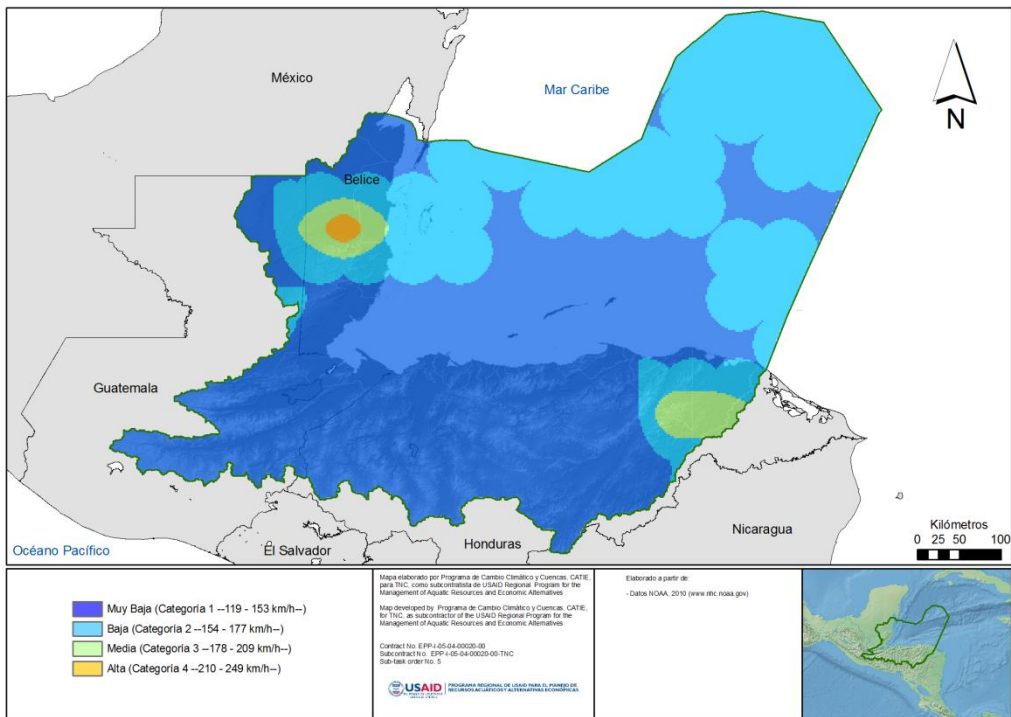


Figura 18. Intensidad de huracanes en el período 1851-2009

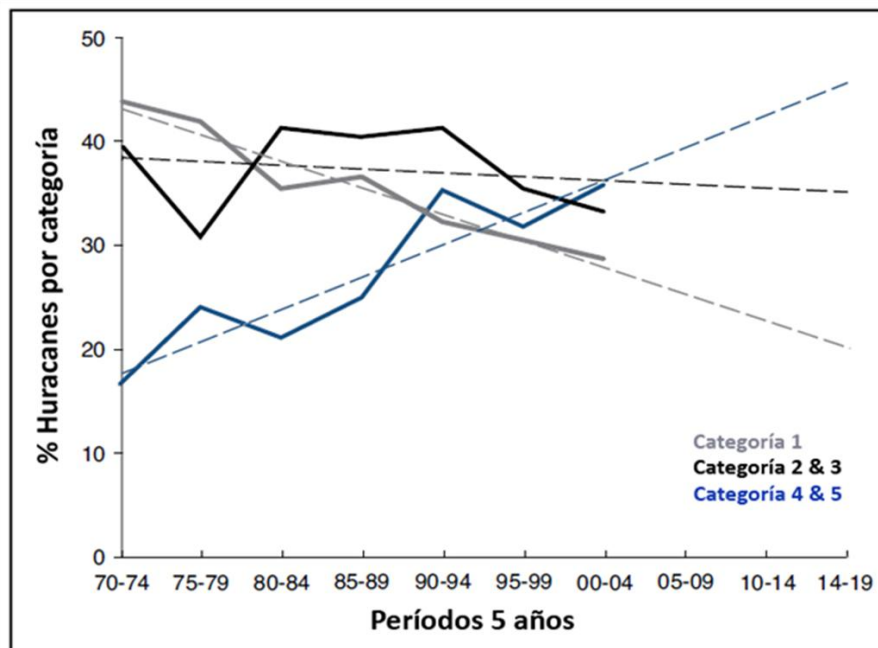


Figura 19. Frecuencia de huracanes según intensidad de 1970 a 2004

Dado que la temperatura superficial del agua es un factor determinante en la intensidad de los huracanes, al aumentar la temperatura según las proyecciones climáticas, tendremos huracanes más intensos. Esta tendencia ya se refleja en los registros de huracanes, donde cada vez ocurren más huracanes de intensidad 4 y 5, y menos huracanes con intensidades 1 y 2.

4.3 Aumento del nivel del mar

Una de las mayores consecuencias del cambio climático es el aumento del nivel del mar, lo cual intensifica el estrés de muchas zonas costeras, particularmente donde hay actividades humanas (Feenstra et al. 1998). El cambio en el nivel relativo del mar se debe a factores globales, regionales y locales y manifiestan variaciones geográficas. Los factores son cambios en la temperatura superficial del océano, la salinidad, los vientos, la circulación oceánica, los aportes los fenómenos de El Niño y La Niña (IPCC 2007a), el ajuste isostático glacial y a los hundimientos naturales o inducidos por el hombre. Por lo tanto el aumento relativo del nivel del mar es una consecuencia del cambio climático y de muchos otros factores que varían de un lugar a otro (Nicholls 2010).

Según el IPCC (2007a) el nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo medio de 1.8 [1.3 a 2.3] mm anual desde 1961 a 2003. Otros autores (Domingues et al. 2007) han estimado en este mismo período incrementos de $1.5 \pm 0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ lo que está dentro del rango manejado por el IPCC para ese período. En los cayos del sur de Florida se estima que el nivel del mar ha aumentado 30 cm en los últimos 110 años, resultando un promedio casi 3 mm anuales.

Si para 2100 se estabilizan los gases de efecto invernadero (GEI) en los niveles del escenario A1B (720 ppm), la expansión térmica por sí sola provocaría un aumento de 0,3 a 0,8 m

del nivel del mar en 2100 respecto a 1980–1999 (IPCC 2007a). Otros factores como cambios de corrientes y deshielo podrán agravar este impacto. Para el mar Caribe las predicciones son de un aumento de 0,18-0,59 m para el año 2099 (Cambers et al. 2007). Otros autores como Rahmstorf (2007) aplicando escenarios futuros de cambio climático del IPCC (2010) obtiene que el nivel del mar podría aumentar entre 0,5 a 1,4 m en relación al nivel que tenía en 1990 (IPCC 2007a).

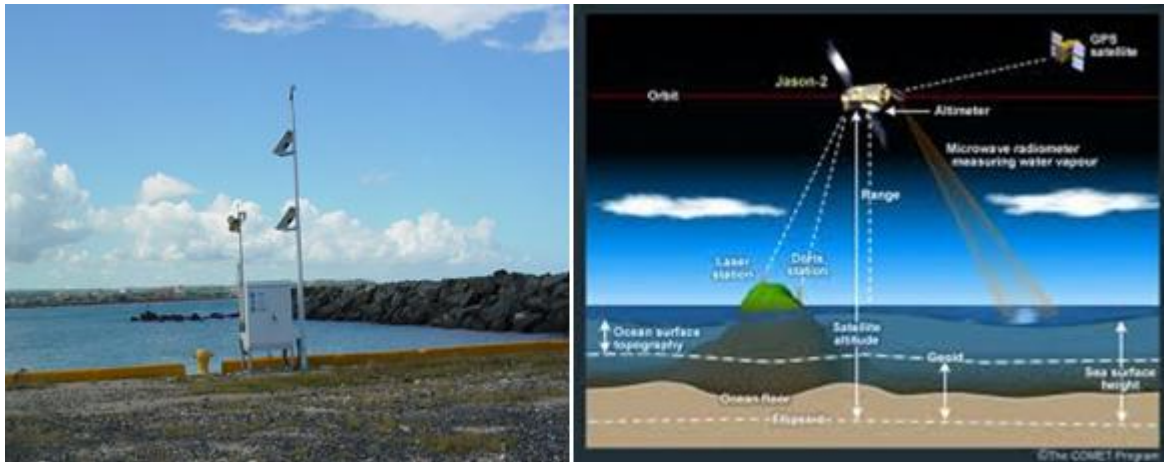


Figura 20. Métodos de medición del nivel del mar: mareógrafo (relativo) y satelital (absoluto)

Se analizaron registros de mareógrafos en 3 puertos del área de estudio, y de mediciones satelitales desde el inicio de su medición en 1992 (Figuras 21, 22, 23).

Es un hecho comprobado que nivel del mar está aumentando en términos absolutos en tres localidades del área de estudio y en términos relativos en dos localidades. En Puerto Cortés aumentó 9.2 mm por año durante el período 1945-1975 (Figura 22) y Puerto Castilla aumentó 3.1 mm por año durante el período 1954-1970 (Figura 21). Esto resulta en casi 30 cm de aumento, similar a los hallados en los cayos del sur de Florida. Los resultados medidos por mareógrafos el Puerto de Santo Tomás en Guatemala (Figura 23) demuestran la tendencia opuesta en el período de 1962 a 1982, pero no así en las mediciones absolutas vía satelital.

En relación al aumento absoluto del mar la Figura 24 muestra los resultados para las estaciones de análisis colocadas frente a tres puertos, dos en Guatemala y uno en Honduras para el período 1992-2010. En todos los casos se presenta una clara tendencia hacia el aumento. Los datos indican un aumento de 8 cm en Puerto Castilla, de 3.4 cm en Puerto Cortés y de 3.5cm en Puerto Santo Tomás.

