

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL, A.C.**

CentroGeo

Centro Público de Investigación CONAHCYT

Evaluación de la vulnerabilidad costera presente y futura en
el conjunto de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán -
Huatulco, Oaxaca

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de Información Geoespacial

Presenta

Eduardo Ernesto Dávila Lamas

Director de Tesis

Dr. José Mauricio Galeana Pizaña

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL, A.C.

CentroGeo

Centro Público de Investigación CONAHCYT

Evaluación de la vulnerabilidad costera presente y futura en
El conjunto de cuencas hidrológicas Copalita-Zimatán-Huatulco, Oaxaca.

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de Información Geoespacial

Presenta

Eduardo Ernesto Dávila Lamas

Director de Tesis

Dr. José Mauricio Galeana Pizaña

Sinodales

Dr. Jorge Paredes Tavares

Dr. Pierre Mokondoko Delgadillo

Mtro. Daniel María López López

Ciudad de México, junio, 2024

© CentroGeo. Derechos reservados. El autor otorga a CentroGeo el permiso de reproducir y distribuir copias de esta tesis en su totalidad o en partes.

Resumen

En este trabajo se evalúa la vulnerabilidad costera en el complejo de cuencas hidrológicas COZIHUA, Oaxaca, mediante la implementación del modelo InVEST. Para ello, se investigaron algunas de las metodologías recientes utilizadas en estudios de vulnerabilidad costera y se compararon sus características.

Se realizó una recopilación histórica de los desastres naturales ocurridos en el área de estudio con el fin de obtener una idea general de las condiciones actuales de vulnerabilidad en la zona. Así mismo, esta recopilación permitió el análisis de los principales riesgos que se enfrentan en la zona, así como las tendencias que los mismos están teniendo hacia años recientes, posiblemente derivadas del cambio climático global y/o por el significativo crecimiento económico que se ha tenido en el sector turístico de las Bahías de Huatulco, dentro del área de estudio.

Se realizó la recopilación de información de variables biogeofísicas para obtener una estimación del estado actual de vulnerabilidad, las cuales se usaron como insumos del modelo InVEST. Posteriormente se usó una proyección de cambio de uso de suelo estimada para el 2039 para la generación de un escenario de vulnerabilidad futuro.

Finalmente se compararon los resultados con otras investigaciones a nivel global donde se ha aplicado el mismo modelo. Con ello se identifican los principales beneficios y desventajas del modelo InVEST de vulnerabilidad costera.

Tabla de contenido	iii
Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Justificación	5
Objetivo general	7
Objetivos particulares	7
Hipótesis	7
Cap 1 Marco teórico	8
1.1. Cambio climático	8
1.2. Vulnerabilidad climática	9
1.3. Vulnerabilidad costera	11
1.4. Estado del arte	13
1.4.1. Antecedentes a nivel global	14
1.4.2. Antecedentes en México	15
Cap 2 Métodos	17
2.1. Área de estudio	17
2.1.1. Modelo InVEST	36
2.1.2. Demografía	37
2.1.3. Geomorfología y relieve	38
2.1.4. Hábitat	40
2.1.5. Exposición al viento, oleaje y potencial de arranque	42
2.1.6. Cambio climático	45
2.2. Clasificación InVEST	46
2.2.1 Geomorfología	46
2.2.2 Hábitat	47
2.2.3 Parámetros cuantitativos	48
Cap 3 Resultados	50
Cap 4 Discusión y conclusiones	57
4.1 Discusión	57
4.2 Conclusiones	61
Lista de Figuras	64
Referencias	66

Introducción

Desde los primeros asentamientos humanos, la sociedad ha tenido que coexistir con diversos procesos naturales que impactan el desarrollo económico y amenazan el bienestar de los individuos. Conforme ha pasado el tiempo ha sido necesario estudiar los diversos peligros que amenazan a las personas, así como explorar diversas metodologías que permitan identificar estrategias que disminuyan los daños provocados por los mismos.

Keller (2005) muestra que, desde mediados del siglo XX se ha tenido una tendencia creciente de forma exponencial, en las pérdidas económicas que diversos procesos naturales generan a la sociedad. Esta tendencia es corroborada a nivel Centroamérica y México, por Alcántara-Ayala (2010), quien muestra que a pesar de que cada vez se tienen menos muertes provocadas por fenómenos naturales, cada vez son más el número de eventos que afectan a la sociedad, así como las pérdidas económicas que generan. Así mismo a nivel nacional, la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.C), reporta una tendencia decreciente en la cantidad de defunciones provocadas por desastres en el país, en un análisis a partir de 1981. Estas tendencias a nivel mundial pueden tener muchas razones, particularmente en México, se pueden atribuir al progreso en investigaciones de estos fenómenos, incremento de inversiones, y la implementación de programas y políticas públicas de prevención, como es el caso del programa “Moviendo a México hacia la prevención”, implementado en el sexenio 2012 por el CENAPRED (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2021.D). La única excepción a esta tendencia general, son los incidentes por temperaturas extremas que, de acuerdo con la misma fuente, han presentado una tendencia creciente en el país a partir del año 2000.

