USAID DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA | PROGRAMA REGIONAL DE USAID PARA EL MANEJO DE RECURSOS ACUÁTICOS Y ALTERNATIVAS ECONÓMICAS

USAID REGIONAL PROGRAM FOR THE MANAGEMENT OF AQUATIC RESOURCES AND ECONOMIC ALTERNATIVES

DELIVERABLE 3.1: MODELOS DE IMPACTO DEL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR POR CAMBIO CLIMATICO Y MAREA DE TORMENTA, MODELO DE IMPACTO DE VIENTOS Y OLAS EN LAS ISLAS DE LA BAHIA

Octubre, 2013

This publication was produced for review by the United States Agency for International Development. It was prepared by The Nature Conservancy (TNC).

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

USAID REGIONAL PROGRAM FOR THE MANAGEMENT OF AQUATIC RESOURCES AND ECONOMIC ALTERNATIVES

DELIVERABLE 3.1: MODELOS DE IMPACTO DEL AUMENTO DEL MAR POR CAMBIO CLIMATICO Y MAREA TE TORMENTA, MODELO DE IMPACTO DE VIENTOS Y OLAS EN LAS ISLAS DE LA BAHIA

Contract No. EPP-I-00-04-00020-00

The author's views expressed in this report do not necessarily reflect the views of the United States Agency for International Development or the United States Government.

EXECUTIVE SUMMARY

In 2013, the Regional USAID Program, through its subcontractor, The Nature Conservancy, is including guidelines for adapting to climate change within the framework of the development of the Territorial Organization Plan in the Department of Islas de la Bahía *(Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento de las Islas de la Bahía).* This framework is being developed by ZOLITUR through its contractor, EPYSA, responding directly to a guideline expressed by the experts and authorities in the Adaptation Plans that had been produced by the Regional Program:

1. Vulnerability Analysis of the Caribbean coasts of Belize, Guatemala, and Honduras
2. Climate Change Adaptation Strategies for the Caribbean coasts of Belize, Guatemala, and Honduras
3. Proposal for the National Plan for Adaptation for the Caribbean coast of Honduras
4. Climate Change Adaptation Plan for the Special Marian Sandy Bay - West End Protection Zone, of the National Marine Park of the Bay Islands, Honduras.

The analysis within this report focuses on identifying the areas that are most exposed and vulnerable to two types of climatic phenomena: 1) the increase in sea level caused by climate change and storm tides and 2) the impact of winds and powerful waves on the coasts of the Bay Islands.

The present analysis identified those areas that are most vulnerable to increasing sea levels resulting from climate change (between 38 and 64 cm. by the year 2100) and storm tides (from 1 to 8 meters) and the impact of winds and waves on the coasts of the Bay Islands. It also analyzed the contribution that reefs, swamps, marine pastures, and coastal lagoons have in reducing the impact of damaging waves and wind. The purpose of this analysis is to provide information for decision makers, inhabitants, and investors, enabling them to employ measures that reduce the development and use of the most exposed coastlines, and mitigate the impact of waves and wind on infrastructure and on people when necessary.

Results indicate that the areas most vulnerable to the increase in sea level are the island keys, the island of Utila, and all beach and swamp areas on the remaining islands. This analysis visually demonstrates the extent that this impact would have, using the digital elevation model generated by the PMAIB Project (2000). The local residents, authorities, and investors are conscious of the risk of building on the coastline and, moreover, at sea level, but we hope that the maps contribute to increasing awareness on the need to implement alternatives for said practices, and to highlight the areas where it is possible to do so.

The results also indicate the areas on island coastlines that are more exposed and more vulnerable than others to wind and waves. The following are highlighted as guarded areas: Utila Bay, the bays between French Harbour and Port Royal on Roatán, and Manatee Bay in Guanaja. In fact, the oldest settlements and largest populations on the islands inhabited these guarded bays, with the exception of Cayo Boaco and the Cayitos in Utila. It was not until the tourism boom when construction spread to the most exposed beach areas.

The recommendations in this analysis can be summarized as follows:

1. To encourage and concentrate coastal development in guarded areas (bay, on land above sea level, with softer slopes, facing south), allowing greater population density.
2. To promote changes in construction methods that could result in reduced vulnerability of buildings and avoiding damage to ecosystems when buildings are constructed in exposed areas. The existing norms that limit the height of buildings discourage construction on stilts.

CONTENIDOS

1 ACRONIMOS VII

2 RESUMEN EJECUTIVO 8

3 INTRODUCCIÓN 10

4 METODOLOGÍA 12

4.1 MODELACION DEL IMPACTO DEL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR POR CAMBIO CLIMATICO Y POR MAREAS DE TORMENTA 12
4.2 MODELACION DE LA VULNERABILIDAD RELATIVA ANTE EL OLAS Y VIENTOS 14
4.3 LIMITANTES DEL EJERCICIO DE MODELACIÓN DE IMPACTO DE VIENTOS Y OLAS 19

5 presentacion e interpretacion de resultados, y sus implicaciones para el ordenamiento territorial 21

5.1 MUNICIPIO E ISLA DE UTILA 22
5.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS NATURALES Y DEL DESARROLLO COSTERO 26
5.1.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA EXPOSICIÓN AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR, MAREA DE TORMENTA, VIENTOS Y OLAS: 26
5.1.3 IMPLICACIONES PARA EL MANEJO Y EL ORDENAMIENTO DE LA ISLA: 26
5.2 MUNICIPIOS DE ROATÁN Y SANTOS GUARDIOLA: ISLAS DE ROATÁN, SANTA ELENA Y BARBARETA - 28
5.2.1 CARACTERÍSTICAS RELEVANTES: 32
5.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. 32
5.2.3 IMPLICACIONES DE MANEJO Y ORDENAMIENTO. 32
5.3 MUNICIPIO E ISLA DE GUANAJA. 34
5.3.1 CARACTERÍSTICAS RELEVANTES 38
5.3.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS. MISMO COMENTARIO, VINCULARLO CON LOS MAPAS. 38
6.3.3 IMPLICACIONES DE MANEJO Y ORDENAMIENTO. 38

6 CONCLUSIONES 40

7 RECOMENDACIONES GENERALES 40

8 BIBLIOGRAFÍA 42

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1: Aumento relativo del nivel de mar respecto a la costa en Puerto Castilla, Honduras (USAID, 2012). 10

Cuadro 1. Años de datos recopilados por puerto y estaciones de sensores remotos para calcular el aumento relativo y absoluto del nivel del mar. 11

Cuadro 2. Cuadro de categorías del indicador de exposición ante la elevación del nivel del mar y mareas de tormenta. 11

Cuadro 3. Los huracanes son clasificados en 5 categorías de acuerdo a la velocidad de los vientos. 12

Cuadro 4: Insumos utilizados para correr el modelo de vulnerabilidad relativa. 13

Figura 2: Puntos del modelo WaveWatchIII de NOAA cuya información fue utilizada para el análisis en Islas de la Bahía 16

Cuadro 5: Nivel de protección y distancia protegida por los hábitats naturales. 14

Cuadro 6: Nivel de fragilidad de la línea costera. 15

Cuadro 7: Valores relativos de los indices de exposicion y vulnerailidad…….....….17

Figura 3: Hábitats costeros y marinos en Utila. Fuente: PMAIB, 2000 20

Figura 4: Mapas de exposición al aumento del nivel del mar e impacto de marea de tormenta en Utila. Fuente: propia. 21

Figura 5: Mapas del índice de exposición ante vientos y olas de la costa de Utila. Fuente: propia. 22

Figura 6: Mapas del índice de vulnerabilidad ante vientos y olas de la costa de Utila. Fuente: propia. 23

Figura 7: Hábitats costero marinos en Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: PMAIB, 2000. 26

Figura 8: Mapas de exposición al aumento del nivel del mar e impacto de marea de tormenta en las islas de Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: propia, basado en el DEM de PMAIB, 2000. 27

Figura 9: Mapas del índice de exposición ante vientos y olas de la costa en Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: propia. 28

Figura 10: Mapas del índice de vulnerabilidad antes olas y vientos de la costa en Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: propia. 29

Figura 11: Hábitats costero marinos en Guanaja. Fuente: PMAIB, 2000 32

Figura 12: Mapa del índice de exposición de la costa al aumento del nivel del mar y mareas de tormenta, Guanaja. Fuente: propia. 33

Figura 13: Mapas del índice de exposición a vientos y olas de la costa en Guanaja. Fuente: propia..... 34

Figura 14: Mapas del índice de vulnerabilidad a vientos y olas de la costa en Guanaja. Fuente: propia..... 34

1 ACRÓNIMOS

PMAIB:	Proyecto de Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía.
INVEST:	Conjunto de herramientas para medir los servicios ambientales de los ecosistemas.
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
NATCAP:	Natural Capital Project, iniciativa conjunta de The Nature Conservancy, World Wildlife Fund and Stanford University
DEM O MED:	Modelo de elevación digital
SLAMM	Sea Level Affecting Marshes Model)
ZOLITUR:	Zona libre de Turismo de las Islas de la Bahía

2 RESUMEN EJECUTIVO

En 2013, el Programa Regional de USAID, a través del subcontratista The Nature Conservancy, está promoviendo la inclusión de lineamientos de adaptación al cambio climático y en el marco de la elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento de las Islas de la Bahía, el cual está siendo desarrollado por ZOLITUR, a través de su contratista EPYPSA. Esta acción responde a un lineamiento expresado por los expertos y autoridades en los Planes de Adaptación generados previamente por el Programa Regional:

1. Análisis de Vulnerabilidad de las Costas del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras
2. Estrategias de Adaptación al Cambio Climático de las Costas del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras
3. Propuesta del Plan Nacional de Adaptación para el Caribe de Honduras
4. Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Zona de Protección Especial Marian Sandy Bay – West End, del Parque Nacional Marino de Islas de la Bahía, Honduras.

El presente análisis busca contribuir a cumplir con dicha recomendación y se enfoca en identificar las zonas más expuestas y vulnerables ante dos tipos de fenómenos climáticos: 1) el aumento del nivel del mar provocado por el cambio climático y por las marejadas de tormenta y 2) el impacto de vientos y olas dominantes en las costas de las Islas de la Bahía..

El presente análisis identificó las zonas más vulnerables ante el impacto del aumento del nivel del mar por cambio climático (entre 38 y 64 cms al 2100) y mareas de tormenta (de 1 a 8 metros) y al impacto de los vientos y olas sobre las costas de las Islas de la Bahía. También analizó la contribución que hacen los arrecifes, manglares, pastos marinos y lagunas costeras en reducir el impacto de olas y vientos. El propósito del análisis es brindar información para que los tomadores de decisión, pobladores e inversionistas puedan tomar medidas que reduzcan la ocupación de las costas más expuestas, o en caso necesario, tomar las medidas pertinentes para atenuar el impacto de olas y vientos sobre la infraestructura y la gente..

Los resultados indican que las zonas más vulnerables al aumento del nivel mar son los cayos, la isla de Utila, y todas las zonas de playa y manglares en el resto de islas. El análisis muestra visualmente la extensión que tendría este impacto usando el modelo de elevación digital generado por el proyecto PMAIB (2000). La población, las autoridades y los inversionistas son conscientes del riesgo de construir sobre la línea de costa y prácticamente a nivel del mar, pero esperamos que los mapas contribuyan a aumentar la conciencia sobre la necesidad de implementar alternativas a dicha prácticas y expones las áreas donde es posible hacerlo.

Los resultados también indican los sectores de la línea de costa de las islas más expuestas y más vulnerables que otras ante vientos y olas. Resaltan como áreas resguardadas la Bahía de Utila, las bahías entre French Harbour y Port Royal en Roatán, y la Bahía de Manatí en Guanaja. De hecho, las poblaciones más grandes y antiguas de las islas se instalaron en estas bahías resguardas, con excepción de Cayo Boaco y los Cayitos en Utila. No es sino hasta el boom turístico que se generan construcciones dispersas en todas las zonas de playa más expuestas.

Las recomendaciones de este análisis se pueden resumir en dos lineamientos:

1. Promover y concentrar el desarrollo costero en las zonas resguardas, (bahía, en terrenos sobre el nivel del mar, con pendientes más suaves, orientadas al sur). permitiendo mayores densidades.
2. Promover cambios en las prácticas de construcción que reduzcan la vulnerabilidad de las edificaciones y eviten el daño a los ecosistemas cuando estas se hagan en zonas expuestas. Las normas generales vigentes que limita la alturas de las edificaciones desincentiva las construcciones elevadas sobre polines.