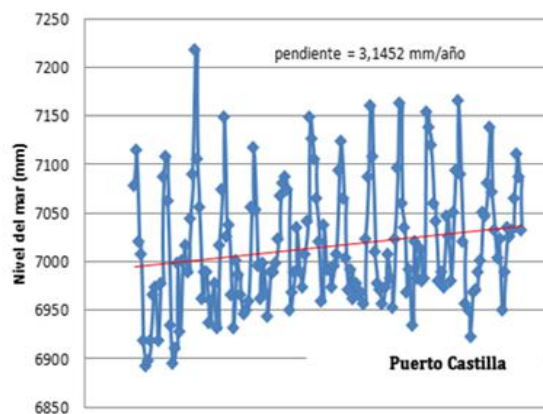


Figura 21. Cambio relativo del nivel del

mar en Puerto Castilla

Figura 22. Cambio relativo del nivel del mar en Puerto Cortés

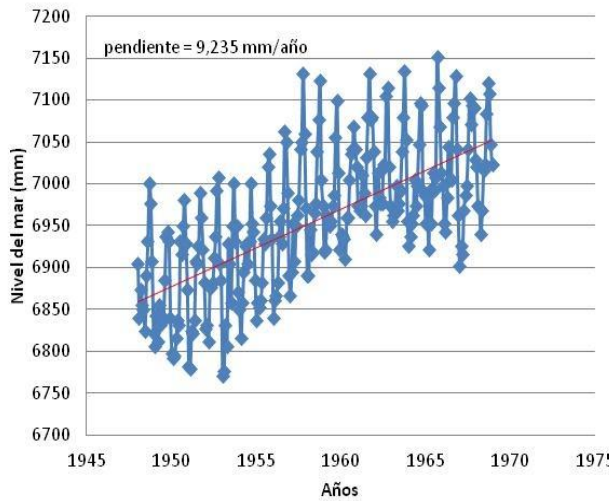


Figura 23. Cambio relativo del nivel del mar en Santo Tomás

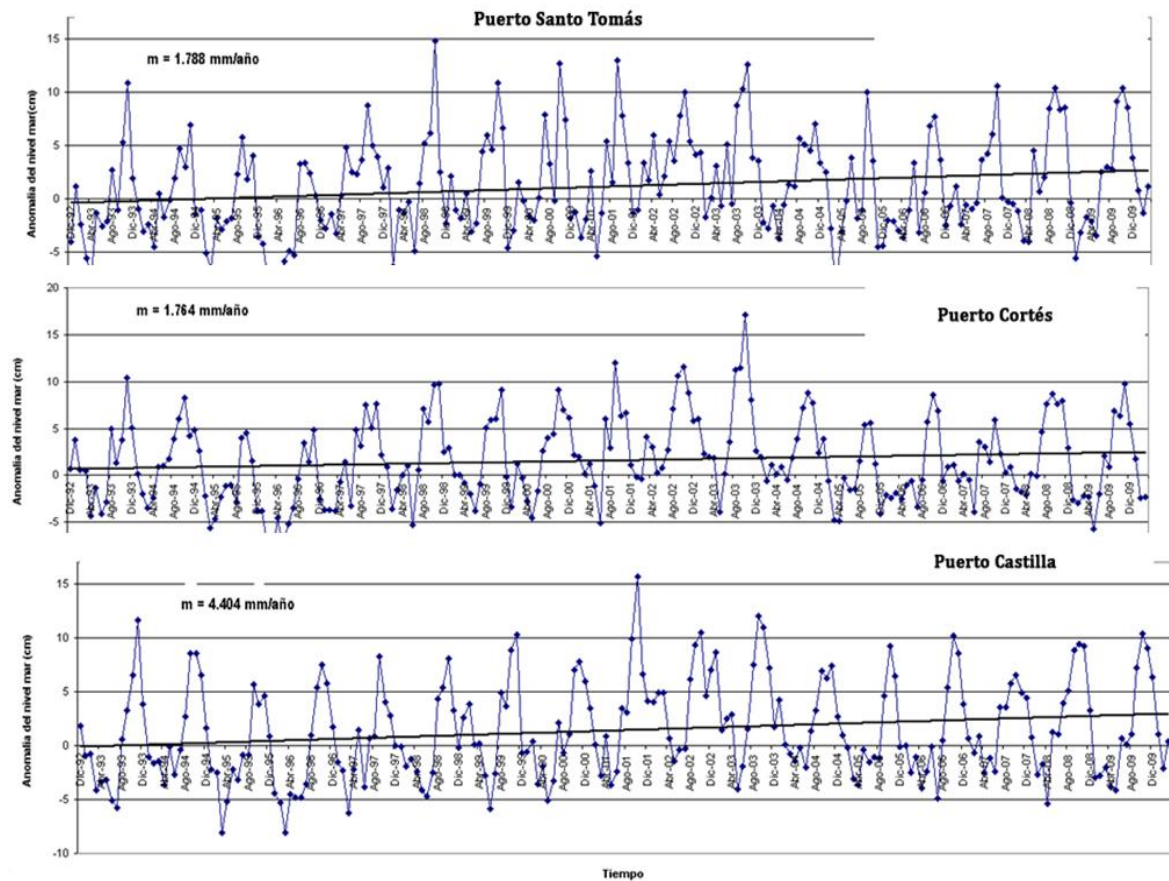
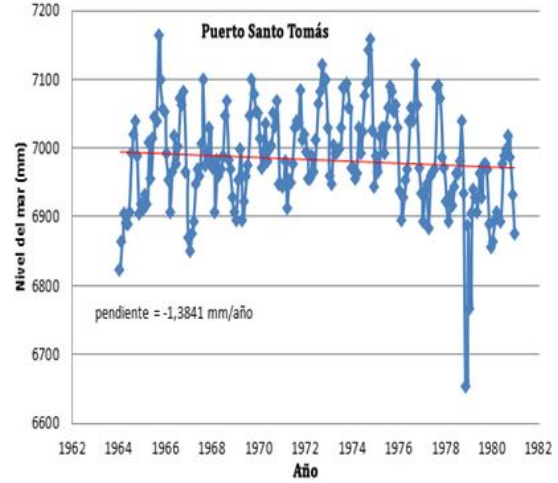


Figura 24. Aumento absoluto del nivel del mar en los Puertos de Santo Tomás (Guatemala), Puerto Cortés y Puerto Castilla (Honduras) para períodos de tiempo entre 1992 y 2009

4.3.1 Exposición

La exposición a los peligros costeros se ve definida por la proximidad a la costa y la topografía. La gran parte del territorio evaluado se encuentra a una altura lo suficientemente alta para evitar la exposición al aumento en el nivel del mar, el único agravante es que la población y la infraestructura se concentra en los primeros kilómetros de costa.

Las áreas de mayor exposición se visualizan en los Distritos de Corozal y Belice, en Belice y en los Municipios de Trujillo y Brus Laguna, en Honduras. No obstante, el Municipio de Livingston en Guatemala y los Municipios de Arizona, Esparta, La Masica, La Ceiba y Jutiapa e Islas de la Bahía, en Honduras presentan áreas importantes de exposición (**Figura 25**).

Cuadro 14. Tabla de calificación de la exposición al aumento del nivel del mar

Elevación sobre el nivel del mar	Calificación	Justificación
< 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 cubiertas con el aumento del nivel de mar previsto para 2090.
1 a 2 m	Alta	Áreas expuestas inundación por tormentas con el actual nivel del mar. Áreas altamente expuestas a inundación y erosión por mareas, lluvias extremas y tormentas de todas las categorías con el aumento del nivel del mar previsto para 2090.
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 previsto para 2090.
4 - 8 m	Baja	Áreas expuestas a eventos extremos categoría 5 con condiciones actuales. Áreas expuestas a inundación por eventos extremos con el aumento del nivel del mar.
8 - 16 m	Muy baja	Áreas no expuestas actualmente y poco expuestas con el aumento del nivel del mar.

Utilizando el modelo de elevación digital a 90 m, se determinaron las áreas que están a 1, 2, 4, 8 y 16 metros sobre el nivel del mar, siguiendo la tabla de calificación, dando como resultado de exposición expresada en el mapa de la Figura 25.

4.3.2 Sensibilidad

La sensibilidad de la región a impactos, está en función de los patrones de desarrollo tales como sitios de uso pesquero, uso agrícola, infraestructura y población y con la altitud sobre el nivel del mar en que se encuentran. La distancia hacia la costa y de las zonas de inundación es una variable que no se consideró en este estudio. Al 2010 la población que vive en los municipios y distritos costeros fue de 237.500 en Belice, 166.200 en Guatemala y 733.600 en Honduras, sumando 1.137.300 habitantes.

Las áreas más desarrolladas y con mayor población son las más sensibles, tales como la ciudad de Belice, Puerto Barrios, Puerto Cortés, La Ceiba, Trujillo (Figura 27). En contraste, con el Municipio de Brus Laguna que está asociada a una exposición significativa, se

consideró que tenía una sensibilidad relativamente baja por el bajo desarrollo que presenta y la baja densidad poblacional.