El concepto de vulnerabilidad es amplio y dinámico, por lo que ha evolucionado a través del tiempo (Proag, 2014). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha definido la vulnerabilidad de distintas maneras a través de distintas publicaciones a lo largo de los años, algunas de ellas sencillas como la de IPCC (2014), donde se entiende por vulnerabilidad a la predisposición de un sistema a ser afectado negativamente. En esa misma publicación mencionan que la vulnerabilidad está relacionada directamente con la sensibilidad, la capacidad adaptativa y la exposición. En otras publicaciones, el IPCC define la vulnerabilidad de forma más detallada, siendo la vulnerabilidad el “grado en el que un sistema es susceptible, o incapaz de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y los eventos extremos climáticos” (IPCC, 2007; p. 6). Con base en lo anterior, en este trabajo se entenderá la vulnerabilidad como el grado en que un sistema, o parte de él, puede soportar determinado peligro. Entenderemos por peligro al posible acontecimiento de un evento, de origen natural o humano, que pueda generar daños a la infraestructura, pérdidas económicas o tener algún impacto negativo en la salud e integridad de las personas de un determinado lugar (IPCC, 2014).

De esta manera, el grado de vulnerabilidad se integra por el grado de exposición a determinados peligros, la sensibilidad del sistema a sufrir daños y su adaptabilidad a regresar a un estado de equilibrio (Wisner et al. 2004; Proag, 2014).

De acuerdo con el IPCC (2014, Anexo II: Glosario) la exposición se define como “presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura o, activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente” (pág. 132). La sensibilidad se refiere a la susceptibilidad de un sistema a modificar su comportamiento debido a factores externos. Finalmente la capacidad adaptativa es la capacidad para realizar un proceso de ajuste ante un cambio externo, tratando de moderar o evitar daños o incluso aprovechar oportunidades beneficiosas.

Sin embargo, en los años más recientes han surgido problemas complejos que demandan especialización de distintas áreas y delimitación de los conceptos. De esta manera la vulnerabilidad ha evolucionado para ayudar a definir y resolver los problemas actuales que enfrenta la sociedad, por lo que la vulnerabilidad se entiende en estudios recientes como el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la amplia variación del clima y los eventos extremos (Wisner, 2016). Con esto podemos observar que la vulnerabilidad se ha ido especializando en diferentes sistemas sociales, económicos y ambientales (Proag, 2014), dentro de los cuales Bevacqua et al. (2018) resaltan la relevancia de los ambientes costeros.

De acuerdo con el análisis de Bevacqua et al. (2018) se comenzó a estudiar la vulnerabilidad costera en la década de 1950, en una investigación enfocada al análisis de la erosión de las costas que impedía el desarrollo. En esta investigación de Kidson (1950) se concluye que la erosión que se presenta en el poblado de Dawlish Warren, Inglaterra, la cual es generada principalmente por la desembocadura del río Exe, generaba una constante reducción en el área de playas. Así mismo, destaca que para poder proteger a la localidad y continuar con el desarrollo de infraestructura, primero es necesario el desarrollo de infraestructura costera que reduzca las altas tasas de erosión. A partir de eso, el concepto de vulnerabilidad ha evolucionado a través del tiempo, y en las últimas décadas se ha tenido un incremento significativo de la literatura del tema, aunado a las grandes pérdidas económicas y sociales que eventos hidrometeorológicos han generado.

Bevacqua et al. (2018) identifican que los estudios de vulnerabilidad de finales del siglo pasado se enfocaban en estimar la vulnerabilidad priorizando el bienestar social, sin embargo, en los últimos años este enfoque se ha ampliado, considerando simultáneamente el bienestar de los ecosistemas, a través de los servicios ecosistémicos. Los mismos autores mencionan que el desarrollo social altera la productividad y calidad de los servicios ecosistémicos, y con ello modifican la vulnerabilidad. Más adelante en este trabajo, entraremos en mayor detalle con los servicios ecosistémicos, delimitándolos a los ambientes costeros, así como la relación entre el bienestar social con el medio ambiente.

El modelo InVEST de vulnerabilidad costera se centra en factores físicos y biológicos en su evaluación, y a pesar de tener limitaciones al considerar pocas variables sociales y económicas, ha demostrado ser una herramienta útil para una evaluación preliminar eficiente de la vulnerabilidad, así como para la generación de distintos escenarios de vulnerabilidad bajo diversas circunstancias (Ai et al. 2022; Zhang et al. 2021).

Planteamiento del Problema

Las Bahías de Huatulco son uno de los principales destinos turísticos México, tanto para visitantes nacionales como internacionales (SECTUR, 2013). En la zona se ha tenido un gran crecimiento económico en los últimos años potenciado principalmente por el sector turístico (SECTUR, 2013; Juárez-Hernández et al., 2018; Secretaría de Turismo del Estado de Oaxaca, 2022). Dicho crecimiento y la redistribución de la población implica una modificación en la vulnerabilidad del área de estudio (Wisner, 2016).

El crecimiento económico que se ha tenido en el área de estudio ha proyectado un constante aumento en la población desde mediados del siglo pasado (Figura 1.1).