3 INTRODUCCIÓN

La población del Departamento de Islas de la Bahía depende de la pesca y del turismo como medios de vida. A su vez estas actividades están basadas en los bienes y servicios provenientes de los ecosistemas marino – costeros: arrecifes coralinos, pastos marinos, lagunas costeras y manglares., Las comunidades han construido viviendas, infraestructura urbana, de transporte y recreativa a lo largo de la costa 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.. 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

Laguna de Utila, zona resguardada de olas y vientos, pero en degradación por el desarrollo costero – Calina Zepeda, TNC

El Programa Regional elaboró cuatro contribuciones importantes para ayudar a las autoridades y población a identificar medidas de adaptación al cambio climático:

1. Análisis de Vulnerabilidad de las Costas del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras
2. Estrategias de Adaptación al Cambio Climático de las Costas del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras
3. Propuesta del Plan Nacional de Adaptación para el Caribe de Honduras
4. Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Zona de Protección Especial Marian Sandy Bay – West End, del Parque Nacional Marino de Islas de la Bahía, Honduras.

Los expertos y autoridades de gobiernos recomendaron en los estos análisis y planes que el Ordenamiento Territorial debe considerar el impacto del clima en las costas. El presente análisis busca contribuir a cumplir con dicha recomendación y se enfoca en identificar las zonas más expuestas y vulnerables ante dos tipos de fenómenos climáticos: 1) el aumento del nivel del mar provocado por el cambio climático y por las marejadas de tormenta y 2) el impacto de vientos y olas dominantes en las costas de las Islas de la Bahía. El análisis también incorpora una primera serie de recomendaciones para ser consideradas en el ordenamiento del territorio.

El aumento del nivel de mar provocará inundaciones en la costa, desplazamiento de ecosistemas, salinización de las lagunas y los acuíferos y destrucción de infraestructura. Las marejadas de tormenta aumentan el nivel del mar temporalmente pero crean grandes inundaciones y destrucción de infraestructura. Se utilizó un modelo de elevación digital para identificar las áreas más expuestas a estos fenómenos..

Los vientos y olas provocadas por las tormentas tropicales anuales y vientos fríos del norte, constituyen los fenómenos más frecuentes y conocidos por los habitantes de las costas y las autoridades de las Islas de la Bahía. Las olas y vientos contribuyen a definir la forma y ubicación de playas y hábitats naturales (junto con otros factores como la geomorfología de la zona y corrientes marinas), determinan los periodos propicios para la pesca, y causan la erosión de playas e inundación de comunidades costeras. Los vientos y olas aumentarán su frecuencia y fuerza debido al calentamiento global.. Por lo tanto ese necesario identificar las zonas costeras más expuestas a olas y vientos fuertes que regularmente afectan las Islas y éste análisis utilizó el "modelo de vulnerabilidad costera" desarrollado por el proyecto Natural Capital Project. Este modelo contempla el papel de los ecosistemas costeros en reducir el impacto de vientos y olas sobre las costas.

4 METODOLOGÍA

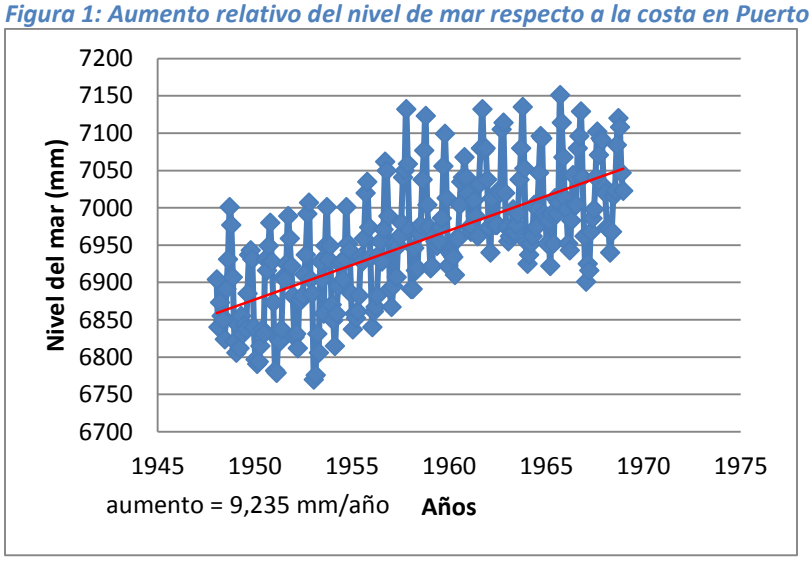
4.1 MODELACION DEL IMPACTO DEL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR POR CAMBIO CLIMATICO Y POR MAREAS DE TORMENTA

Existen dos grandes razones para el aumento del nivel mar. El cambio climático que generar un aumento paulatino y permanente, y las marejadas de tormentas tropicales, que provocan un aumento súbito y temporal. Esta modelación contempla ambos fenómenos.

El cambio del nivel de mar en las costas de Honduras se ha medido en Puerto Castilla y Puerto Cortes, y en el vecino Puerto de Santo Tomás en Guatemala por más de 30 años, tomando datos del nivel del mar relativo a la tierra (estaciones locales) y datos absolutos (sistemas satelitales). El caso más serio es Puerto Castilla, Trujillo, con casi un centímetro por año en las décadas de 1950 y 1960.

Ciertamente el aumento relativo entre el mar y la tierra no está ligado completamente al cambio climático. Pero es dato más relevante para las poblaciones costeras ya que mide cuanto aumenta el nivel del agua sobre las costas y la infraestructura construida. Las costas sufren un proceso de subducción o compactación, reduciendo su altura absoluta y agravando el efecto del aumento del nivel del mar provocado por cambio climático u otros cambios como corrientes marinas. Por lo tanto es el dato que se considera que debe tomarse en cuenta en una propuesta de Ordenamiento Territorial.

Figura 1: Aumento relativo del nivel de mar respecto a la costa en Puerto Castilla, Honduras (USAID, 2012a).



Cuadro 1. Años de datos recopilados por puerto y estaciones de sensores remotos para calcular el aumento relativo y absoluto del nivel del mar (USAID 2012a).

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

La proyección de los datos relativos en Puerto Castilla nos da un aumento relativo del nivel del mar de 90 centímetros al 2100. Por otro lado la estrategia de Cambio Climático del gobierno de Honduras considera un incremento de 4,5 cm a 2020, 18 cm a 2050 y 31,5 cm a 2080 (IPCC, 2007)" (2012), basados en datos promedio de la costa de Honduras. Finalmente el IPCC estima variaciones entre 51 hasta 91 centímetros.

Todas están variantes se podrían analizar diferenciadamente y por incrementos progresivos a lo largo del siglo si se tuvieran modelos de elevación digital con resolución vertical de centímetros, pero en las Islas de la Bahía solo se cuenta con un modelo que tiene resolución vertical de 1 metro. Por lo tanto estas tres proyecciones no pueden disgregarse y se consideró una sola categoría crítica (vulnerabilidad muy alta) y comprende las zonas entre el nivel del mar y 1 metro de altura.

Otro impacto sumamente relevante es el aumento del nivel mar generado durante las tormentas, fenómeno conocido como marejada y el cual puede tener un impacto mucho más devastador por las alturas que puede alcanzar y la fuerza de la tormenta. Por lo tanto los mapas de exposición al aumento del nivel del mar se construyeron usando un indicador que toman en cuenta tanto el aumento del nivel del mar de hasta 1 metro derivado del cambio climático, como la altura de las mareas de acuerdo a la categoría establecida de la fuerza de los huracanes (afectación ocasional pero muy destructiva) según la clasificación de Saffir Simpson. Ver cuadros 2 y 3..

Cuadro 2. Categorías del indicador de exposición ante la elevación del nivel del mar provocado por cambio climático y mareas de tormenta (USAID, 2012a).

Elevación	Calificación	
< 1 m	Muy alta	Con el nivel actual del mar, son áreas altamente expuestas a inundación y erosión por lluvias extremas, nortes y tormentas de todas las categorías. Con el aumento del nivel de mar previsto para 2090 serán áreas inundadas permanentemente. Acá debe prohibirse toda modificación del sistema natural y construcciones.
1 a 2 m	Alta	Con el actual nivel del mar, son áreas expuestas a inundación y erosión por tormentas con categoría de huracán. Considerando el aumento del nivel del mar a 2090, también estarán expuestas a inundación y erosión por mareas, lluvias extremas y tormentas de todas las categorías.
2 - 4 m	Media	Con el actual nivel del mar, son áreas expuestas a huracanes 2, 3, 4, 5. Con el aumento del nivel del mar previsto para 2090 son áreas

		expuestas a inundación por huracanes de todas las categorías.
4 - 8 m	Baja	Con el nivel actual, son áreas expuestas a eventos extremos categoría 4 y 5. Al 2090, serán áreas expuestas a inundación cualquier categoría de huracán.
8 - 16 m	Muy baja	Áreas no expuestas actualmente y poco expuestas con el aumento del nivel del mar al 2090.

Cuadro 3. 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

Las áreas impactadas fueron determinadas usando el modelo de elevación digital (MED) generado por el Proyecto de Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía en el año 2000. El modelo tiene pixeles de 20 x 20 metros y una escala de elevación de 1m. Al modelo se le sobrepuso la cobertura de áreas pobladas para determinar las comunidades humanas más expuestas.

4.2 MODELACION DE LA VULNERABILIDAD RELATIVA ANTE EL OLAS Y VIENTOS.

Otro fenómeno de alto impacto para las costas son las olas y vientos que regularmente inciden sobre las zonas costeras de las Islas de la Bahía.. El modelo tiene como objetivo determinar un índice de vulnerabilidad relativa de la línea de costa ante la fuerza de vientos y olas de tormenta, y comparar el papel de los hábitats costero. Para determinar el índice de vulnerabilidad relativa se utilizó la herramienta "Coastal Vulnerability v.1"[1] desarrollada por el Natural Capital Project (NatCap)[2] como parte de un conjunto de herramientas que miden los servicios ambientales que prestan los ecosistemas; este conjunto de herramientas es conocido como InVEST. El NatCap es un proyecto promovido por WWF, TNC y la Universidad de Stanford y busca que los tomadores de decisión tengan información disponible sobre los servicios ambientales que brindan los ecosistemas para implementar acciones de manejo. En este análisis no se contempla las olas y vientos provocados por huracanes.

El modelo utiliza insumos geofísicos (batimetría, topografía y morfología de la costa), eco sistémicos (hábitats costeros) y climáticos (datos de olas y vientos) para comparar el impacto de los éstos fenómenos climáticos sobre toda la línea de costa. El modelo convierte la línea de costa en un conjunto de puntos y le asigna un valor relativo de vulnerabilidad a cada uno respecto a los otros puntos. Para determinar el valor de vulnerabilidad de cada punto, el modelo analiza:

- La morfología del punto (roca, lodo, arena),
- La dirección y fuerza que llevan los vientos y olas circundantes sobre el punto

[1] http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/current_release/coastal_vulnerability.html
[2] http://www.naturalcapitalproject.org/

- La presencia de ecosistemas alrededor del punto, según la distancia especificada para cada ecosistemas y el valor de protección que brinda.
- La presencia de formaciones físicas (cayos, montañas) según la distancia de formación del oleaje (fetch distance).

Cuadro 4: Insumos utilizados para correr el modelo de vulnerabilidad relativa.

INSUMOS DE INFORMACION	DETALLE	COMENTARIOS	FUENTE
Geomorfología de la línea de costa (shape file – línea)	Categorías usadas: Costa rocosa Playa rocosa Playa de arena Playa lodoso con manglar	Deducido de la cobertura de geomorfología, el cual contiene 14 categorías, en las cuales mezclaron usos de la costa (urbano, basurero), tipo de vegetación (manglar) y tipo de superficie (roca, lodo, arena) en una misma base de datos.	PMAIB, 2000
Fragilidad de la línea de costa	Cuadro con valores de 1 (muy bajo) hasta 5 (muy alto).	Una Cuadro con valores de fragilidad asignados a las categorías contenidas en la base de datos e geomorfología.	
Relieve (raster)	Modelo de elevación digital (MED ó DEM) con pixeles x20m y diferencia altitudinal de 1m	Las áreas entre 0 y 1 metro de altura sobre el nivel del mar corresponden a lagunas, manglares y playas. Muchos de estos pixeles no tenían valor por lo que hubo que corregir el DEM.	PMAIB, 2000
Batimetría (raster)	El DEM del proyecto SAM es de pixeles de 1kmx1km y profundidad cada 100m en la zona de Honduras.	No pudo utilizarse ningún modelo disponible. Se usa para determinar el potencial de marea de tormenta	No se usó.
Hábitats naturales (shape file con polígonos)	Arrecifes de barrera y franja. Dunas costera Dunas costeas de 30 metros de ancho. Pastos marinos Manglares	Es la información con mejor detalle del proyecto PMIB, aunque hay evidencia que no se consideraron parches y barreras arréciales en la zona sur de Utila y en sureste de Guanaja. Esta diferencia podría reducir aún más la vulnerabilidad de la costa sur de Guanaja.	PMAIB, 2000
Plataforma continental (shape-polígonos)		Alrededor de las islas. No se incluyó la parte continental de tierra firme.	Modelo batimétrico

INSUMOS DE INFORMACION	DETALLE	COMENTARIOS	FUENTE
Exposición al viento. Datos por punto.	Selección del 10% de los vientos predominante más fuertes durante un año.	Modelo generador por NOAA. Ver Figura 2.	Wave WatchIII[3]
Exposición a las olas. Datos por punto.	Selección del 10% de las olas predominantes más fuertes durante 1 año	Los modelos generan datos para puntos localizados en una cuadricula en todo el mundo. Se utilizaron 12 puntos alrededor de las islas (ver figura 2).	WaveWatchIII.
VARIABLES			
Aumento del nivel del mar	.	Dado que la vulnerabilidad es relativa entre las distintas secciones de la costa, que se estima que todas las islas tendrán el mismo aumento del nivel del mar y que no se usó el modelo batimétrico, el aumento del nivel del mar no afecta los valores del índice. Ver sección de limitaciones del modelo.	IPCC 2006
Distancia para formación de olas ("fetch" en inglés)	10 km	Es la distancia promedio entre la costa de Guanaja y Roatán y los cayos localizados al sur.	Elaboración propia
Función de los hábitats naturales	Ver Cuadro siguiente.		PMIB 2000

Fuente: elaborado por autores de este documento.