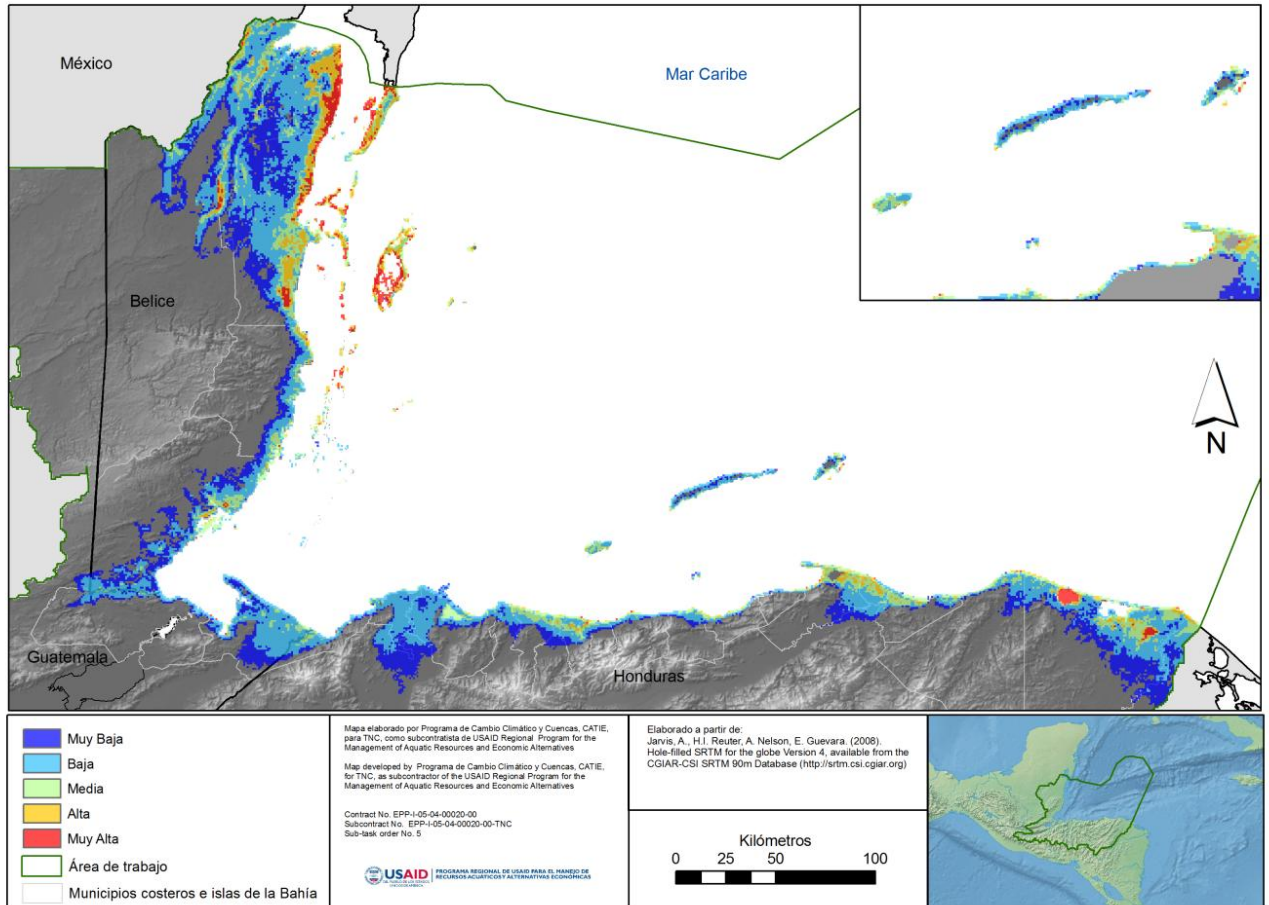


Figura 25. Exposición de la zona costera e Islas de la Bahía ante el aumento del nivel del mar



Figura 26. El impacto del aumento del nivel del mar deriva de la magnitud del aumento así como de la presencia de ecosistemas sensibles e infraestructura en las costas. Se puede observar en La Ceiba, Honduras (izquierda) y en Livingston, Guatemala (derecha) la clara intrusión del nivel del mar en infraestructura local la cual se construyó distante del mar (fotos de L.Corrales y Black Caribbean Nation).

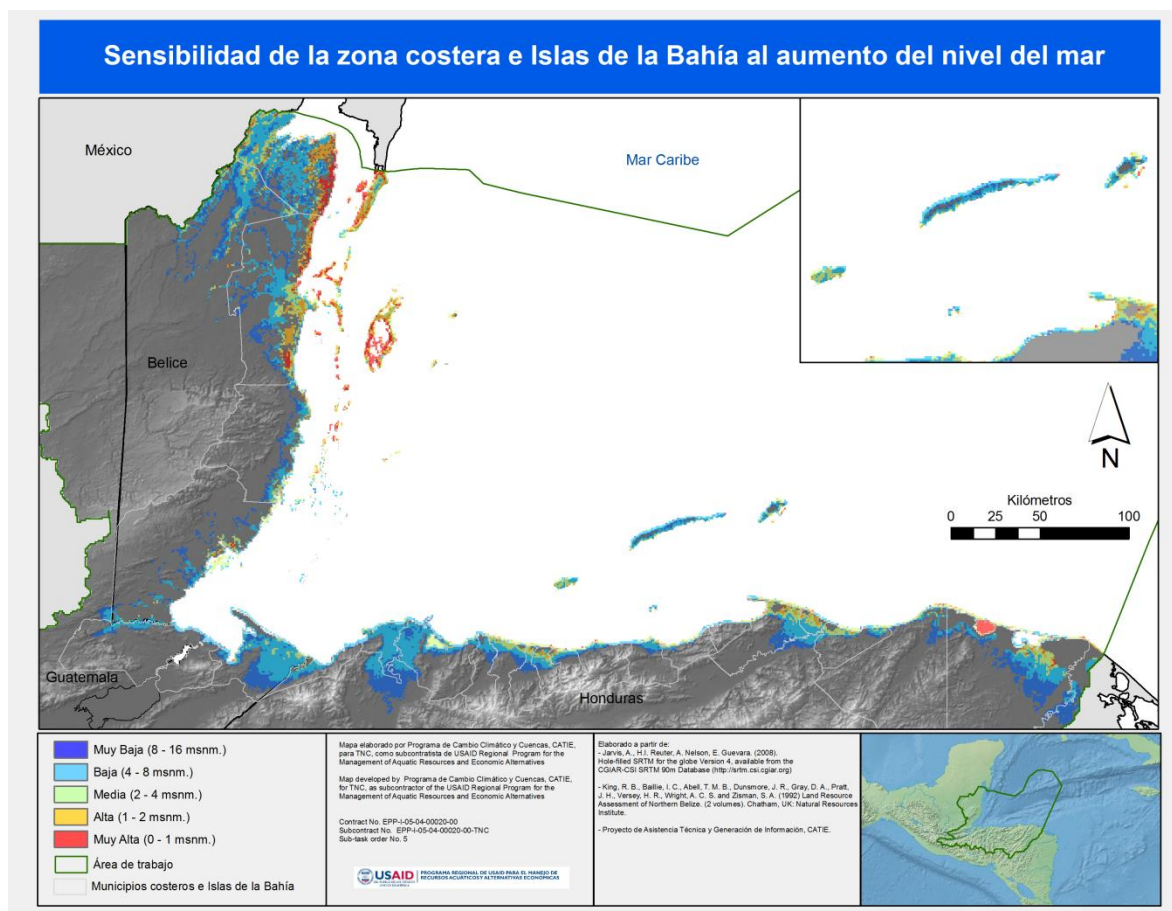


Figura 27. Sensibilidad de la zona costera e Islas de la Bahía ante el aumento del nivel del mar

4.4 Cambios en los patrones de precipitación y en la temperatura del aire

Un análisis de un conjunto de índices de cambio climático realizado en el año 2005 para la región centroamericana y para el período 1961-2003 puso de manifiesto que la región presenta una tendencia general al calentamiento, con mayor ocurrencia de días con extremos máximos cálidos y con un aumento en la temperatura mínima, mientras que los eventos de bajas temperaturas han disminuido.

En relación a los índices de precipitación estos indican que no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación, pero sí se ha observado una intensificación en la misma. Esto indica que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto (Aguilar et al. 2005).

4.4.1 Exposición

Temperatura. El promedio anual de temperatura en el mundo ha aumentado desde 1880 cerca de un grado (0,6°C) (Figura 28). En Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado aproximadamente 1 °C desde 1900 y el aumento de días y noches cálidas se incrementaron 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).

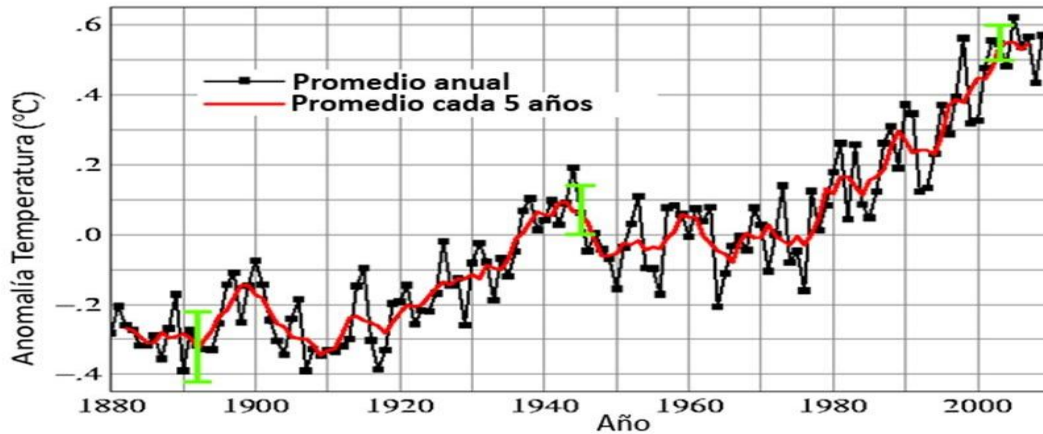


Figura 28. Aumento de la temperatura global de 1880 al 2010

La exposición de la zona de estudio ante el cambio en temperatura del aire según escenarios de emisiones B1 y A2 para el período 2070-2099. La exposición está medida 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, sin embargo, bajo el escenario de emisiones tipo A2 ocurrirían cambios superiores a 3°C con una alta probabilidad de ocurrencia principalmente en los distritos del sur de Belice, en Guatemala y los municipios del oeste de Honduras. Para el resto de la región corresponden valores de probabilidad media, lo que podría provocar impactos importantes sobre hábitats costeros como lagunas y manglares debido al aumento en la temperatura superficial. También se verán afectados los sitios de anidación de tortugas al incrementarse la temperatura de la playa, tal como se presenta en el cuadro 2 de hipótesis, página 17.