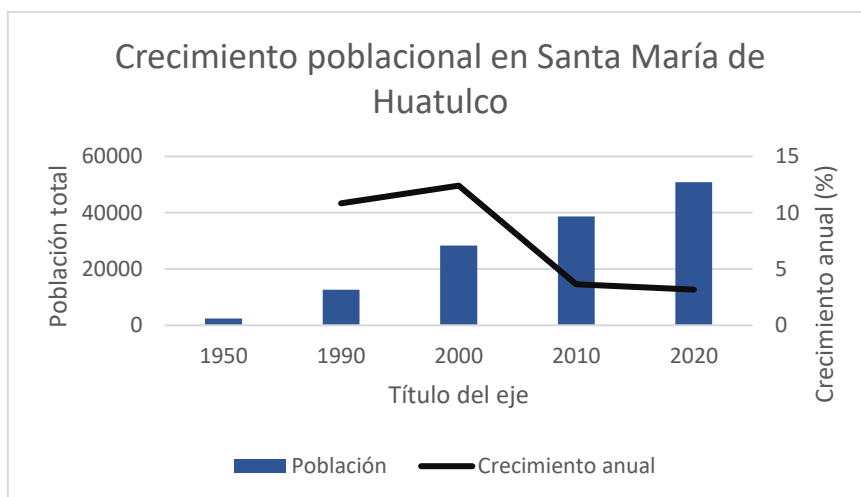


Figura 1.1. Crecimiento poblacional en el municipio de Santa María de Huatulco. Elaboración propia con datos de SEDESOL, et al. (2012) y [DataMÉXICO](#).

El mayor incremento se dio en la década de los 90, con una tasa de crecimiento anual de 12.4%, este aumento es atribuido a la creación del proyecto turístico Bahías de Huatulco, con el cual se expropiaron 18,000 hectáreas del municipio y se comenzó a establecer como uno de los principales destinos turísticos del país, ofreciendo oportunidades laborales a los habitantes de pequeños municipios cercanos (Gobierno Federal, 2012).

Existen diversos indicadores que demuestran el crecimiento económico que se ha tenido en el municipio de Santa María de Huatulco, además de la población. El portal [DataMÉXICO](#) permite visualizar varios de éstos, como lo son la inversión extranjera, los salarios y la población ocupada, la inmigración, el acceso a servicios básicos, la calidad

de vida, entre otros. Sin embargo, por su posición geográfica, la zona es considerada expuesta a los peligros sísmicos y fenómenos hidrometeorológicos (SEDESOL et al. 2012).

A pesar de que cada vez son menos los decesos generados por desastres, desde la década de 1970 se ha identificado a nivel mundial un incremento en el número de desastres que generan daños a la comunidad, así como en el total de personas afectadas y daños económicos que provocan estos eventos (Alcántara-Ayala, 2010; Guha-Sapir et al. 2013). Esta tendencia creciente se acentúa desde años 90 (Alcántara-Ayala, 2010).

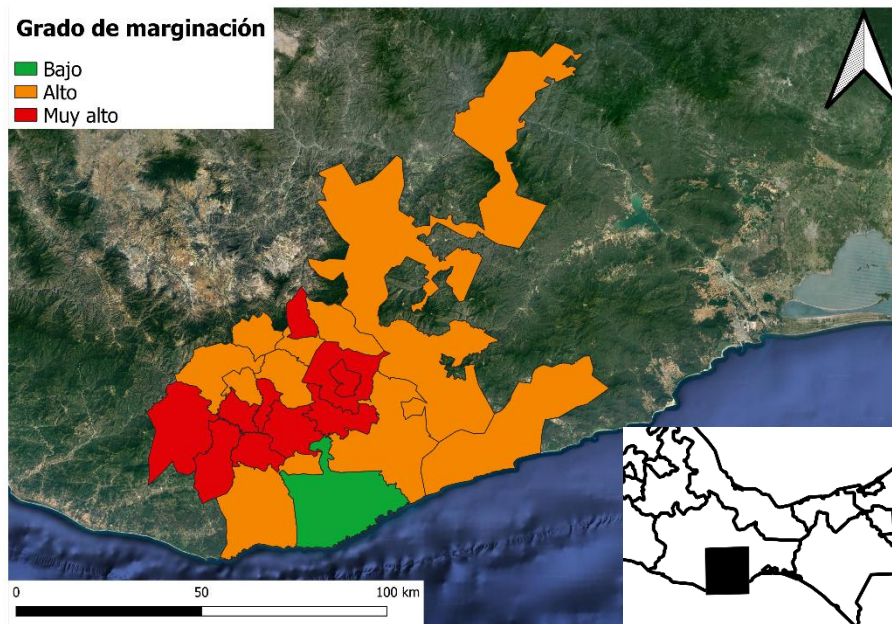


Figura 1.2. Grado de marginación por municipio en el área de estudio. Modificado de Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).

En el área de estudio, el grado de marginación permite observar la relevancia que el desarrollo turístico de las Bahías de Huatulco tiene en la zona (Figura 1.2). Este indicador es monitoreado por la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana y, permite notar un alto o muy alto grado de marginación en los municipios aledaños a Santa María de Huatulco (Figura 1.2), municipio donde encontramos la zona turística de las Bahías de Huatulco, el cual presenta un bajo grado de marginación. En general, Oaxaca es considerado de los estados con mayor rezago social del país teniendo alrededor del 80% de sus municipios con grado de marginación alto o muy alto (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2019).

Además del alto grado de marginación en el área de estudio, el trabajo de Monterroso et al. (2014) identifica a Oaxaca como uno de los estados con mayor grado de sensibilidad climática del país junto con Chiapas y Campeche. Así mismo, identifica a Oaxaca con grado de exposición climática predominantemente medio y alto, también siendo de los estados con mayor exposición del país. Por otra parte, Monterroso et al. (2014) clasifican a Oaxaca, en su mayoría, con capacidad adaptativa media.