A continuación se explica con mayor detalle el uso y depuración de algunos de los insumos utilizados:

Geomorfología de la línea de costa y su nivel de fragilidad: se consideró que todos los manglares tienen sustrato lodoso, que las playas tienen sustrato arenoso, y que las categorías de arrecife emergido (*Iron shore*) y piedra tiene consistencia rocosa**.**

Cuadro 5: Clasificación geomorfológica y nivel de fragilidad de la línea costera asignados para el modelo, y su equivalente en la base de datos de geomorfología de la línea de costa del proyecto PMIB.

Código	Descripción contenida en la base de datos PMAIB.	Categoría utilizada en el análisis	Nivel de fragilidad	Nivel de fragilidad
0	Basurero	Lodo	5	Muy alto

[3] Tolman, H.L. (2009) User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14, Technical Note, U. S. Department of Commerce National Oceanic and Atmosphere Administration, National Weather Service, Nat. Centers for Environmental Pred., Camp Springs, MD.

Código	Descripción contenida en la base de datos PMAIB.	Categoría utilizada en el análisis	Nivel de fragilidad	Nivel de fragilidad
1	Arrecifes emergidos.	Roca	1	Muy bajo
2	Manglar	Lodo	3	Medio
3	Manglar con presión antrópico	Lodo	4	Alto
4	Manglar muerto	Lodo	5	Muy Alto
5	Piedra	Roca	1	Muy Bajo
6	Playa	Arena	5	Muy alto
7	Playa acondicionada	Arena	5	Muy alto
8	Playa artificial	Arena	5	Muy alto
9	Relleno de manglar	Lodo	4	Alto
10	Urbanización	n.d.	5	Muy alto
11	Vegetación psamofila	Arena	4	Alto
12	Vegetación sobre el suelo indeterminado	n.d.	4	Alto
13	Zona de dragado	Lodo	5	Muy alto

Fuente: elaborado por autores de este documento.

Nivel de protección de los hábitas naturales: Se utilizó la información de cobertura de hábitat naturales generadas por PMAIB (2000). El equipo consultor, basado en literatura, determinó el nivel de protección que brinda cada hábitat a la zona costera calificándolos del 1 (muy alta protección) al 5 (muy baja protección) según el grado de protección que brindan , siguiendo el instructivo de la herramienta (NAtCap 2011)[4] . Estudios sobre la función de protección costera que brinda los arrecifes de corales y ostras (P. Blanchon, R. Iglesias Prieto, E. Jordan Dahlgren y S. Richards. 2010) han estimado en más de 90% la capacidad de reducción de la fuerza de olas y marea de tormenta por lo que se consideró que brindan "muy alta protección". Sin embargo, los arrecifes de parche no tienen la misma función protectora que los arrecifes de barrera, por lo que se les asigno "alta". Los manglares tienen un rol menos decisivo y requieren de extensiones mayores para tener una función similar (Anna McIvor, Tom Spencer, Iris Möller and Mark, 2012a y 2013b); pero su función es más relevante para reducir la erosión costera por viento, olas y corrientes por lo que siempre se consideró que brinda una protección "muy alta". La contribución de los pastos marinos y de las dunas costeras bajas y estrechas que existen en las Islas de la Bahía se estimó en "bajo" y "muy bajo," con base en la experiencia local.

Cuadro 6: Nivel de protección y distancia protegida por los hábitats naturales asignada para correr el modelo.

Hábitat utilizados	Nivel	Protección ante vientos y olas	Distancia protección en metros
Manglares	1	Muy alto	50
Duna costera ancha	4	Bajo	30
Pastos marinos	4	Bajo	200
Duna costera estrecha	5	Muy bajo	30

[4] [4] http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/current_release/coastal_vulnerability.html

Hábitat utilizados	Nivel	Protección ante vientos y olas	Distancia protección en metros
Arrecifes de franja-bordo	2	Alto	100
Arrecifes de barrera	1	Muy alto	8000

Fuente: elaborado por autores de este documento.

Exposición ante vientos y olas: el modelo de WaveWatchIII genera una retícula en todo el mundo y utiliza modelos de circulación de vientos globales para estimar los vientos que ocurren diariamente, a lo largo de un año, en cada punto. Los doce puntos alrededor de Islas de la Bahía fueron utilizados en el modelo para estimar la dirección y fuerza de los vientos.

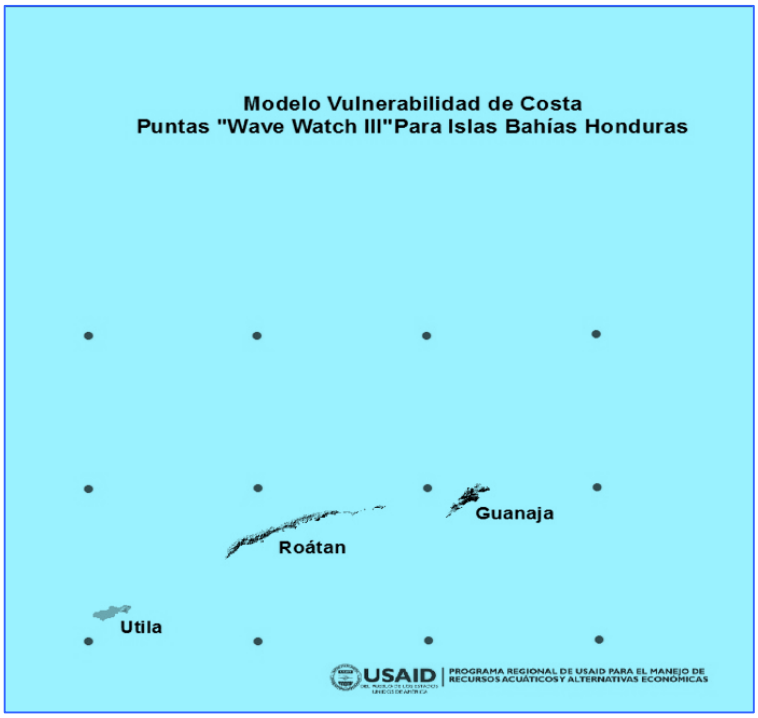


Figura 2: Puntos del modelo WaveWatchIII de NOAA cuya información fue utilizada para el análisis en Islas de la Bahía

Fuente. elaborado por autores de este documento.

Índices de vulnerabilidad y exposición relativa. La herramienta determina:

a) Índice de exposición: no utiliza la morfología de la costa. Se basa en las demás variables y mide la exposición a los vientos y olas menos la función protectora de hábitats naturales u otras formaciones.
b) Índice de vulnerabilidad: incluye la morfología de la costa, pues el tipo de playa determina que tan frágil o resistente es a los efectos que reciba de viento y ola. Si dos áreas tienen la misma exposición pero morfología distinta, como roca y arena, la playa de roca es menos "vulnerable" que la de arena, pues esta última se erosiona más fácilmente.

Los índices generados por la herramienta en este ejercicio variaron entre 0 y 20, y se clasificaron en 4 categorías, seleccionadas por varianza natural. Como es una valoración numérica relativa, no está relacionada estrictamente a variables climáticas (como por ejemplo fuerza del viento).

Cuadro 7: Valores relativos de los índices de exposición y vulnerabilidad.

Valor de los índice de exposición y vulnerabilidad	Calificación
Menor de 2	Bajo
2 a 4	Medio
4 a 6	Alto
Mayor a 6	Muy Alto

Elaborado por los autores de este documento.

La herramienta se corrió con o sin la intervención de los hábitats naturales costeros para estimar la función de protección que brindan a la costa, por lo que se tienen dos resultados para cada índice, totalizando 4 mapas:

1. Índice de exposición con hábitats costeros
2. Índice de exposición sin hábitats costeros
3. Índice de vulnerabilidad con hábitats costeros
4. Índice de vulnerabilidad sin hábitats costeros

Para mantener un nivel de detalle adecuado y correr la herramienta, cada isla se corrió como una unidad independiente. De igual forma esto permitió contar con información relevante para cada municipio.

4.3 LIMITANTES DEL EJERCICIO DE MODELACIÓN DE IMPACTO DE VIENTOS Y OLAS.

Como todos los modelos, este es una simplificación de la realidad, y no considera variables como corrientes marinas y el tamaño y calidad de los hábitat naturales. Los resultados del modelo deben usarse para comparar la vulnerabilidad entre zonas del área analizada, como lo indica su nombre, usando el índice de vulnerabilidad relativa.

Otra limitante del análisis fue no contar con un modelo batimétrico con el detalle adecuado alrededor de la línea de costa de las Islas de la Bahía. Se consideró el modelo batimétrico del Proyecto de Sistema Arrecifal Mesoamericano del Banco Mundial el cual tiene pixeles de 1kmx1km, y con variaciones horizontales mínimas de 100 metros alrededor de las islas, y de 200 o más metros en las fosas al norte. En contraste, el modelo de elevación digital terrestre del Proyecto de Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía (PMAIB) tiene pixeles de 20mx20m y variaciones horizontales en la costa de 1m. A pesar de que el proyecto PMIB realizó transeptos perpendiculares a la costa en todas las islas y cuenta con datos de profundidad, no se encontró el modelo batimétrico. Con la información de los transeptos se podría construir un modelo batimétrico de gran calidad pero ese esfuerzo está fuera de esta consultoría.

El principal uso del modelo batimétrico es para estimar las marea de tormenta, las cuales están determinadas por la velocidad del viento, la presión batimétrica y la profundidad; al no contar con la batimetría, no pudo incluirse la modelación de mareas de tormenta en la estimación de la vulnerabilidad o exposición relativa.

Por la misma carencia del modelo batimétrico, tampoco fue relevante incorporar el aumento del nivel mar derivado del cambio climático en el modelo, ya que cuando toda el área de estudio está sujeta al mismo valor de una variable (en este caso aumento del nivel del mar sería igual en toda la línea de costa) no tiene ningún efecto en el resultado de esta modelación. .

Al contar con el modelo batimétrico se podrá correr nuevamente la herramienta y usar distintos escenarios (tendencias y periodos) de aumento del nivel del mar para analizar cómo la exposición iría aumentando progresivamente al subir el nivel del mar. En esos escenarios también se deben considerar los cambios en la altura o profundidad de los arrecifes y manglares provocados el mismo aumento del nivel de mar. TNC ha trabajado con una herramienta SLAMM (Sea Level Affecting Marshes Model) actualmente en desarrollo para las costas del Golfo de México, para estimar estos cambios, pero no fue utilizada en Islas de la Bahía.

5 PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS, Y SUS IMPLICACIONES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

A continuación se presentan y se interpretan los resultados de la exposición al aumento del nivel del mar, marea de tormenta, olas y vientos, así como las recomendaciones e implicaciones que estos tienen para el ordenamiento territorial de las islas. Se optó por presentar todos los aspectos por isla, para facilitar su análisis y comprensión. Para cada isla se cuenta con:

1. Resultados: mapa de los insumos y resultados de las modelaciones:
   1.1. Hábitats costeros marinos y modelo de elevación digital.
   1.2. Índice de exposición al aumento del nivel del mar y marea de tormenta.
   1.3. Exposición ante vientos y olas con hábitat natural.
   1.4. Exposición ante vientos y olas sin hábitat natural.
   1.5. Vulnerabilidad ante vientos y olas con hábitat natural.
   1.6. Vulnerabilidad ante vientos y olas sin hábitat natural.
2. Características de los ecosistemas y del desarrollo costero relevantes.
3. Interpretación de resultados.
4. Implicaciones para el ordenamiento territorial.