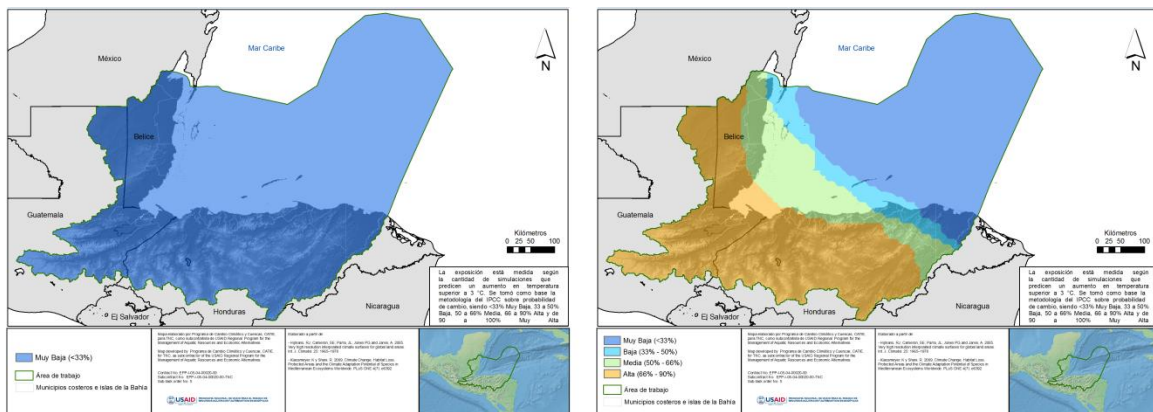


Figura 29. Exposición de la zona de estudio ante el cambio en temperatura del aire según escenarios de emisiones B1 (izquierda) y A2 (derecha) para el período 2070-2099

Precipitación. En la **Figura 30** se muestra la exposición de la zona de estudio ante el cambio en precipitación según escenarios de emisiones B1 y A2 para el período 2070-2099. La exposición esta 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.

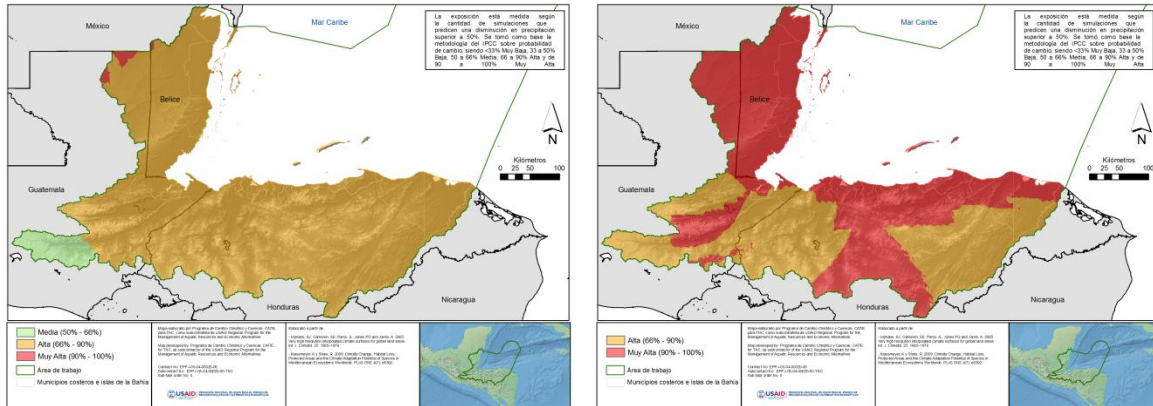


Figura 30. Exposición de la zona de estudio ante el cambio en precipitación para el período 2070-2099, según escenarios de emisiones B1 (izquierda) y A2 (derecha)

4.4.2 Sensibilidad

La agricultura es el sector más importante que es sensible al aumento de temperatura y disminución de las precipitaciones. Las proyecciones que utilizan el escenario A2 muestran que la mayoría de las áreas agrícolas se verán muy afectadas.

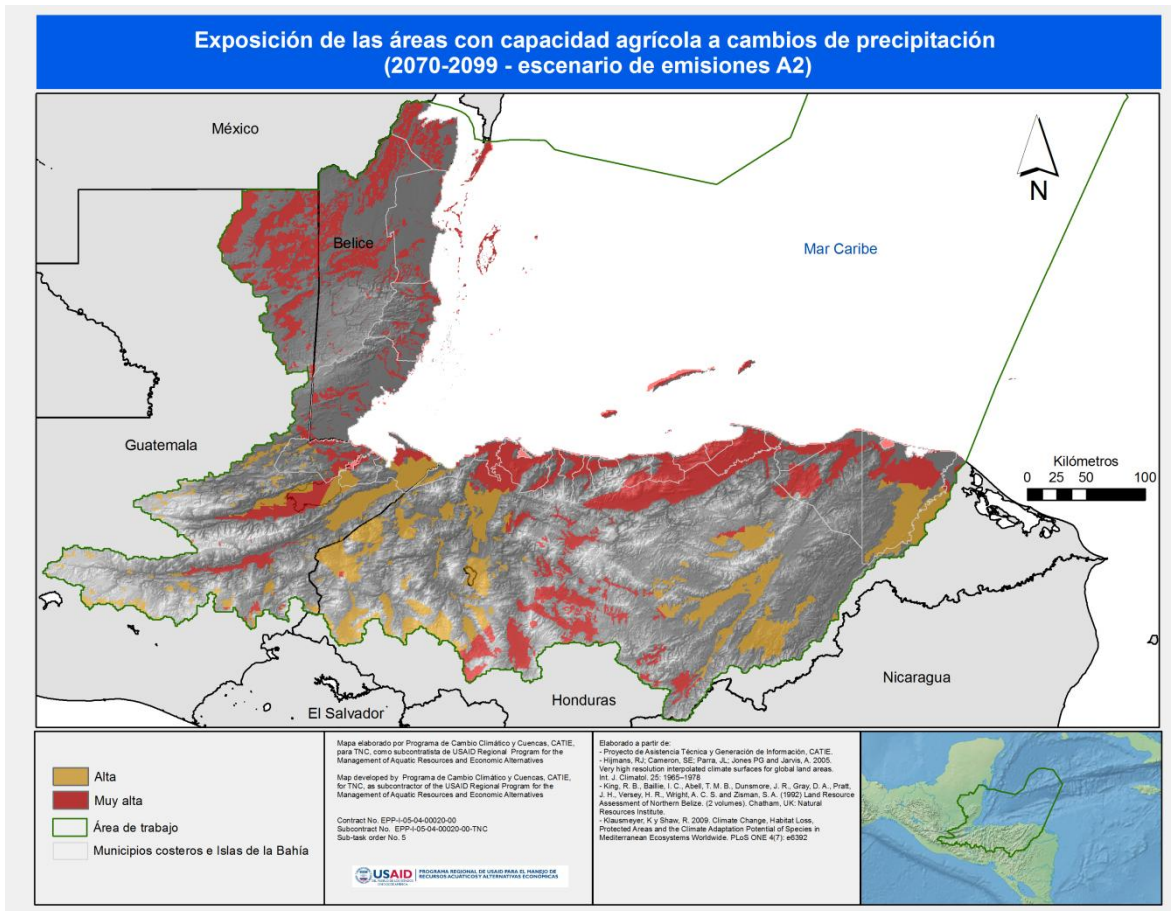


Figura 31: Mapa de las áreas con potencial agrícola afectadas por disminución de precipitación según el escenario A2 (siguiente pagina).

La sensibilidad de la vegetación natural a los cambios en la temperatura y las precipitaciones se evaluó mediante la evaluación de probables cambios en las zonas de vida de Holdridge. Holdridge combinó temperatura, humedad, altitud y latitud para determinar las zonas de vida, por lo tanto al proyectar los cambios en temperatura y humedad se pueden proyectar cambios en las zonas de vida. Cada zona de vida está compuesta por una combinación particular de las especies, por lo que un cambio de zona de vida a otra causada por cambios en la temperatura y la humedad va a cambiar la composición de dichas especies.

Los mapas siguientes (figura 31) muestran los cambios probables obtenidos mediante los escenarios B1 y A2 para el periodo 2090-2099. De acuerdo con los resultados la mayor parte de las actuales zonas de vida va a cambiar, y los más grandes cambios ocurrirán en las elevaciones más altas (por encima de 2.000 msnm).