Más adelante en este trabajo, daremos más detalles respecto al área de estudio y sus características, sin embargo, es importante destacar que solo 1 municipio, Santa María de Huatulco, tiene grado de marginación bajo. El resto de los municipios presenta marginación alta o muy alta, lo que coincide con la conclusión generalizada de la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019) de que el estado de Oaxaca presenta tiene índice de marginación estatal muy alto.

Junto con la marginación, el nivel de pobreza de una localidad afecta significativamente la vulnerabilidad (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2021.A). De acuerdo con la misma fuente, en el estado de Oaxaca poco más del 65% de la población se encuentra en situación de pobreza, y casi el 30% en pobreza extrema.

Por otra parte, más adelante veremos que la capacidad adaptativa, sensibilidad y grado de exposición, integran el grado de vulnerabilidad, y los municipios que integran al área de estudio, son en su mayoría clasificación media en estos 3 parámetros de acuerdo con Monterroso et al. (2014).

El alto grado de vulnerabilidad que presenta el área de estudio, se ve reflejado también en la gran cantidad de desastres como huracanes, incendios, sismos, entre otros; que año tras año impactan la zona, generando grandes pérdidas económicas e incluso de vidas humanas. Posteriormente en este trabajo se analizarán a detalle estos desastres, así como su tendencia en los años más recientes.

Justificación

Existe una gran cantidad de estudios de vulnerabilidad costera, así como de metodologías e índices para realizar estimaciones cuantitativas de la misma. Bevacqua et al. (2018) realizaron un análisis evolutivo de la vulnerabilidad de los ambientes costeros, pues la vulnerabilidad costera se ha definido y abordado de distintas maneras a través del tiempo. Estos autores identificaron que todo desarrollo social genera una modificación de los servicios ecosistémicos, y por lo tanto modifica la vulnerabilidad de las comunidades en desarrollo. Por lo tanto, al tener crecimiento económico como el presentado en el área de estudio modifica la vulnerabilidad de los habitantes del lugar, así como la cantidad de persona vulnerables. Por ello, este estudio permitirá conocer los principales factores que incrementan o regulan la vulnerabilidad, así como los puntos geográficos específicos con mayor vulnerabilidad.

En México, se han aplicado diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad en ambientes costeros. Sin embargo, se han enfocado principalmente en zonas con mayor desarrollo económico, como lo son la Península de Yucatán, la de Baja California y el Golfo de México; dejando de lado sectores menos favorecidos como Guerrero, Chiapas y Oaxaca, que es donde se suelen tener mayor cantidad de pérdidas económicas y la población suele estar más expuesta (Bitrán-Bitrán, 2001). González-Baeza et al. (2017) integraron distintas metodologías para la evaluación de vulnerabilidad costera en las costas de la ciudad de La Paz, Baja California Sur. Primero usaron una modificación del modelo PSR (presión-estado-respuesta) con acercamiento al proceso

de gestión ecológica de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), evaluando un total de 11 sub-índices cuyos valores eran asignados a determinados polígonos, y finalmente con álgebra de mapas, obtenía el índice compuesto de vulnerabilidad (CVI, por sus siglas en inglés). De forma similar Vázquez-González et al. (2014) realizaron la operación entre diversos índices, haciendo la asignación de cada uno de ellos en los municipios que abarcaba el área de estudio.

Diversos trabajos de vulnerabilidad costera en México se han enfocado en delimitar el valor de vulnerabilidad dentro de un polígono determinado. Primeramente, en estudios como el de Vázquez-González et al. (2014) los polígonos correspondían a limitaciones sociales, como lo son las fronteras entre municipios. En ese trabajo se evaluó la vulnerabilidad basándose predominantemente en la sensibilidad en el Sistema de la Laguna de Alvarado, Veracruz, detonada por la explotación del sistema por la producción de caña de azúcar. Posteriormente González-Baeza et al. (2017) propusieron una segmentación de su área de estudio más compleja y delimitada, en la cual los polígonos se generaron considerando las cuencas hidrográficas, la fisiografía y el uso de suelo, lo que permitió un estudio más detallado, aunque aun limitando la vulnerabilidad a zonificaciones naturales. Para este trabajo, se integró la vulnerabilidad considerando un índice de presión, y uno de fragilidad, con los cuales a su vez se conformaban por diversos indicadores e índices buscando así una valoración integral de la vulnerabilidad, considerando exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Este tipo de delimitaciones poligonales cambió para el trabajo de Mendoza et al. (2016), quienes segmentaron la línea costera de su área de estudio cada 200 m, y posteriormente evaluaron y operaron diversos índices, manteniendo una valoración integral de la vulnerabilidad costera que no se restringa a límites político-administrativos o naturales. Este trabajo realizado a lo largo de toda la línea de costa del estado de Yucatán, a pesar de ofrecer mejor resolución, dejaba varias áreas sin valoración de vulnerabilidad entre cada punto de evaluación, principalmente por la gran extensión de su área de trabajo. De esta manera, se puede notar que en México se sigue teniendo la necesidad de estudios de vulnerabilidad costera, con valoraciones de mayor resolución espacial, problema que ya ha sido trabajado en otros estudios a nivel mundial (Wang et al., 2014; Koroglu et al., 2019; Zhang et al., 2021).