5.1 MUNICIPIO E ISLA DE UTILA

Figura 3: Hábitats costeros y marinos en Utila. Fuente: PMAIB, 2000

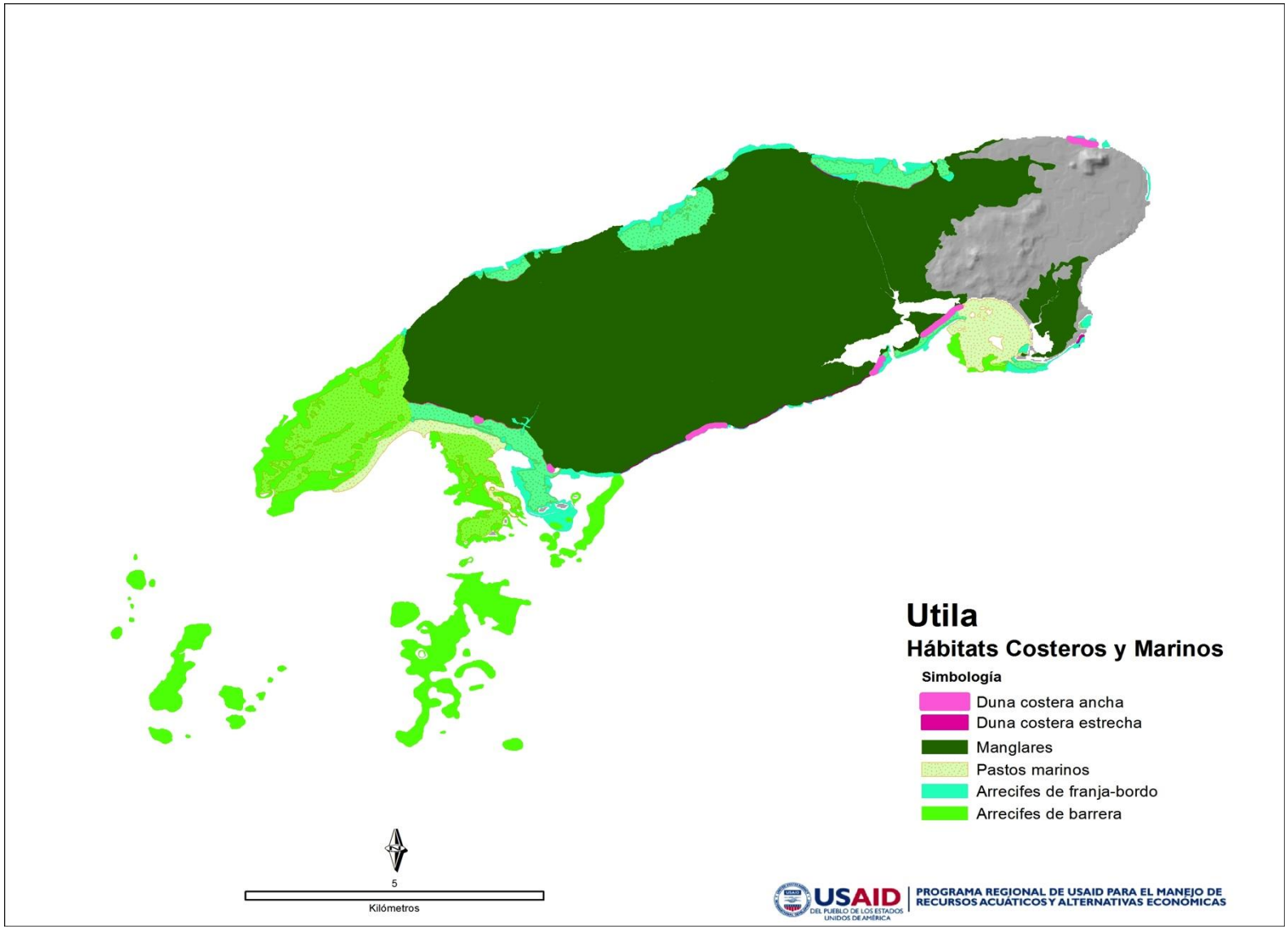


Figura 4: Mapas de exposición al aumento del nivel del mar e impacto de marea de tormenta en Utila. Fuente: propia.

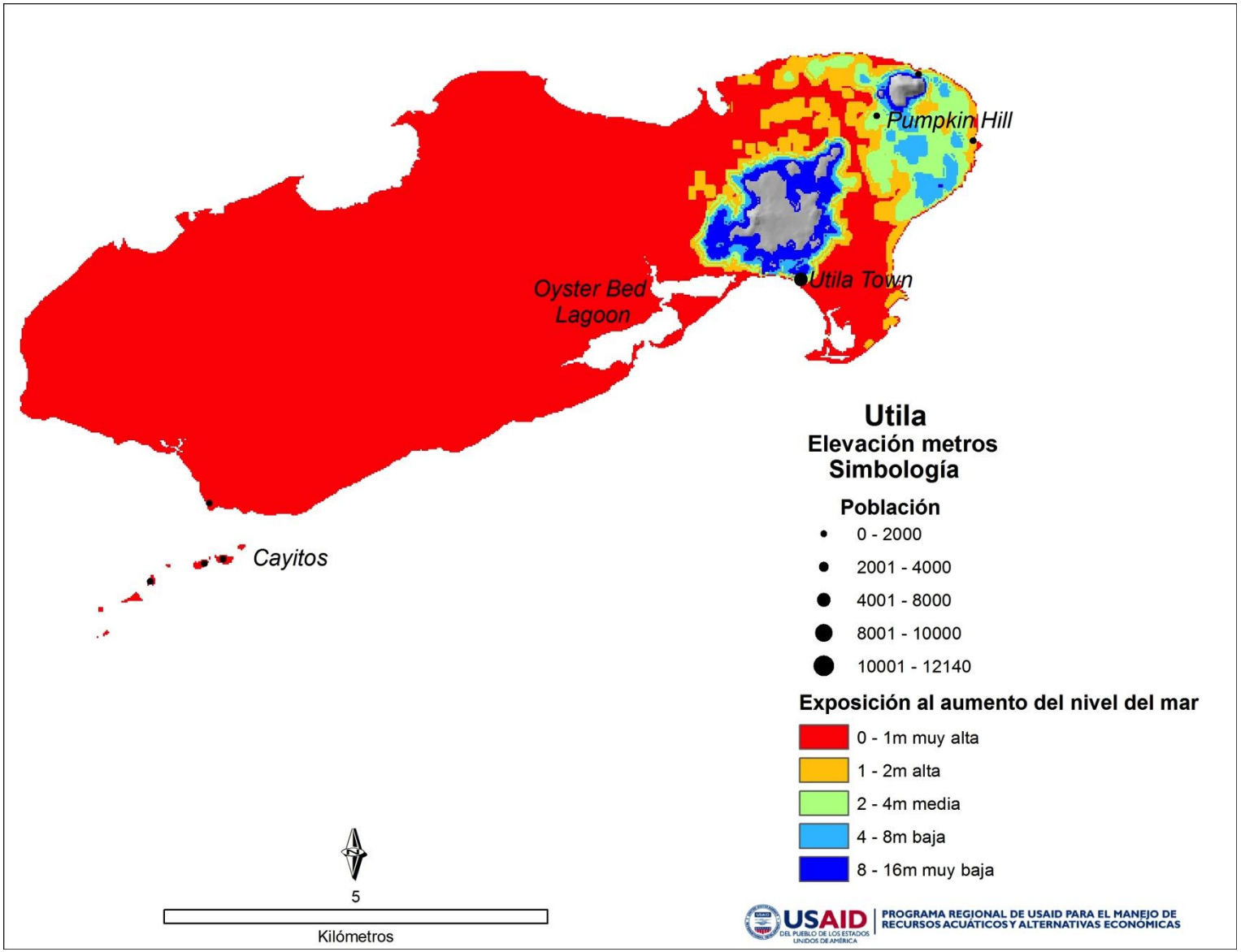


Figura 5: Mapas del índice de exposición ante vientos y olas de la costa de Utila. Fuente: propia.

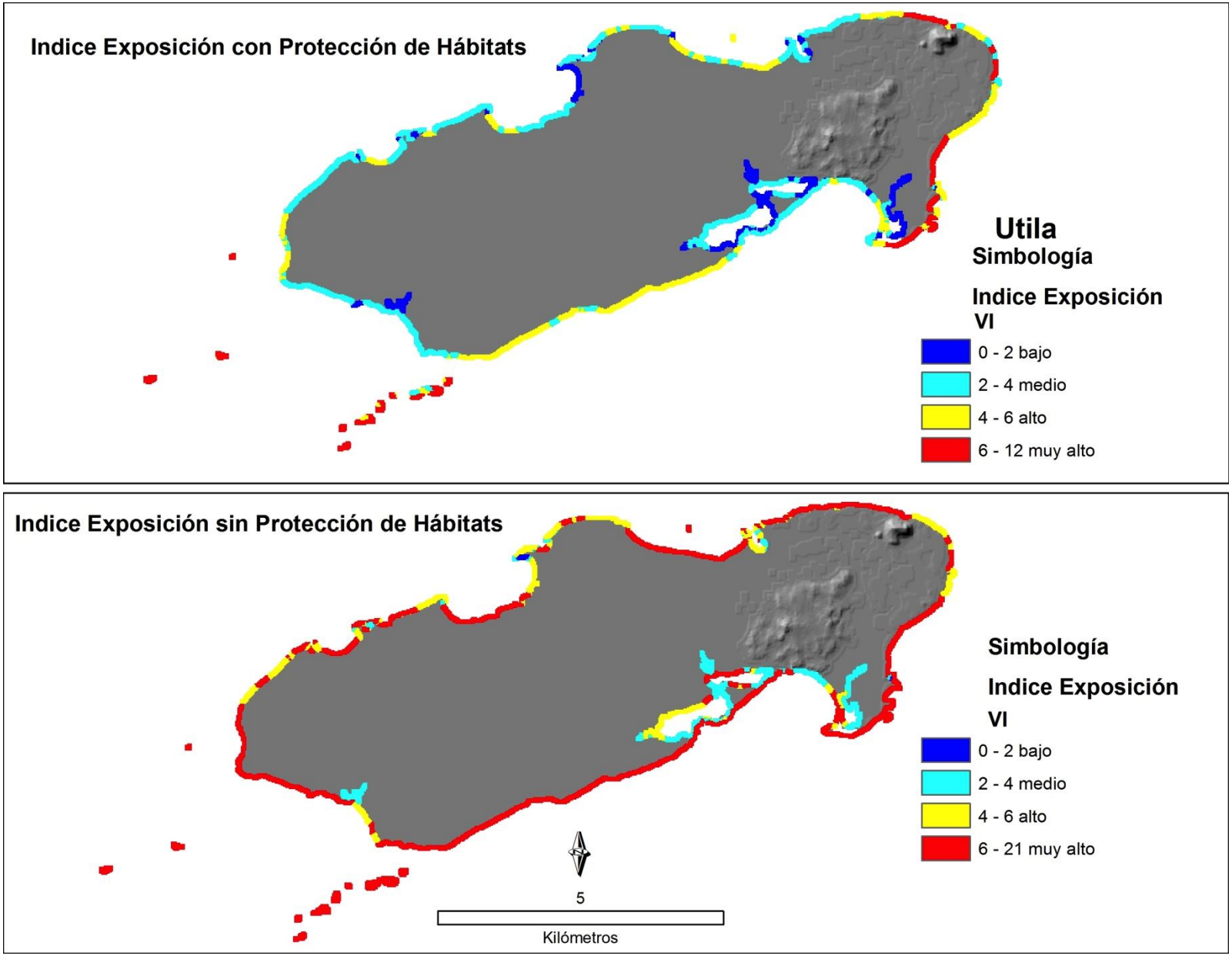
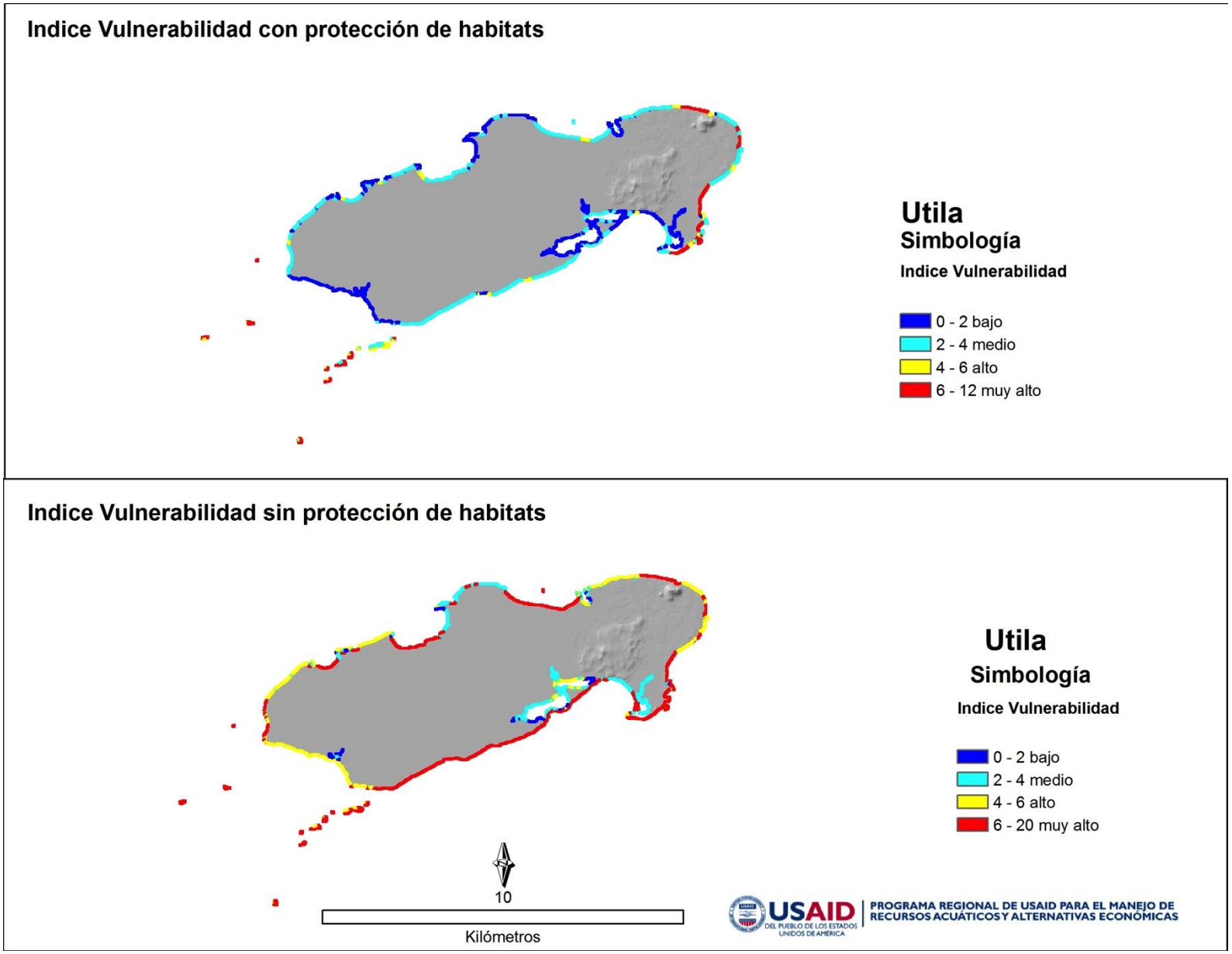