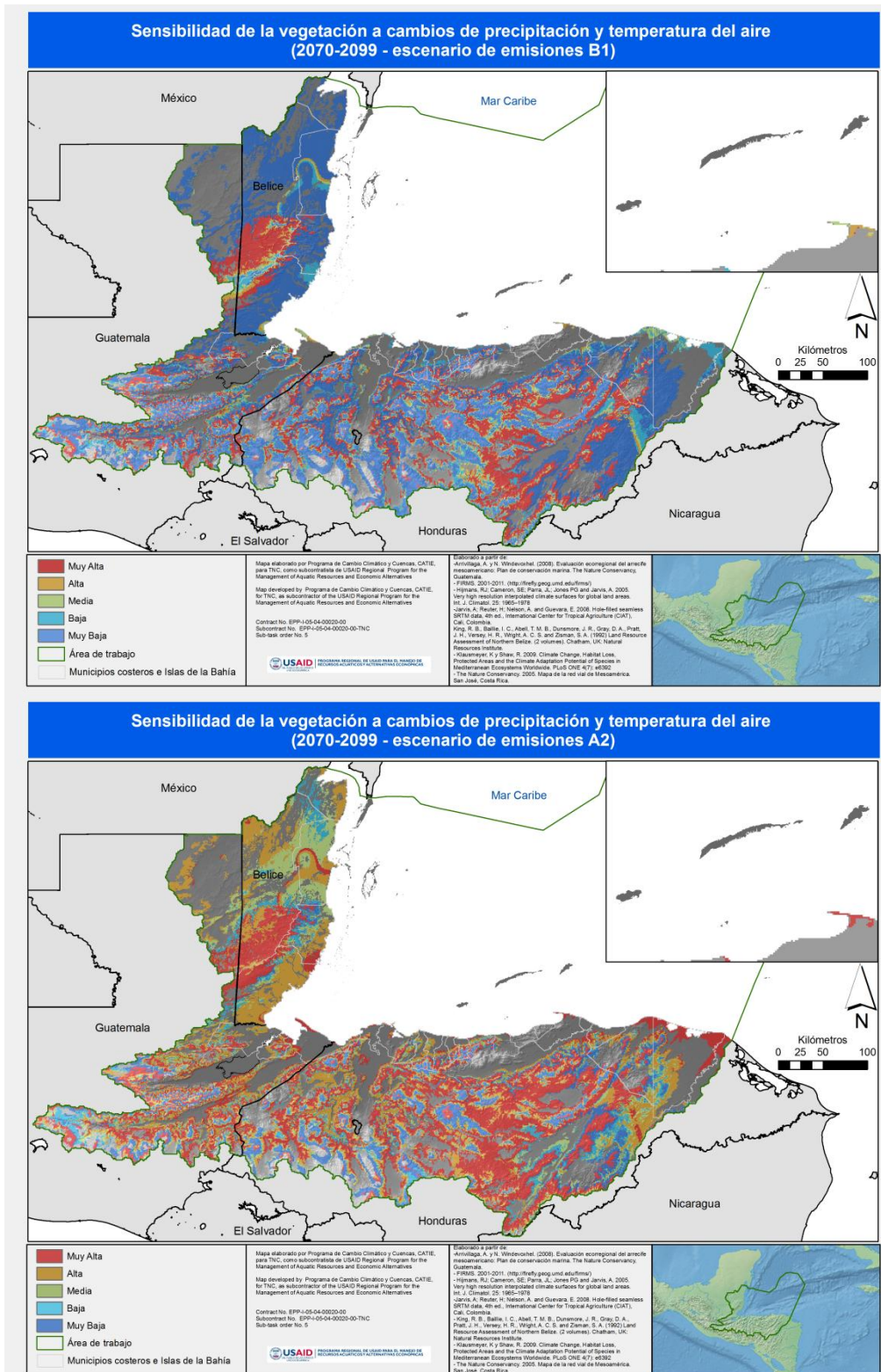


Figura 32. Sensibilidad de la vegetación de la zona de estudio a los cambios de precipitación y temperatura para el período 2070-2099, según escenarios de emisiones B1 (arriba) y A2 (abajo)

5 Vulnerabilidad ante el Cambio Climático

5.1 Resultados del análisis de capacidad adaptativa

La capacidad de adaptación de los distritos y municipios costeros de la región en estudio muestran valores que van de, medios a bajos, siendo los municipios de Livingston en Guatemala y Balfate, Jutiapa y Limón en Honduras los que presentan la mayor capacidad para hacer frente a su exposición y la sensibilidad a los peligros costeros. Sin embargo, esta capacidad se reduce en el Distrito de Belice con una población importante, así como en el Municipio de Puerto Cortes, La Ceiba, Trujillo e Islas de la Bahía en Honduras lo que sugiere que la gestión de la zona costera puede ser un desafío particular.

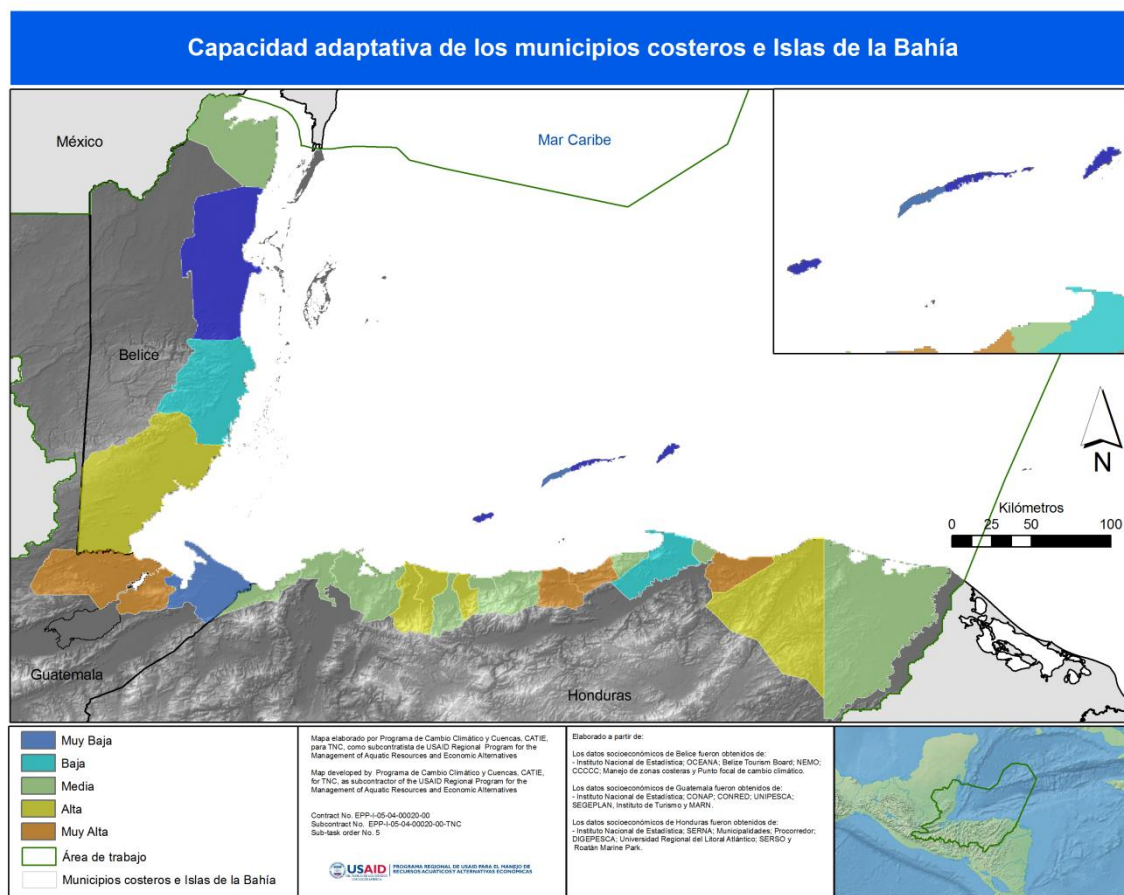


Figura 33. Capacidad adaptativa de los municipios costeros e Islas de la Bahía

5.2 Vulnerabilidad ante el impacto potencial del aumento del nivel del mar

Cuando se combinan los diferentes indicadores se encuentra que la vulnerabilidad de la región al aumento del nivel del mar se concentra en los distritos del norte de Belice y en los municipios del centro de Honduras con mayor densidad de población (figura 34). Esta alta vulnerabilidad es función de múltiples desafíos como la topografía, el desarrollo de infraestructura y la baja capacidad de adaptación expresada por sus indicadores sociales. Como consecuencia podríamos concluir que todos los distritos y municipios costeros necesitan

desarrollar estrategias de adaptación a nivel del gobierno local en asociación con las otras instancias gubernamentales responsables de levantar los indicadores de desarrollo social.