El modelo de Valoración Integral de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones de Ecosistemas (InVEST por sus siglas en inglés), es otra alternativa para poder evaluar la vulnerabilidad. Esta propuesta de Tallis et al. (2011) se ha usado en diferentes estudios alrededor del mundo para evaluar la vulnerabilidad y proyectar estados bajo distintos escenarios (Arkema et al., 2013; Hopper y Meixler, 2016; Cabral et al. 2017, Zhang et al. 2021), sin embargo, aún no hay trabajos que incluyan este modelo en México. El modelo se basa predominantemente en la integración de variables biofísicas en un índice de exposición (Tallis et al. 2011), que a pesar de no considerar la capacidad adaptativa o la sensibilidad, permite una obtener una estimación del grado de vulnerabilidad y la valoración de cambios, a través de la generación de distintos escenarios.

El modelo de vulnerabilidad costera de InVEST permite cuantificar el grado de vulnerabilidad de forma puntual a lo largo de la línea de costa en el área de estudio, sin delimitarse a zonificaciones de origen social, político o ambiental (Tallis et al., 2011). Otro beneficio de acuerdo con los creadores del modelo es que facilita la generación de distintos escenarios, tanto para valoraciones históricas (Hopper y Meixler, 2016), como para la proyección de escenarios futuros considerando distintas alteraciones de los ecosistemas presentes (Arkema et al., 2013; Zhang et al. 2021). Sin embargo, a pesar de que el modelo tiene robustez en la valoración de vulnerabilidad considerando distintas variables biofísicas Zhang et al. (2021) optaron por complementar el modelo integrando índices de vulnerabilidad para considerar las variables de sensibilidad y de capacidad de adaptación.

Objetivo General

Evaluar la vulnerabilidad costera presente y futura del complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco ante los fenómenos hidrometeorológicos.

Objetivos Particulares

- Analizar la literatura existente en torno a estudios de vulnerabilidad costera a nivel global y nacional.
- Conocer las condiciones sociodemográficas de las localidades costeras del área de estudio.
- Identificar los patrones espaciales de los atributos que integran el índice de vulnerabilidad.
- Estimar la vulnerabilidad costera.
- Comparar los resultados de vulnerabilidad costera actual contra el escenario de cambio de uso de suelo tendencia al 2039.

Hipótesis

El crecimiento económico, potenciado principalmente por el turismo en combinación con factores ambientales, es causante del aumento en la vulnerabilidad de las comunidades costeras del complejo de cuencas hidrológicas Copalita-Zimatán-Huatulco.

Capítulo I Marco teórico

Cambio climático

El Sol es la fuente de energía que pone en marcha los ciclos biológicos en el planeta, permitiendo la fotosíntesis, el ciclo del agua y temperatura idónea para el desarrollo de vida (Lindsey, 2009). De forma natural existe balance entre la cantidad de energía que el planeta absorbe del Sol y la que se emite al espacio, sin embargo, este balance ha sido alterado por el ser humano con la introducción de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono (CO_2) generado por la quema de combustibles fósiles, lo cual incrementa la energía que retiene el planeta produciendo calentamiento global y de esta manera se ponen en marcha diferentes procesos de cambio climático (Lindsey, 2009; Mulhern, 2020).

El planeta presenta ciclos geológicos, que han generado fluctuaciones iterativas en las concentraciones de CO_2 desde hace millones de años (Figura 2.1.A), estos ciclos tenían duraciones en escala de tiempo de cientos de miles de años. Sin embargo, la mano del hombre ha alterado estos ciclos en un periodo de tiempo de tan solo unas décadas, alcanzando concentraciones máximas en los últimos años (Mulhern, 2020). La revolución industrial, a finales del siglo XVIII e inicios del XIX, es el factor detonante de este incremento extraordinario (Figura 3.B), incrementando la acidez de los océanos cambiando de un pH de 8.21 a 8.10 y, aumentando la concentración atmosférica de CO_2 de 280 ppm a 420 ppm, entre otros muchos efectos del cambio climático (Lindsey, 2020; Mulhern, 2020).

La Figura 2.1.B permite darnos cuenta del impacto que el ser humano ha generado en la concentración de CO_2 , el cual es responsable de dos terceras partes del desequilibrio total de energía del planeta que provoca el calentamiento global (Lindsey, 2020). El CO_2 no es el único GEI que se ha incrementado por la mano del hombre, el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), gases fluorados, vapor de agua y cloro fluro carbonos (CFV) son gases de efecto invernadero, los cuales tienen tendencia creciente en los últimos años y todos contribuyen al cambio climático (Denchak, 2019; Lindsey, 2020; Dlugokencky y Tans, 2022).