Figura 6: Mapas del índice de vulnerabilidad ante vientos y olas de la costa de Utila. Fuente: propia.



5.1.1 Características de los sistemas naturales y del desarrollo costero

- Existen playas y manglares intercalados a lo largo de la costa de Utila.
- La población está concentrada en dos zonas: el pueblo de Utila, en la Bahía del mismo nombre, y en los cayos del sur-oeste.
- Existen nuevas construcciones alrededor de las lagunas de Oyster Bed que destruyen el manglar por corte y relleno., a pesar de su prohibición en las normas generales (2004) La erosión ocasionada ha alterado la profundidad de las lagunas reduciendo su capacidad para funcionar como albergue para las embarcaciones durante las tormentas.
- En la franja sur, la infraestructura también se construye sobre los manglares, dejando las playas de arena libres. Los propietarios han hecho canales interiores desde la laguna hasta las propiedades para sus embarcaciones, alterando la hidrología del área.
- La laguna es un resguardo natural para embarcaciones. La erosión de la costa, los dragados y los rellenos ha reducido la profundidad de la laguna lo cual dificulta que entren embarcaciones de alto calado, por lo que ha mermado su capacidad de resguardo.

5.1.2 Discusión de los resultados de la exposición al aumento del nivel del mar, marea de tormenta, vientos y olas:

- Es la isla más expuesta, con más del 80% de su superficie debajo de 1 metro de altura.
- Todas sus poblaciones y playas se verán aún más afectadas por el aumento del nivel del mar y por cualquier categoría de tormenta que afecte la zona.
- Solamente la sección noreste tiene altitudes mayores a los 2 metros, y el cerro con alturas superiores a los 8.
- A pesar de que la línea de costa de Utila está bastante expuesta, su vulnerabilidad es menor a lo esperado debido a la presencia de manglares y arrecifes en casi toda la orilla. Pero al quitar esta protección se convierte en la isla más expuesta, con casi el 80% de su línea de costa con un índice de vulnerabilidad muy alto.
- La bahía donde se encuentra el pueblo de Utila y la laguna de Oyster Bed son las zonas más resguardadas de la isla. La Bahía de Utila, sin embargo, se convierte en una zona muy vulnerable al desaparecer los hábitats naturales (manglares y arrecifes).
- En contraste, los cayos en el suroeste de la isla, donde vive una gran cantidad de pescadores, están altamente expuestos y son muy vulnerables debido a que no cuenta con los sistemas naturales de protección (manglares y arrecifes de barrera). El sistema de arrecifes de barrera está localizado al norte de los cayos, y los vientos y olas fuertes azotan directamente ya que vienen del Sur – Este en este sector.

5.1.3 Implicaciones para el manejo y el ordenamiento de la isla:

Cayos:

- La vulnerabilidad para la población humana y la infraestructura de los cayos del sur-oeste es muy alta. s por su exposición ante vientos y olas y mareas de tormenta, por lo que no debe permitirse que continúe el desarrollo de los mismos..
- El aumento del nivel de mar inundará los cayos sin lugar a duda por lo que en el mediano plazo debe planearse la reubicación de sus habitantes.

Bahía de Utila:

- La Bahía de Utila es la opción con menor riesgo de la isla y es la única zona donde puede permitirse que continúe el desarrollo costero.
- Las construcciones deben hacerse sobre terreno que este por lo menos 2 metros sobre el nivel del mar, y con las precauciones necesarias para resistir marejadas
- Las construcciones que se permitan en terrenos más bajos deben tener restricciones de tipo constructivo como hacerse sobre pilotes y separadas de la costa por lo menos 25 metros para permitir la restauración o conservación de una franja de manglar que evite la erosión de la costa.
- Debe protegerse los manglares remanentes en la costa y arrecifes de la bahía para mantener la condición de zona menos vulnerable.

Costa sur y la bahía Oyster Bed

- No debe permitirse el desmonte y relleno de manglares ya que vuelven más vulnerable todo el sector.

5.2 MUNICIPIOS DE ROATÁN Y SANTOS GUARDIOLA: Islas de Roatán, Santa Elena y Barbareta -

Figura 7: Hábitats costero marinos en Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: PMAIB, 2000.

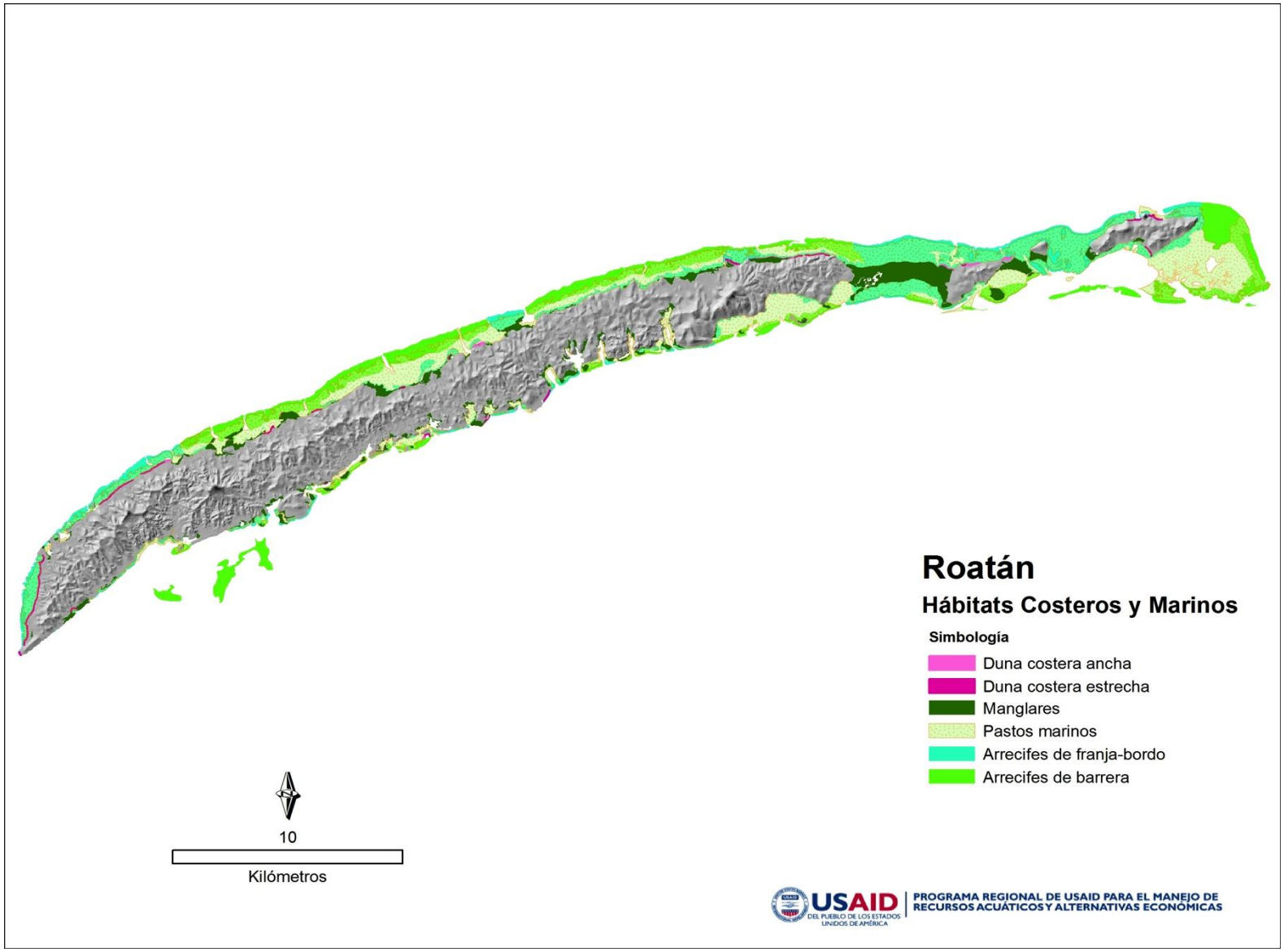


Figura 8: Mapas de exposición al aumento del nivel del mar e impacto de marea de tormenta en las islas de Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: propia.

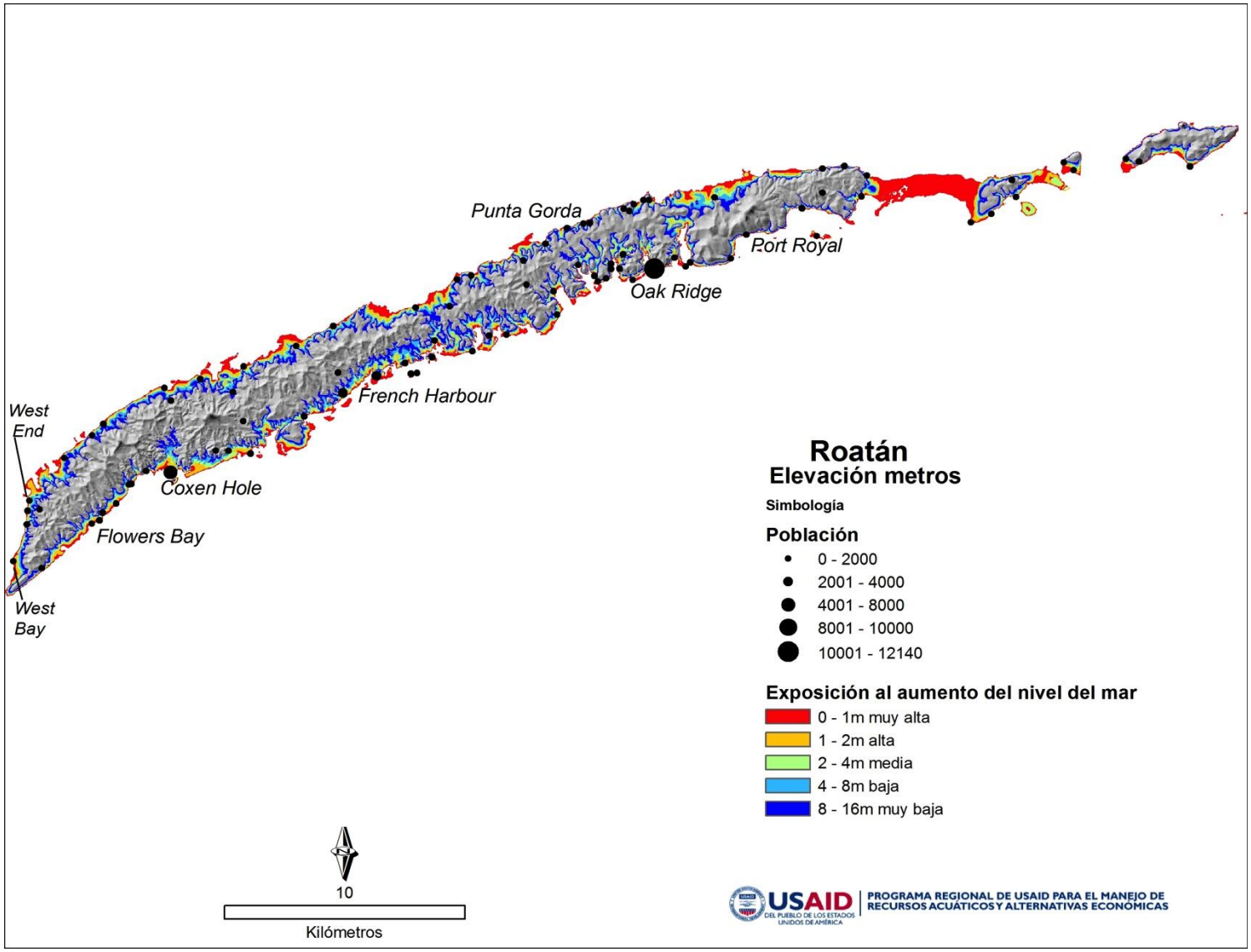


Figura 9: Mapas del índice de exposición ante vientos y olas de la costa en Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: propia.