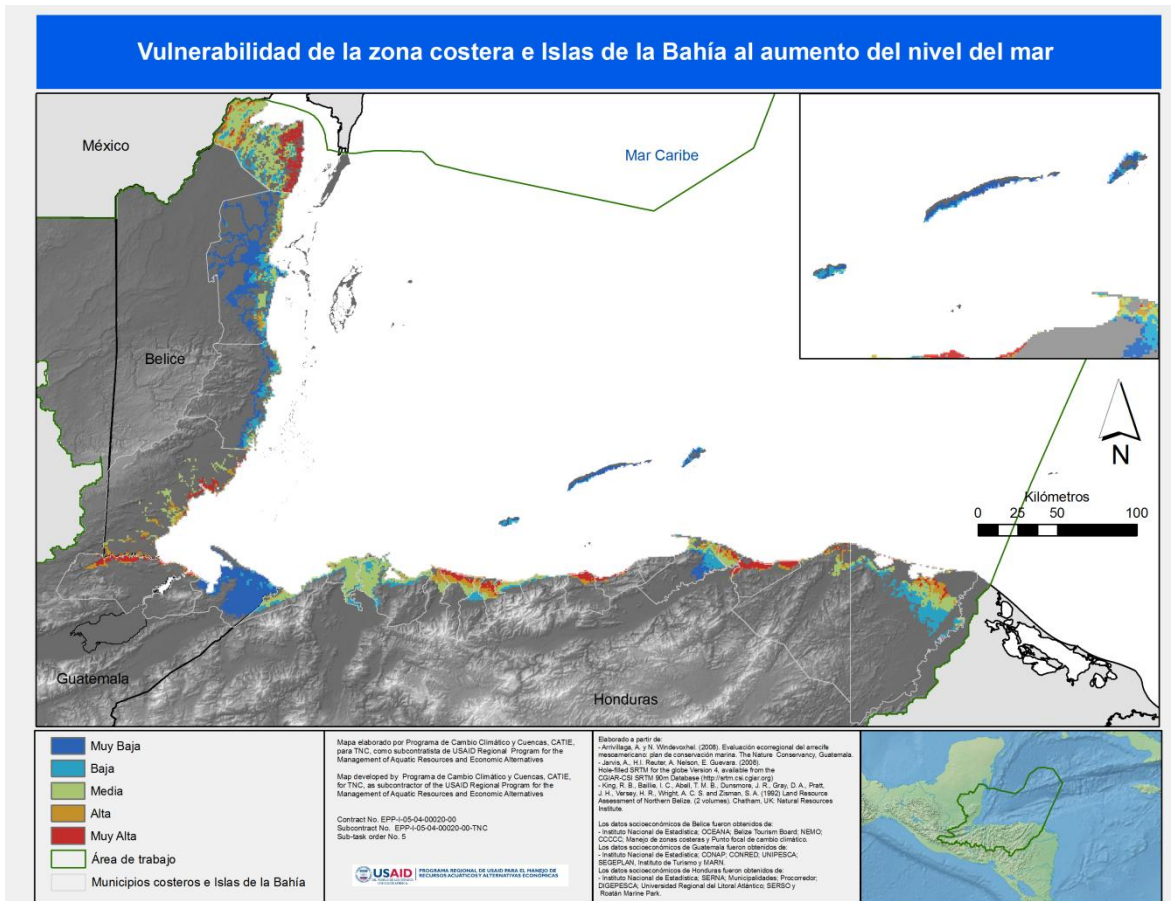


Figura 34. Vulnerabilidad actual de la zona costera e Islas de la Bahía al aumento del nivel del mar

5.3 Vulnerabilidad ante el impacto potencial del aumento de temperatura y disminución de la precipitación

Al combinar los cambios probables en la vegetación, los hábitats costeros (lagunas costeras, manglares, playas anidamiento tortugas marinas), áreas de pesca en lagunas costeras, áreas de uso agrícola y densidad de población que podrían sufrir algún tipo de impacto con cambios en la temperatura y precipitación en el futuro junto con la capacidad adaptativa a nivel de municipio obtenemos la vulnerabilidad para la región.

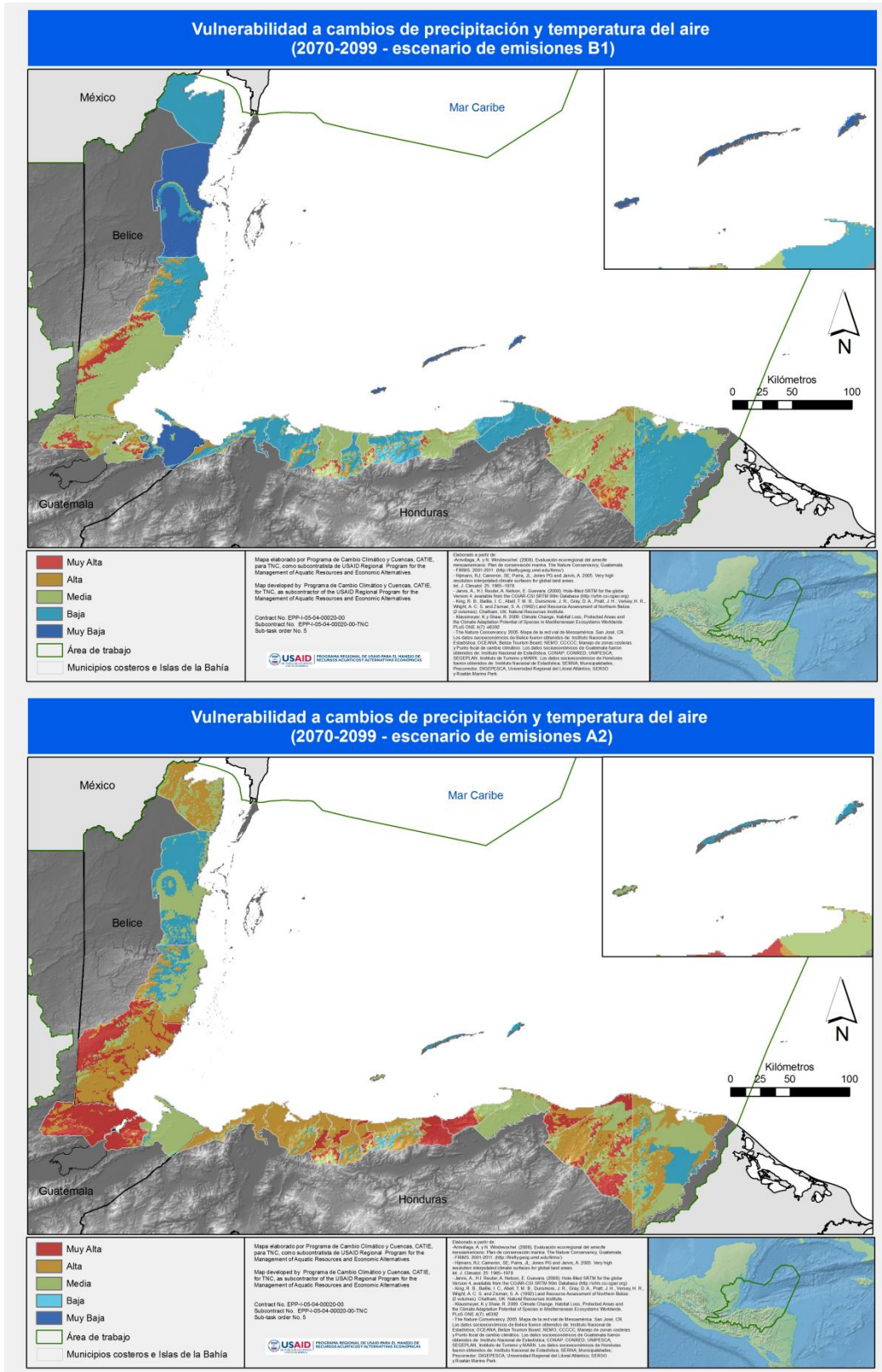


Figura 35. Vulnerabilidad ante los cambios en precipitación y temperatura del aire para el período 2070-2099 según escenarios de emisiones A2 (abajo) y B1 (arriba).

En la figura 35 se observa que los mayores valores de vulnerabilidad a cambios en la temperatura y precipitación lo presentan los municipios costeros de Honduras probablemente debido a que es una región con una diversidad más alta de tipos de zonas de vida y con mayores densidades de población en la porción costera de sus municipios.

5.4 Vulnerabilidad integrada ante los efectos del cambio climático

Las capas de datos de vulnerabilidad ante el aumento del nivel del mar y de los cambios en temperatura y precipitación fueron combinadas para medir la vulnerabilidad integrada al cambio climático. La combinación de diversas capas de vulnerabilidad refleja en gran medida los patrones de desarrollo de la región, sobresaliendo los centros poblados (mayor sensibilidad) y las áreas de poco desarrollo (menor capacidad adaptativa). Se debe dar especial atención a los modelos de desarrollo que actualmente prevalecen en la costa ya que son determinantes de los indicadores sociales que afectan el nivel de capacidad adaptativa.