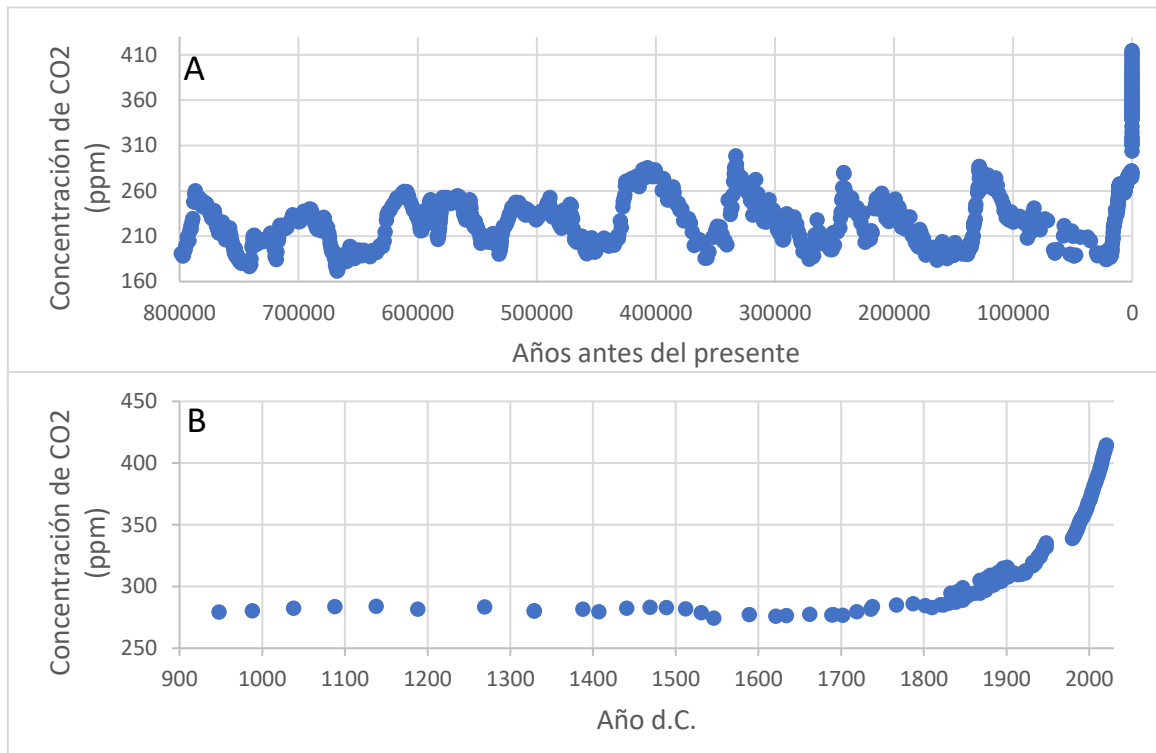


Figura 2.1. Concentración de CO₂ de los últimos 800,000 años. A) Permite ver la variación cíclica en tiempos geológicos. B) Destaca el cambio en la tendencia global a partir de la revolución industrial. Gráficas de elaboración propia con datos de Etheridge et al. (1996), Lüthi et al. (2008) y Dlugokencky y Tans (2022).

En la actualidad existe una inmensa cantidad de investigaciones que evidencian el cambio climático global desde diversas ramas del conocimiento. Los principales fenómenos monitoreados del cambio climático son el aumento de la temperatura atmosférica y de los océanos, el derretimiento y retroceso de los glaciares, incremento del nivel medio del mar, aumento de la temperatura del aire, incremento de los eventos extremos (sequías, tormentas, lluvias, entre otros), la acidificación de los océanos (NASA, 2022) así como los estudios de vulnerabilidad (Proag, 2014). Estos eventos generan grandes pérdidas económicas y una constante degradación de los ecosistemas.

Vulnerabilidad climática

A pesar de que el concepto de vulnerabilidad ha evolucionado a través de los años y se ha aplicado a diferentes campos del conocimiento (Wisner, 2016; Bevacqua et al. 2018; Koroglu et al. 2019); en la actualidad se puede destacar que la vulnerabilidad implica 2 factores importantes: una alteración, cambio o fenómeno y; la capacidad de un sistema para adaptarse o responder a ello (Proag, 2014; Wisner, 2016; Bevacqua et al. 2018;).

El cambio climático altera a los sistemas terrestres poniendo a prueba su sensibilidad, teniendo así repercusiones directas en el grado de vulnerabilidad (Wisner, 2016). A este grado de vulnerabilidad, modificado por el cambio

climático se le conoce como vulnerabilidad climática, también llamada vulnerabilidad al cambio climático, la cual se ha convertido en una de las prioridades para las investigaciones recientes de cambio climático (IPCC, 2022). La relación entre vulnerabilidad y cambio climático se observa desde la definición que el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), le da a la vulnerabilidad, siendo el “grado en el que un sistema es susceptible, o incapaz de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y los eventos extremos climáticos” (IPCC, 2007; p. 6), definición que sigue vigente en investigaciones recientes de asesorías en vulnerabilidad (Sharma y Ravindranath, 2019).

En la Figura 2.2 se presenta un esquema que resume la definición de vulnerabilidad, y los factores que involucra. En esta figura se puede observar que el cambio climático es el punto de partida en la comprensión de la vulnerabilidad, pues genera efectos adversos que producen diferentes riesgos climáticos y, por lo tanto, modifican la vulnerabilidad de un sistema (IPCC, 2007; Abid et al. 2016). De acuerdo con Abid et al. (2016), los riesgos climáticos son detectados por las comunidades afectadas, a quienes se les alteran sus medios de sustento por cambios en el uso de suelo, pudiendo generar deceso en el ganado, sequía en campos de cultivo, pérdida de vegetación enfermedades en ganado o incluso en la misma comunidad, entre otros.