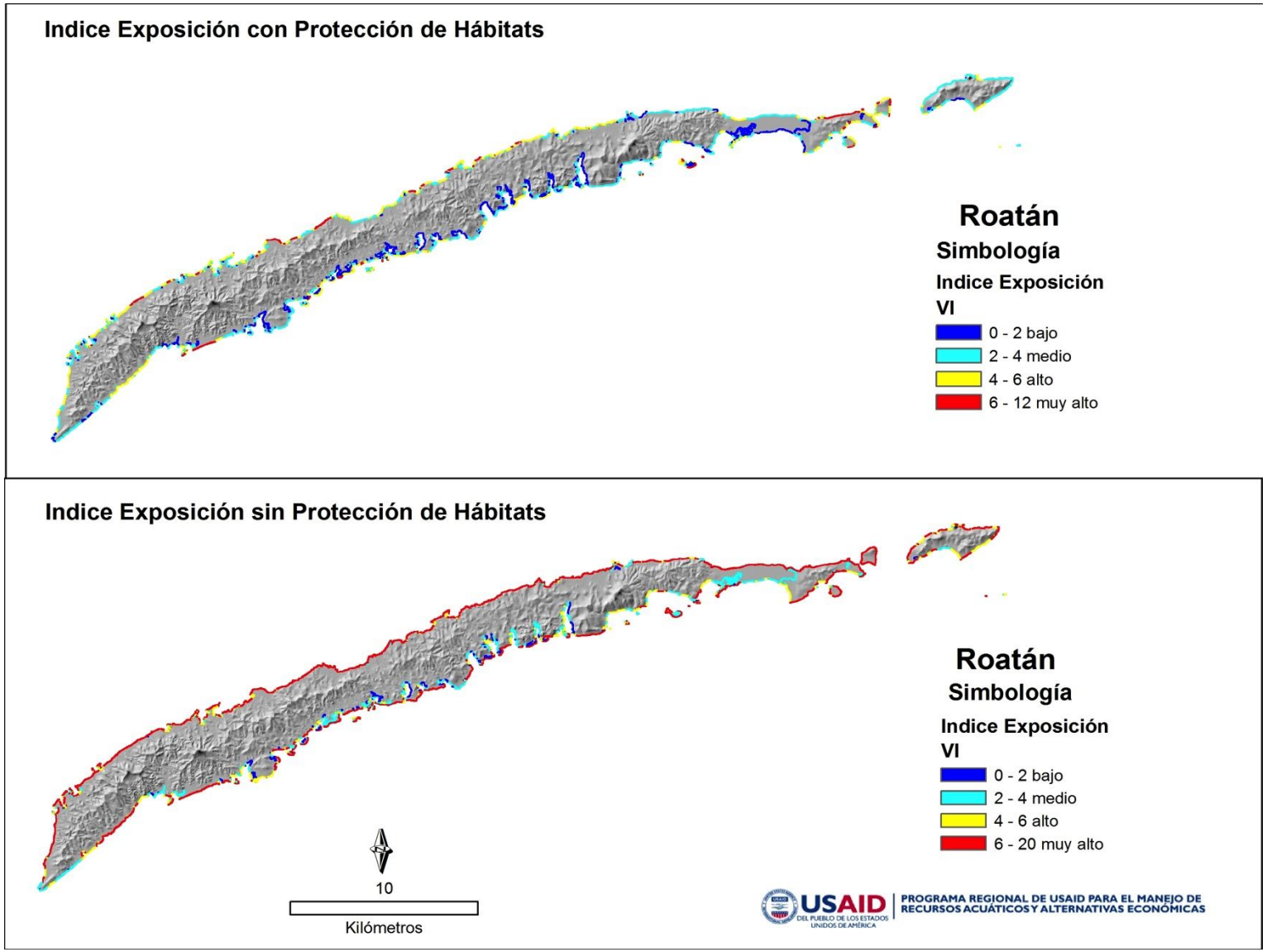
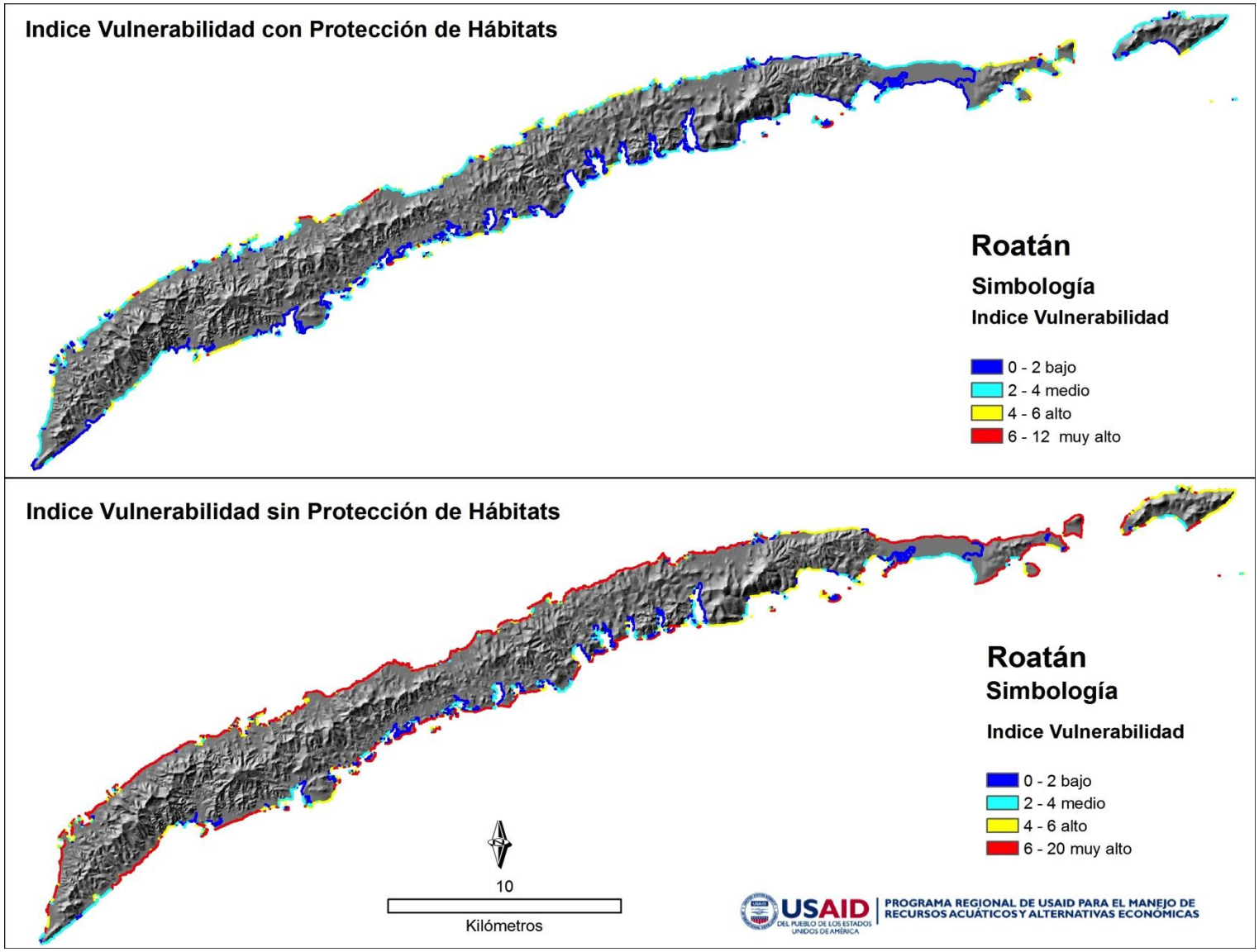


Figura 10: Mapas del índice de vulnerabilidad antes olas y vientos de la costa en Roatán, Santa Elena y Barbareta (municipios de Roatán y Santos Guardiola). Fuente: propia.



5.2.1 Características relevantes:

- La plataforma continental de Roatán es muy estrecha así como las lagunas arréciales.
- La costa norte cuenta con arrecifes de borde predominantemente, con una laguna arrecifal limitada, a excepción del sector de Punta Gorda, municipio de José Santos Guardiola donde la laguna arrecifal alcanza entre dos a tres kilómetros de ancho.
- La zona sur cuenta con arrecifes de borde o franja y algunas formaciones son muy complejas. Sobresale la formación de Banco Cordelia, una de las mejor conservadas de todo Caribe. Sin embargo no existen lagunas arréciales relevantes.
- La costa estaba rodeada de manglares, particularmente en las bahías. Sin embargo estos han desaparecido en la mayor parte de la costa sur, entre West End y Flowers Bay.
- La sección entre West End y Flowers Bay es la de mayor desarrollo costero, con la mayor concentración de las poblaciones y de la infraestructura turística.
- La población pesquera se ubicó en las bahías de la costa sur, entre French Harbour y Oak Ridge, por constituir área de resguardo natural para las embarcaciones y las poblaciones.
- La sedimentación ocasionada por la construcción de caminos y carreteras principalmente, y en menor medida por casas y hoteles, afecta la salud de los arrecifes (*Carrasco, J.C., Secaira, E., y Lara, K. 2013)*.
- La contaminación por aguas negras y basura generada en zonas pobladas es muy serio para los arrecifes. Las aguas de lluvia en zonas urbanas acarrean sedimentos y basura (Carrasco, et.al., 2013) .

5.2.2 Interpretación de resultados.

Costa norte: tal como se muestra en el mapa o figura 9, etc.

- La barrera arrecifal de la costa norte tiene un papel importante en reducir la exposición y la vulnerabilidad como reflejan los mapas con o sin hábitats de la Isla de Roatán.
- No existen bahía u otras zonas protegidas para las embarcaciones

Costa sur

- La sección entre West End y Flowers Bay está más expuesta a los vientos y olas que el resto de la costa sur debido al poco desarrollo arrecifal y a la ausencia de manglares..
- West End y Flowers Bay es la zona con mayor presión de desarrollo costero y están afectando seriamente los arrecifes, por lo tanto aumentando aún más la exposición de su costa.
- Las bahías de la costa sur entre French Harbour y Port Royal son un resguardo natural ante vientos y olas regulares y durante tormentas. También constituyen zonas poco vulnerables al aumento del nivel de mar por estar rodeadas de cerros con altas pendientes. Los pobladores establecieron acá los puertos pesqueros y poblados.

5.2.3 Implicaciones de manejo y ordenamiento.

Costa sur

- Enfocar el desarrollo costero en la zona sur, entre Flowers Bay y Port Royal. Se puede considerar que esta es la sección de la costa menos frágil al desarrollo costero y menos vulnerable a tormentas y aumento del nivel del mar.
- Las construcciones deben estar reguladas para realizarse por lo menos en terrenos con 4 metros sobre el nivel del mar y dejar una franja de 10-20 metros donde es propicio restaurar y conservar los manglares.

- Los sedimentos de carreteras y caminos son una amenaza a los arrecifes por lo que debe lo que deben protegerse las áreas expuestas y regular la construcción futura.

Costa norte:

- El desarrollo en la costa norte debe ser de baja densidad, con mínimo impacto sobre los hábitats naturales.
- Debe prohibirse la construcción a menos de 4 metros sobre el nivel del mar y dejar una franja de no construcción sobre las playas, dunas costeras y manglares.
- La zona de manglares entre las islas Roatán y Santa Elena debe protegerse completamente.