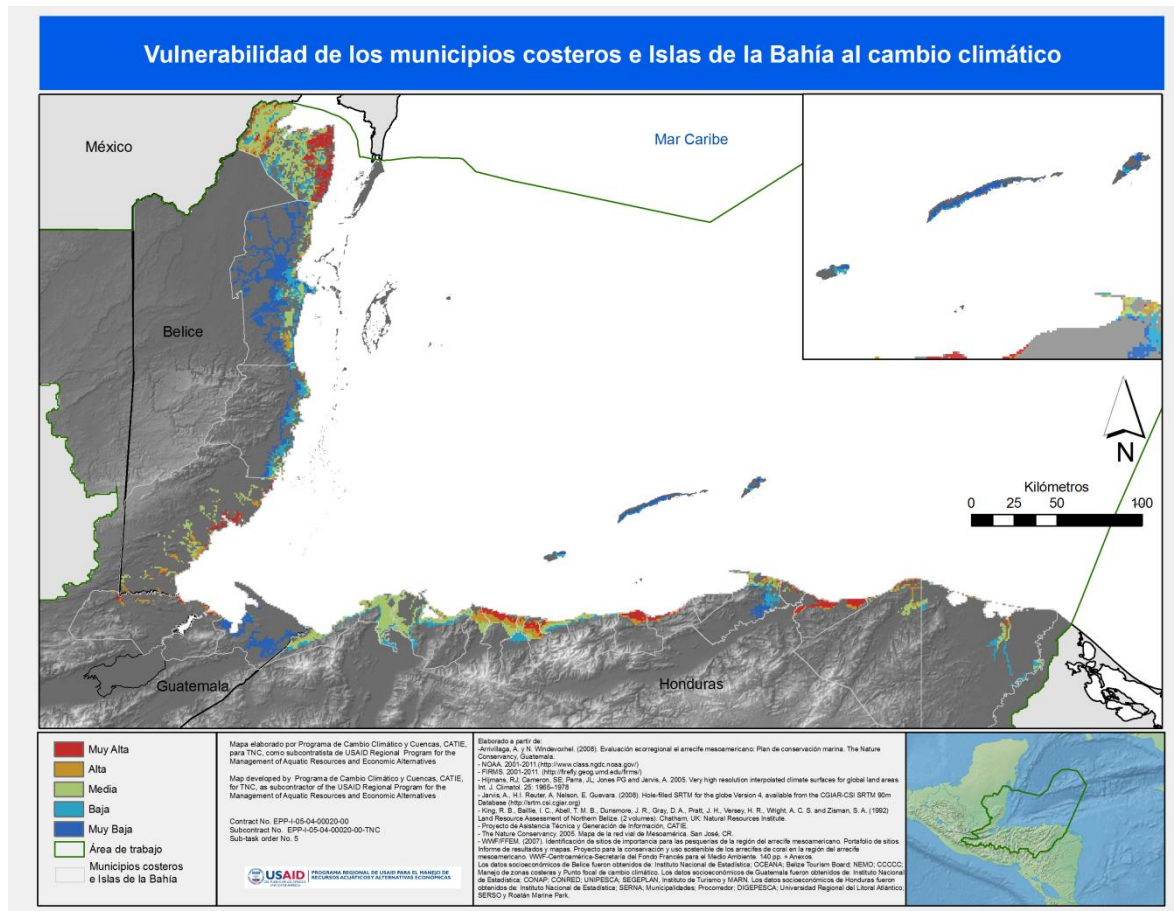


Figura 36: Vulnerabilidad actual ante cambio climático.

6 Conclusiones

Esta evaluación de vulnerabilidad deber ser interpretada dentro del contexto de los modelos, escenarios y la información disponibles al momento del análisis, de los supuestos e hipótesis utilizadas. Del análisis podemos obtener las siguientes conclusiones:

1. Vulnerabilidad al cambio climático varía de manera significativa a través del Caribe, determinada por las diferencias en la exposición, por la presencia de los objetos sensibles de coordinación y por la capacidad adaptativa de las comunidades. Como ejemplo, el norte de Belice y la Mosquitia hondureña tienen una exposición similar (tierras muy bajas y huracanes intensos), pero el norte de Belice es más vulnerable porque tiene más habitantes, más agricultura y más infraestructura.
2. El conocimiento adquirido a través de la elaboración de este análisis de la vulnerabilidad puede ser tan, si no es más útil, que los resultados del análisis en sí para las futuras evaluaciones.
3. La mayoría de los distritos y municipios presentan algunas zonas de vulnerabilidad crítica que se deben utilizar como punto de partida para iniciar las actividades de adaptación.
4. Las mejoras en aspectos sociales y económicos constituye el enfoque más efectivo para reducir la vulnerabilidad al cambio climático, y el enfoque de los gobiernos durante las próximas décadas. La exposición actual de la infraestructura o las poblaciones solo puede ser reducida a un costo elevado. Sin embargo el evitar que la expansión futura sea construida en zonas expuestas y se hagan en forma sensible, es fácilmente evitable. De igual forma se puede evitar continuar deteriorando los sistemas naturales de protección como manglares y arrecifes.
5. Las áreas identificadas con mayores impactos están estrechamente relacionados con el desarrollo humano; en consecuencia las medidas de adaptación deben comenzar con los cambios en los patrones de desarrollo

7 Referencias

Adger W, Brooks N, Bentham G, Agnew M, Eriksen S. 2004. *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Tyndall Centre for Climate Change Research. 128 p.

Aguilar E, Peterson TC, Ramírez Obando P, Frutos R, Retana JA, Solera M, Soley J, González García I, Araujo RM, Rosa Santos A, Valle VE, Brunet M, Aguilar L, Álvarez L, Bautista M, Castañon C, Herrera L, Ruano E, Sinay JJ, Sánchez E, Hernández Oviedo GI, Obed F, Salgado JE, Vázquez JL, Baca M, Gutiérrez M, Centella C, Espinosa J, Martínez D, Olmedo B, Ojeda Espinoza CE, Nuñez R, Haylock M, Benavides H, Mayorga R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003, *J. Geophys. Res.*,

Allen Consulting. 2005. *Climate Change Risk and Vulnerability*. Australian Greenhouse Office, Department of Environment and Water Resources, Canberra, Australia.

Arrivillaga A, Windevoxhel N. 2008. *Evaluación Ecorregional del Arrecife Mesoamericano: Plan de Conservación Marina*. The Nature Conservancy, Guatemala. 30 p. + Anexos

Arrivillaga A. 2009. Rapid Reef Assessment for Identifying of Resilience in the Mesoamerican Reef. Not published.

Brooks N, Adger N, Kelly M. 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15: 151-163.

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.

CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo). 2010. *Estrategia Regional de Cambio climático*-Documento ejecutivo. San Salvador, El Salvador. 95 p.

CRRH. 1996. Análisis de la vulnerabilidad de la zona costera ante el ascenso del nivel del mar por un cambio climático global. Costa del Pacífico de Costa Rica. Informe Final. Proyecto Centroamericano sobre Cambio climático. Comité Regional de Recursos Hidráulicos.

Domingues C, Church J, White N, Gleckler P, Wijffels S, Barker P, Dunn J. 2007. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature* 453, 1090-1093.

Donner, S. 2009. Coping with commitment: Projected thermal stress on coral reefs under different future scenarios. *PLoS ONE* 4 (6): e5712. doi:10.1371/journal.pone.0005712

Feenstra JF, Burton I, Smith JB, Tol Richard SJ. 1998. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. United Nations Environment Programme UNEP, Institute for Environmental Studies. Nairobi. Kenia. 464 p.

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

Harley C, Hughes R, Hultgren K, Miner B, Sorte C, Thornber C, Rodriguez L, Tomanek L, Williams S. 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters* 9: 228–241.

Herr D, Galland GR. 2009. *The Ocean and Climate Change. Tools and Guidelines for Action*. IUCN, Gland, Switzerland. 72pp.

Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

IPCC (International Panel on Climate Change) (2001). *Climate Change 2001: Impacts and Adaptation*. Contribution of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA 1000 pp.

IPCC (2005). *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*. Preparado por el Grupo III del IPCC. Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, L.A. Meyer (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, RU. Disponible en www.ipcc.ch

IPCC. (2007a). *Cambio climático 2007 – Base de Ciencia Física*. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio climático 2007. Cambridge University Press. London-UK. 164 pp.

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. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Kokot RR, Codignotto JO, Elisondo M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Asociación Geológica Argentina Rev*, 59, 477-487.

Nicholls RJ, Wong PP, Burkett VR, Codignotto JO, Hay JE, McLean RF, Ragoonaden S, Woodroffe CD. 2007 *Coastal systems and low-lying areas*. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.

Nicholls R. 2010. Chapter 2. Impacts of and Responses to Sea-Level Rise. In *Understanding sea-level rise and variability*, eds. Church J, Woodworth P, Aarup T, Wilson W. Blackwell Publishing. Oxford, UK. Pages 17-51

NOAA Coral Reef Watch. 2011. *NOAA Coral Reef Watch 5-km Satellite Virtual Station Time Series Data for Caribbean*, Jan. 1, 2001-March. 31, 2011. Silver Spring, Maryland, USA: NOAA Coral Reef Watch. Data set accessed 2011-04-1 at <http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/vs/index.html>

Orr JC, Caldeira K, Fabry V, Gattuso J-P, Haugan P, Lehodey P, Pantoja S, Pörtner H-O, Riebesell U, Trull T, Hood M, Urban E, Broadgate W. 2009. *Research Priorities for Ocean Acidification, report from the Second Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World*, Monaco, October 6-9, 2008, convened by SCOR, UNESCO-IOC, IAEA, and IGBP, 25 pp., (available at <http://ioc3.unesco.org/oanet/HighCO2World.html>).

Preston BL, Smith T, Brooke C, Goddard R, Measham T, Withycombe G, McInnes K, Abbs D, Beveridge B, Morrison C. 2008. *Mapping Climate Change Vulnerability in the Sydney Coastal Councils Group*. Prepared for the Sydney Coastal Council Group and the Australian Government DEpartment of Climate Change by the CSIRO Climate Adaptation Flagship, Canberra.

Rahmstorf S. 2007. A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. *Science* 315 (5810): 368 - 370

Simpson MC, Gossling S, Scott D, Hall CMN, Gladin. 2008. *Climate Change Adaptation and Mitigation in the tourism sector: Frameworks, tools and practices*. UNEP, University of Oxford, UNXTO. París. FR. 152 p.

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.

Smit B, Wandel J. 2006. Adaptation, adaptative capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292

TNC. 2009. Conservation Action Planning Guidelines for Developing Strategies in the Face of Climate Change. Conservation Science, The Nature Conservancy. October 2009.

UICN. 2003. El Cambio climático y los humedales en Centroamérica: implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. San José. C.R. 40 p

USAID, URI-CRC, IRG. 2009. *Adapting to Coastal Climate Change. A Guidebook for Development Planners*. United States Agency for International Development (USAID), Coastal Resources Center at the University of Rhode Island (URI-CRC), International Resources Group (IRG). Washington, DC, USA. 148 p.

Wall E, Marzall K. 2006. Adaptive Capacity for Climate Change in Canadian Rural Communities. *Local Environment* 11 (4): 373-397.

World Resources Institute. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. (1a. Ed.). Washington, DC: Burke L., Reyntar K., Spalding M., Perry A.

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

WWF. 2010. Medios de vida, bienestar comunitario y conservación de especies. Una guía para entender, evaluar y mejorar los vínculos en el contexto de los programas de tortugas marinas. Fondo Mundial de la Vida Silvestre. Suiza. 85 p.