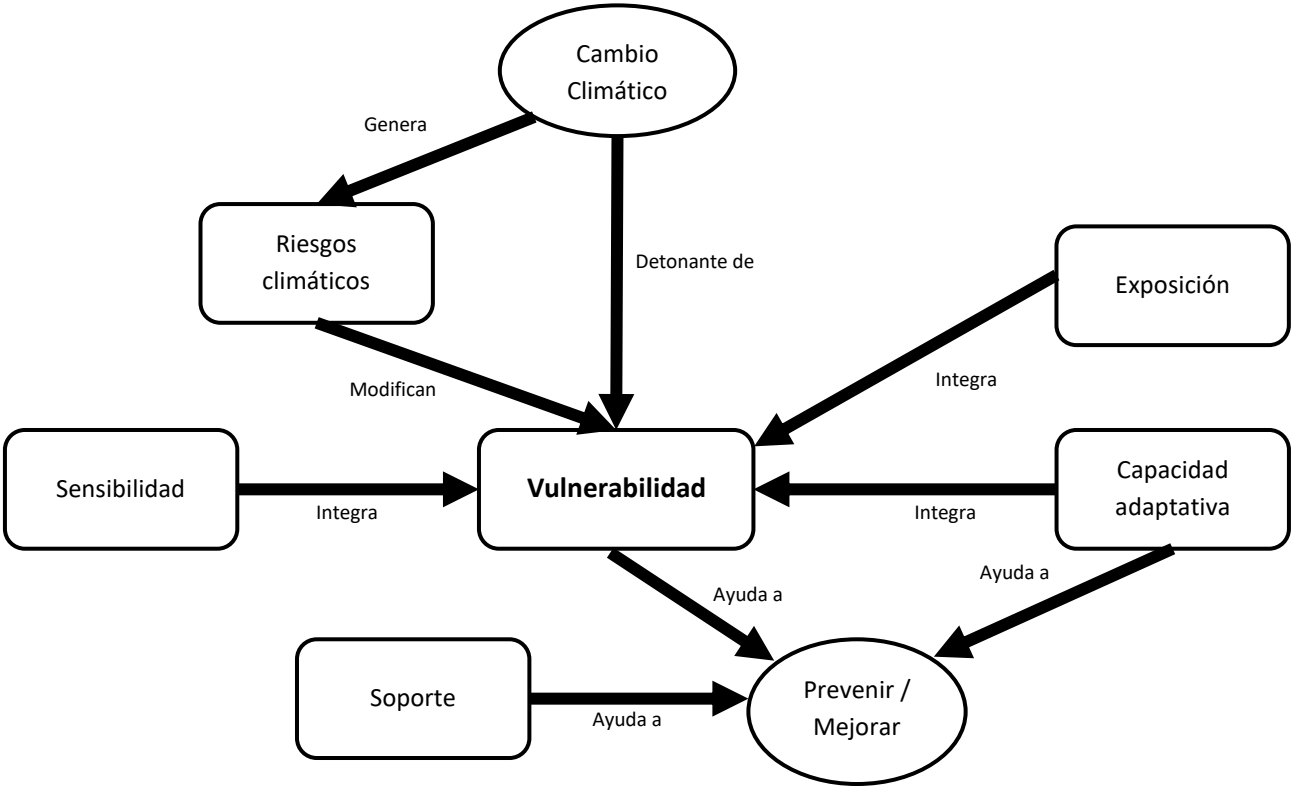


Figura 2.2. Esquema de factores que integran la vulnerabilidad. Modificado de Abid et al. (2016).

El objetivo de los estudios de vulnerabilidad es mejorar el bienestar de una comunidad aumentando su resiliencia al cambio climático, entendiendo por resiliencia a la habilidad de un sistema de absorber y recuperarse del impacto de eventos estresantes sin cambiar sus funciones y su estructura (Proag, 2014; Abid et al., 2016). De acuerdo con Abid et al. (2016) la única manera de lograr este objetivo es a través de soporte económico, científico y tecnológico, de colaboraciones a nivel local, nacional y, en algunos casos, internacional (Figura 2.2).

Proag (2014) destaca la importancia del análisis de vulnerabilidad en las investigaciones actuales del cambio climático, considerando investigaciones integrales a nivel comunidad que atiendan las condiciones particulares de cada zona y, que consideren el manejo de desastres, la ecología, salud pública, pobreza, desarrollo, entre otros.

Vulnerabilidad costera

Es de gran importancia el análisis de la vulnerabilidad en los ambientes costeros, debido a que representan la zona de interacción entre los ambientes marinos, continentales y la atmósfera; por lo que son muy dinámicos y con procesos ecológicos acelerados (CONABIO, 2008). Estas características les hacen de alta relevancia para el desarrollo social, sin embargo, suelen ser vulnerables ante el cambio climático (DOF, 2018; Vignati, 2017).

Actualmente los ambientes costeros son considerados importantes por la significativa cantidad de servicios ecosistémicos que brindan (CONABIO, 2008; Figura 2.3).