5.3 MUNICIPIO E ISLA DE GUANAJA.

Figura 11: Hábitats costero marinos en Guanaja. Fuente: PMAIB, 2000

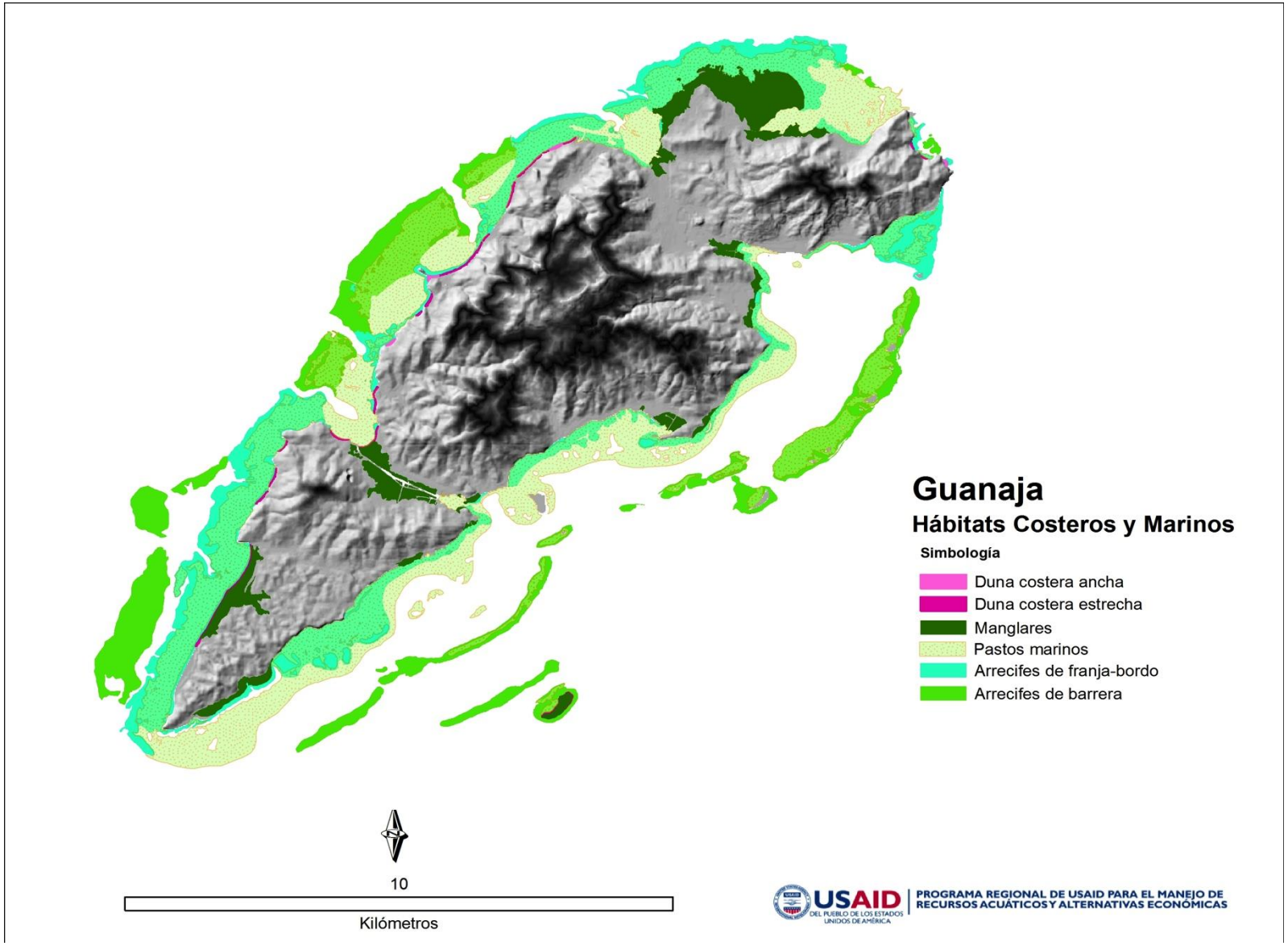


Figura 12: Mapa del índice de exposición de la costa al aumento del nivel del mar y mareas de tormenta, Guanaja. Fuente: propia.

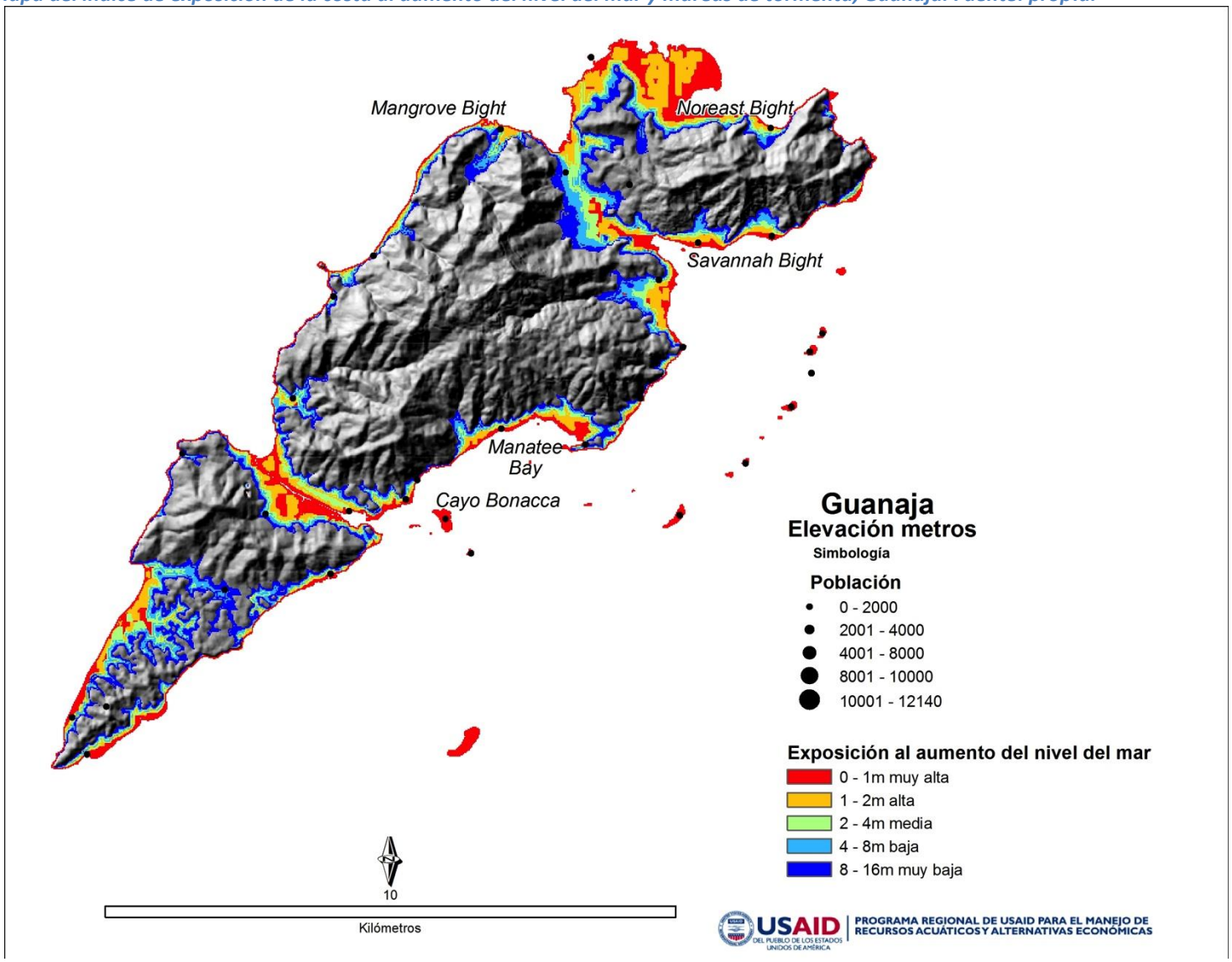


Figura 13: Mapas del índice de exposición a vientos y olas de la costa en Guanaja. Fuente: propia.

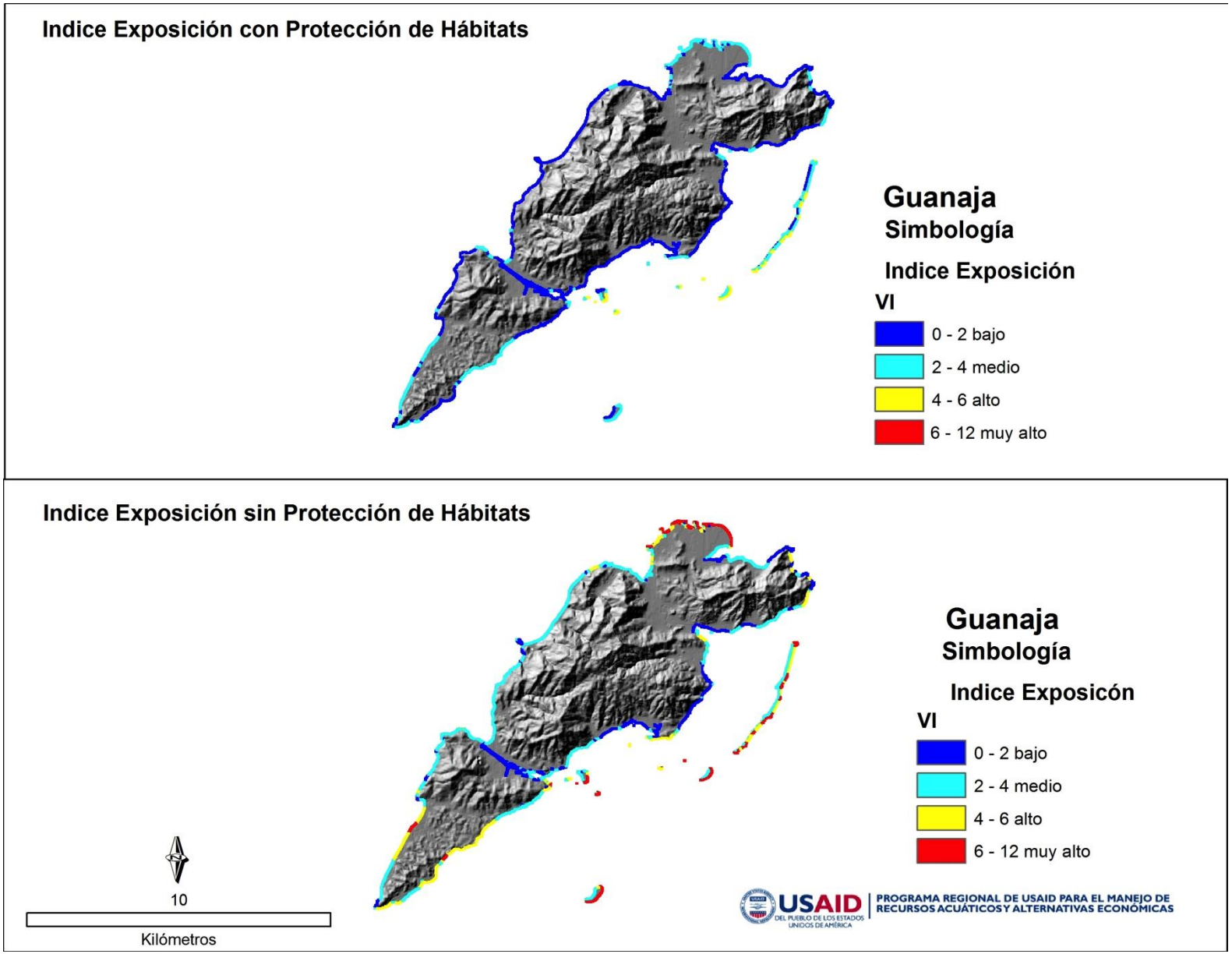
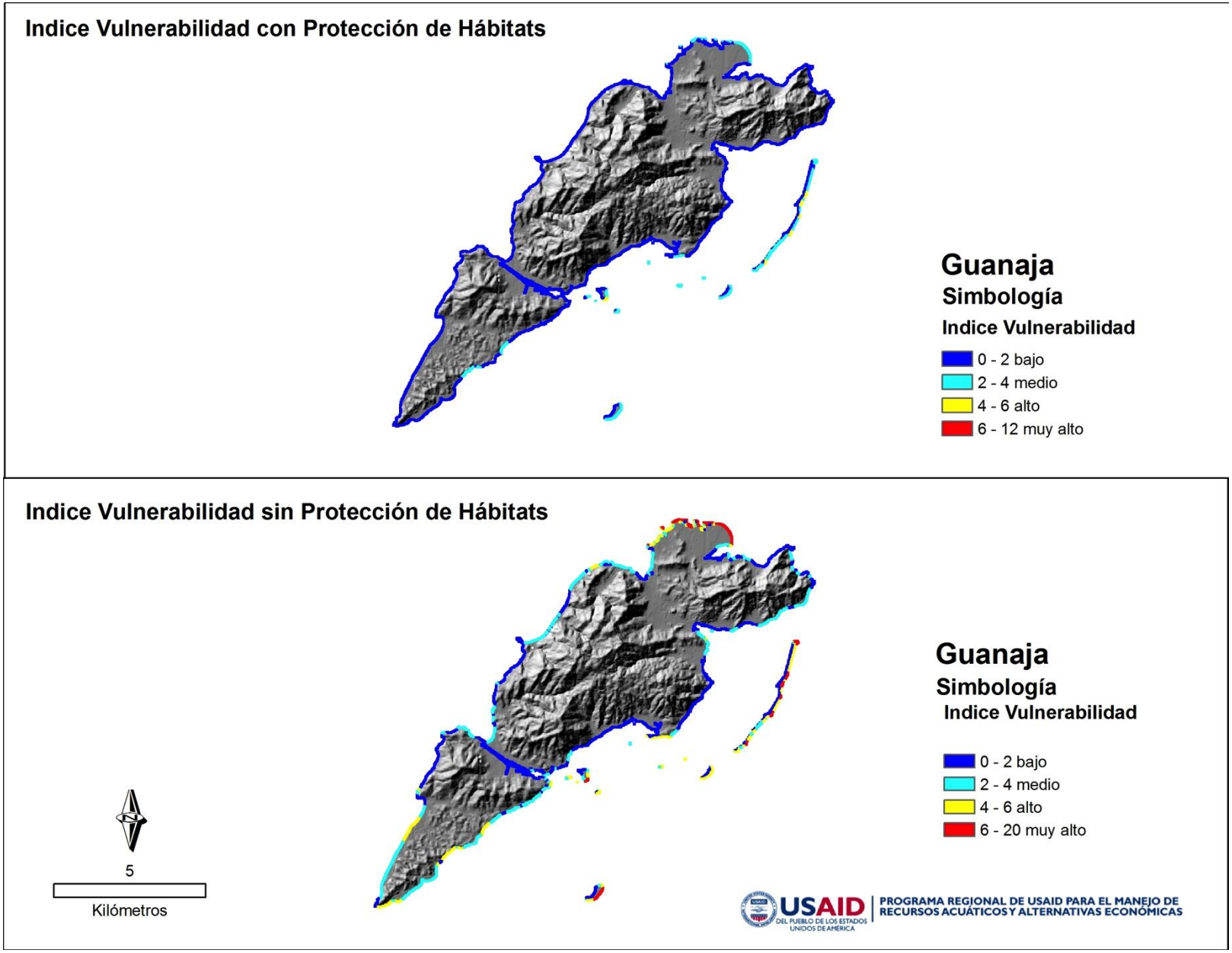