Zamora Pereira J. 2011. Implicaciones del cambio climático para el almacenamiento de carbono y la riqueza de especies en bosques naturales en Costa Rica. Tesis Grado de Maestría. CATIE-Turrialba.

ANEXOS

Anexo A: Resultados de Vulnerabilidad por Municipio

7.1 Belice

El cuadro A-1 muestra los valores de vulnerabilidad actual ante el cambio climático de los Distritos de Belice, observándose que la mayor parte del territorio de los Distritos está bajo una condición de vulnerabilidad de media a alta y que el Distrito de Corozal y Toledo presenta un índice de vulnerabilidad de 1 lo que representa que el 100% del territorio está en condición de vulnerabilidad alta.

Cuadro A-1. Índice de vulnerabilidad actual de los Distritos de Belice al cambio climático.

Distrito	Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
Corozal	-	-	1.00
Toledo	-	-	1.00
Stann Creek	-	0.77	0.23
Belice	0.17	0.67	0.16

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.

7.2 Guatemala

Los valores de vulnerabilidad en los Municipios de Guatemala se sitúan en valores de bajo y medio con una porción pequeña de vulnerabilidad alta principalmente lo asociado a porciones costeras altamente influenciadas por el aumento en el nivel del mar (Cuadro A-2).

Cuadro A-2. Índice de vulnerabilidad actual de los Municipios de Guatemala al cambio climático

Municipio	Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
Livingston	-	0.78	0.22
Puerto Barrios	0.81	0.17	0.02

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.

7.3 Honduras

El cuadro A-3 muestra el índice de vulnerabilidad actual resultado del análisis para cada municipio indicando que, la mayoría de los municipios presenta valores de medio a alto. De los 21 municipios analizados, 8 presentan valores superiores de vulnerabilidad a 0.7, esto no significa que en los otros municipios el nivel de vulnerabilidad media no sea importante sino que en estos 8 municipios es donde se concentra una densidad de población mayor con un nivel socioeconómico menor.

Cuadro A-3. Índice de vulnerabilidad actual de los municipios de Honduras al cambio climático.

Municipio	Vulnerabilidad			
	Muy baja	Baja	Media	Alta
Balfate	-	-	-	1.00
Jutiapa	-	-	-	1.00
Arizona	-	-	0.01	0.99
Esparta	-	-	0.01	0.99
Santa Fe	-	-	0.01	0.99
Omoa	-	0.01	0.01	0.98
Puerto Cortes	-	-	0.23	0.77
Roatán	-	-	0.32	0.68
San Francisco	-	-	0.55	0.45
José Santos Guardiola	-	0.17	0.42	0.41
Tela	-	-	0.60	0.40
Utila	-	-	0.62	0.38
Trujillo	-	-	0.64	0.35
El Porvenir	-	0.01	0.69	0.30
Guanaja	-	0.35	0.40	0.25
La Masica	-	0.00	0.81	0.19
Santa Rosa de Aguan	-	0.71	0.19	0.10
La Ceiba	-	0.89	0.01	0.10
Limon	-	0.70	0.24	0.06
Iriona	-	0.98	0.02	0.00
Brus Laguna	0.68	0.31	0.01	0.00

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.

Anexo B: Resultados de Vulnerabilidad y Sensibilidad por Área Protegida

Los cuadros B-1, B-3 y B-5 muestran los índices de vulnerabilidad actual para los sistemas terrestres de las áreas protegidas en los tres países encontrándose que la mayoría de áreas protegidas presentan índices de vulnerabilidad de media a alta.

Los cuadros B-2, B-5 y 24 muestran los índices de sensibilidad actual para los hábitats marinos de las áreas protegidas en los tres países encontrándose que la mayoría de áreas protegidas presentan índices de sensibilidad de bajo a medio.

Cuadro B-1. Índice de vulnerabilidad actual al cambio climático de áreas protegidas terrestres de Belice

Área Protegida	Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
Bird Caye	-	-	1.00
Block 127	-	-	1.00
Cerros Maya	-	-	1.00
Corozal Bay	-	-	1.00
Deep River	-	-	1.00
Gragra Lagoon	-	-	1.00
Monkey Caye	-	-	1.00
Payne's Creek	-	-	1.00
Port Honduras	-	-	1.00
Shipstern Nature Reserve	-	-	1.00
Honey Camp	-	-	1.00
Fresh Water Creek	-	-	1.00
Sarstoon-Temash	-	-	1.00
Gales Point	-	0.01	0.99
Burdon Canal	-	0.03	0.97
Grants Works	-	0.41	0.59
Mango Creek (4)	-	0.53	0.47
Cockscomb Basin	-	0.72	0.28
Mango Creek (1)	-	0.98	0.02
Manatee	0.53	0.45	0.02
Mayflower Bocawina	-	1.00	-

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio terrestre o marino del área protegida sometido a cada nivel de vulnerabilidad.

Cuadro B-2. Índice de sensibilidad actual de áreas protegidas (hábitat marinos) de Belice

Área Protegida	Sensibilidad			
	Muy baja	Baja	Media	Alta
Monkey Caye	-	-	1.0	-
Seal Caye	-	-	1.0	-
Laughing Bird Caye	-	-	1.0	-
Block 127	-	0.1	0.9	-
Sapodilla Cayes	-	0.3	0.7	-
Payne's Creek	-	0.5	0.5	-
Nicholas Caye	-	0.7	0.3	-
Rise and Fall Bank	-	0.9	0.1	-
Port Honduras	-	0.9	0.1	-
Bacalar Chico	0.1	0.8	0.1	-
Gladden Spit and Silk Cayes	0.1	0.9	0.1	-
Santuario del Manati	0.1	0.8	-	-
Silk Cayes	-	1.0	-	-
Blue Hole	-	1.0	-	-
Caye Caulker	1.0	-	-	-
Corozal Bay	0.4	0.6	-	-
Dog Flea	-	1.0	-	-
Emily or Caye Glory	-	1.0	-	-
Gladden Spit	-	1.0	-	-
Glovers Reef	0.6	0.4	-	-
Grants Works	0.1	0.9	-	-
Guanaja	1.0	-	-	-
Hol Chan	1.0	-	-	-
Little Guana Caye	1.0	-	-	-
Los Salones	1.0	-	-	-
Northern Glovers Reef	1.0	-	-	-
Rocky Point	-	1.0	-	-
Sandbore	-	1.0	-	-
Sarstoon-Temash	-	-	-	1.0
Shipstern Nature Reserve	-	1.0	-	-
South Point Lighthouse	1.0	-	-	-
South Point Turneffe	1.0	-	-	-
South Water Caye	0.7	0.3	-	-
Swallow Caye	1.0	0.0	-	-

Nota: El rango del valor del índice varía de 0-1 y representa el porcentaje de territorio marino del área protegida sometido a cada nivel de sensibilidad.

Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras

Cuadro B-3. Índice de vulnerabilidad actual de áreas protegidas (sistema terrestre) de Honduras.

Área Protegida	Vulnerabilidad			
	Muy baja	Baja	Media	Alta
Barras de Cuero y Salado	-	-	-	1.00
Cayos cochinos	-	-	-	1.00
Sandy Bay y West End	-	-	-	1.00
Swasey-Bladen	-	-	-	1.00
Punta Izopo	-	-	0.07	0.93
Punta Sal (Jeanet Kawas)	-	-	0.07	0.93
Río Dulce	-	-	0.10	0.90
El Higuero	-	-	0.47	0.53
Nombre de Dios	-	0.52	-	0.48
Islas de la Bahía	-	-	0.60	0.40
Islas de la Bahía 12 millas	-	-	0.68	0.32
Turtle Harbour	-	-	0.83	0.17
Port Royal	-	0.69	0.17	0.13
Guanaja	-	0.62	0.32	0.06
Santa Elena	-	-	0.96	0.04
Río Platano	0.48	0.52	0.01	-
Barbareta	-	-	1.00	-
Utila	-	-	1.00	-

Cuadro B-4. Índice de sensibilidad actual de áreas protegidas (hábitats marinos) de Honduras.

Área Protegida	Sensibilidad			
	Muy baja	Baja	Media	Alta
Islas de la Bahía	0.7	.3	-	-
Barbareta	1.0	-	-	-
Barras de Cuero y Salado	0.8	0.2	-	-
Cayos Cochinos	0.7	0.3	-	-
Halfmoon Caye	0.9	0.1	-	-
Nombre de Dios	1.0	-	-	-
Port Royal	1.0	-	-	-
Punta Izopo	0.2	0.8	-	-
Punta Sal (Jeanet Kawas)	-	1.0	-	-
Río Platano	0.7	0.3	-	-
Sandy Bay y West End	0.6	0.4	-	-
Santa Elena	1.0	-	-	-
Turtle Harbour	-	1.0	-	-
Utila	0.8	0.2	-	-

Cuadro B-5. Índice de vulnerabilidad actual de los sistemas terrestre y de sensibilidad de los hábitats marinos de las áreas protegidas de Guatemala.

Área Protegida	Vulnerabilidad de hábitats terrestres			Sensibilidad de hábitats marinos		
	Baja	Media	Baja	Media	Alta	Alta
Barras del Rio Motagua	0.01	0.01	0.3	0.3	0.3	0.98
Bahía de Santo Tomas	-	0.20	0.8	0.1	0.1	0.80
Chocón Machacas	-	0.23	1.0	-	-	0.77
Rio Sarstún	-	0.57	1.0	-	-	0.43
Punta de Manabique	0.83	0.15	-	-	-	0.03
Cerro San Gil	0.24	0.74	0.2	-	-	-

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