Figura 14: Mapas del índice de vulnerabilidad a vientos y olas de la costa en Guanaja. Fuente: propia



5.3.1 Características relevantes

- El eje longitudinal predominante de Guanaja es suroeste-noreste; consecuentemente sus líneas principales de costa miran hacia el noroeste y al sureste.
- La isla está rodeada de arrecifes de barrera, principalmente al sureste, creando una laguna arrecifal de entre 4 y 8 km de ancho.
- Existen una cadena de cayos en medio de la laguna arrecifal.
- En la costa norte existen arrecifes de borde importantes aunque poco desarrollados.
- La mayor población se concentra sobre el Cayo Bonacca, a una corta distancia de la costa. Las otras dos comunidades, Savannah y Mangrove Bigth se localizan en zonas bajas al noreste y noroeste de la isla.
- No existe un área natural de protección de embarcaciones grandes.

5.3.2 Discusión de resultados. Mismo comentario, vincularlo con los mapas.

- Por la orientación de su eje longitudinal, Guanaja es la isla menos expuesta a vientos y olas. Por lo tanto la diferencia de exposición con o sin hábitats naturales en Guanaja es menos significativa que en Roatán y Utila.

Costa este

- Toda la línea de costa sureste está protegida por la laguna arrecifal y por una franja de cayos e islotes, aunque su contribución a reducir la exposición es menor que en las otras islas.
- La costa menos expuesta a vientos y olas es la Bahía de Manatí; sin embargo está expuesta a inundación por ser tierras bajas.
- Las comunidades de Savannah y Mangrove Bight están protegidas de vientos y olas pero por estas construidas en tierras bajas, también están expuestas a inundación por aumento del nivel del mar.
- El Cayo Bonacco está poco expuesto a olas y vientos, pero es muy susceptible a inundación y mareas de tormenta. Su cercanía a la costa facilita su evacuación.

Costa norte

- Los manglares juegan un papel relevante únicamente en la costa norte.
- North East (Noris) Bight es la zona más expuesta por su ubicación al noreste. Y por contar con terrenos bajos y zonas extensas de manglares.
- Existen arrecifes menos desarrollados pero cumplen una función protectora, pues al modelar sin su presencia, aumenta su vulnerabilidad del área.

Coste oeste

- Las playas del suroeste están poco expuestas a vientos y olas, pero son susceptibles a inundación por aumento del nivel del mar.
- El canal de manglares que parte la isla de Guanaja está protegido de vientos y olas pero está expuesto al aumento del nivel del mar.

5.3.3 Implicaciones de manejo y ordenamiento.

Costa norte

- La costa norte no debe desarrollarse, o bien con una densidad muy baja, por ser la zona más expuesta a todos los fenómenos climáticos.
- Debe mantenerse como un área natural y continuar la restauración de los manglares.

Costa sureste

- Es clave mantener la estabilidad de la vegetación terrestre en la cadena de cayos, los pastos marinos y arrecifes para reducir la posibilidad de erosión de los mismos y mantener la barrera de protección a la costa.
- La zona más propicia para desarrollar y aumentar la densidad de construcción es la costa sureste, en particular Bahía de Manatí. Junto con las bahías del sur de Roatán, es la zona menos expuesta de las Islas de la Bahía.
- En la bahía debe regularse la construcción para que sean desarrollados sobre pilotes o en terrenos a una altura de 4 metros sobre el nivel del mar, pues está expuesta a inundaciones.
- Las demás zonas de la isla cuenta con menos protección y dependen más de los hábitats para su protección.
- Las construcciones sobre las laderas de los cerros deben regularse de forma que no se hagan movimientos de tierra que causen erosión de la montaña y sedimentación en el mar. Propiciar la construcción sobre pilotes en las laderas de montaña.
- Se recomienda detener el desarrollo del Cayo Bonacca y propiciar el desarrollo en las zonas de Guanaja menos vulnerables como Manatí y Savannah.
- También debe planearse la reubicación de sus habitantes en un mediano plazo.

Costa oeste

- Las playas del oeste son propicias para desarrollarse construyendo los desarrollos sobre las laderas de los cerros. Las playas de arena están poco expuesta a vientos y olas, pero está expuesta a aumento del nivel del mar y mareas de tormenta.

6 CONCLUSIONES

1. Los resultados indican que las zonas más vulnerables al aumento del nivel mar son los cayos, la isla de Utila, y todas las zonas de playa y manglares en el resto de islas. El análisis muestra visualmente la extensión que tendría este impacto usando el modelo de elevación digital generado por el proyecto PMAIB (2000). La población, las autoridades y los inversionistas son conscientes del riesgo de construir sobre la línea de costa y prácticamente a nivel del mar, pero esperamos que los mapas contribuyan a aumentar la conciencia sobre la necesidad de implementar alternativas a dicha prácticas y expones las áreas donde es posible hacerlo.
2.

Los resultados también indican los sectores de la línea de costa de las islas más expuestas y más vulnerables que otras ante vientos y olas. Resaltan como áreas resguardadas la Bahía de Utila, las bahías entre French Harbour y Port Royal en Roatán, y la Bahía de Manatí en Guanaja. De hecho, las poblaciones más grandes y antiguas de las islas se instalaron en estas bahías resguardas, con excepción de Cayo Boaco y los Cayitos en Utila. No es sino hasta el boom turístico que se generan construcciones dispersas en todas las zonas de playa más expuestas.

7 RECOMENDACIONES GENERALES

El modelo de impacto del aumento del nivel del mar y de marea de tormenta, junto en el índice de vulnerabilidad relativa ante vientos y olas, permiten determinar las zonas más expuestas y vulnerables de las islas de la Bahía e identificar recomendaciones para el ordenamiento territorial en proceso. En la sección anterior se han dado recomendaciones para cada municipio e isla. Acá se resumen las principales recomendaciones para todas las islas:

1. Promover el desarrollo en las zonas menos expuestas: bahías de la costa sur de Roatán y la costa sureste de Guanaja.

2. Regular estrictamente las construcciones en las áreas expuestas y limitar o reducir la densidad:
    a. Exposición muy alta: los cayos.
    b. Exposición alta: toda la isla de Utila, la costa norte de Roatán, y la costa norte de Guanaja.
    c. Exposición media: la sección West End- Flowers Bay, y costa oeste de Guanaja.

3. Limitar o prohibir el desarrollo en los cayos. Planear en el mediano plazo la reubicación de los habitantes en los cayos.

4. Propiciar la construcción sobre pilotes, una práctica muy utilizada en las Islas, en toda la línea costera en terrenos debajo de los 4 metros sobre el nivel del mar, y en las laderas, para reducir la erosión y sedimentación en el mar.

5. Proteger los hábitats naturales costeros que brindan protección costera por medio de propiciar el retiro de la línea de costa, para mantener o restaurar las dunas costeras, playas y manglares donde existan.

6. Reducir las amenazas de contaminación y sedimentación sobre arrecifes, ya que brindan protección costera muy importante.

7. Crear y aplicar ordenanzas en cada municipio del departamento de Islas de la Bahía, para evitar el saqueo de arrecife de coral muerto y arena a orilla de playa para construcciones y rellenos. Definir los tipos de mecanismos se pueden realizar para evitar perdida de playas.

Las recomendaciones de este análisis se pueden resumir en dos lineamientos:

1. Promover y concentrar el desarrollo costero en las zonas resguardas, (bahía, en terrenos sobre el nivel del mar, con pendientes más suaves, orientadas al sur). permitiendo mayores densidades.

2. Promover cambios en las prácticas de construcción que reduzcan la vulnerabilidad de las edificaciones y eviten el daño a los ecosistemas cuando estas se hagan en zonas expuestas. Las normas generales vigentes que limita la alturas de las edificaciones desincentiva las construcciones elevadas sobre polines.

8 BIBLIOGRAFÍA

Anna McIvor, Iris Möller, Tom Spencer and Mark Spalding, 2012a. Reduction of Wind and Swell Waves by Mangroves. Natural Coastal Protection Series: Report 1. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 40. The Nature Conservancy, University of Cambridge and Wetlands International.

Anna McIvor, Tom Spencer, Iris Möller and Mark, 2012b. Storm Surge Reduction by Mangroves. Natural Coastal Protection Series. Report 2. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 41. The Nature Conservancy, University of Cambridge and Wetlands International.

Carrasco, J.C., Secaira, E., y Lara, K. 2013. Plan de Conservación del Parque Nacional Marino Islas de la Bahía: Basado en Análisis de Amenazas, Situación y del Impacto del Cambio Climático, y Definición de Metas y Estrategias. ICF y USAID ProParque. 55 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.

Natural Capital Project, 2013. Coastal Vulnerability Index. http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/current_release/coastal_vulnerability.html

Proyecto de Manejo Ambiental de las Islas de la Bahia, 2000.

P. Blanchon, R. Iglesias Prieto, E. Jordan Dahlgren y S. Richards. 2010. Mitigación, adaptación y costos en los arrecifes de coral y cambio climático: vulnerabilidad de la zona costera de Quintana Roo. Pags. 229-248. En "*Vulnerabilidad de las Zonas Costeras Mexicanas ante el Cambio Climático."* Botello. A. et.at., editores. Gobierno del Estado de Tabasco. Semarnat-ine, unam-icmyl, Universidad AutoÅLnoma de Campeche. Campeche. 514 p.

USAID. 2012a. Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras. USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas. 87 p.
USAID, 2012b. Estrategias de Adaptación al Cambio Climático de las Costas del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras, USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas. xx p

USAID, 2012c. Propuesta del Plan Nacional de Adaptación para el Caribe de Honduras. USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas. xx p

USAID, 2013d. Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Zona de Protección Especial Marian Sandy Bay – West End, del Parque Nacional Marino de Islas de la Bahía, Honduras. USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas. xx p

Tolman, H.L. (2009) User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14, Technical Note, U. S. Department of Commerce National Oceanic and Atmosphere Administration, National Weather Service, Nat. Centers for Environmental Pred., Camp Springs, MD.