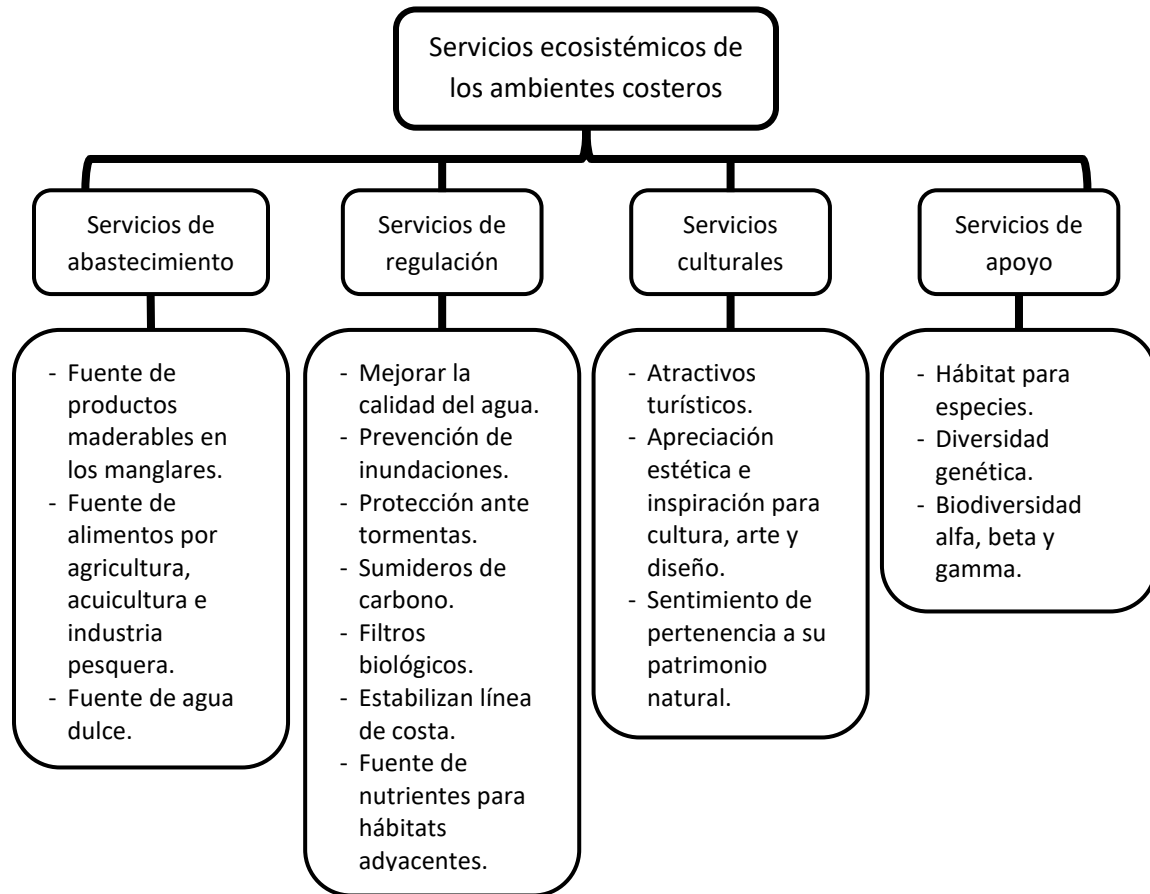


Figura 2.3. Servicios ecosistémicos de los ambientes costeros. Elaboración propia con información de CONABIO (2008), Vignati (2017) y FAO (2022).

El uso de los servicios ecosistémicos costeros es dominado principalmente por la industria del turismo, lo que a su vez genera urbanización y desarrollo, reduciendo así la capacidad y calidad de los ecosistemas a brindar servicios de regulación y de apoyo (Balvanera, et al. 2009). Esto a su vez afecta los servicios restantes resultando en incremento del grado de vulnerabilidad costera (Bevaqua et al. 2018). Esta degradación de los servicios ecosistémicos se genera principalmente por actividades como la tala ilegal, incendios forestales, las plagas y enfermedades y contaminación de agua lo que se refleja también en la pérdida de biodiversidad (Monterroso et al. 2014).

La urbanización de ambientes costeros, el incremento de actividades turísticas y el cambio climático, convierten a las costas en ambientes cada vez más estresados (Noor y Abdul-Maulud, 2022) pues se está modificando la línea de costa, se afectan a ecosistemas sensibles, se contamina aire y agua y, se alteran los sistemas hídricos locales y regionales (Blackburn y Pelling, 2014). Un ejemplo de ello se observa en los manglares, pues su distribución y salud depende de diversos parámetros físico-químicos que se están alterando, como lo son la salinidad, el nivel del agua, pH, aporte de sedimentos, nivel de oxígeno y el estrés hidrodinámico (CONABIO, 2008).

Debido a la importancia de los ambientes costeros, en los años más recientes se ha presentado un aumento en el número de investigaciones de vulnerabilidad costera,

pues 47 de las 101 ciudades más grandes del mundo son costeras, y de éstas, 25 se encuentran en zonas sísmicas (Hoornweg y Pope, 2016). Complementariamente, alrededor del 60% de la población mundial vive en ambientes costeros (Wang et al., 2014).

Bevacqua et al. (2018) presentan un análisis histórico de las investigaciones de vulnerabilidad en ambientes costeros, encontrando un entendimiento temprano del concepto en 1950, con un trabajo de erosión costera en Gales. Sin embargo, los mismos autores identifican que fue hasta la década de los 90 que se tuvo un aumento significativo en la cantidad de publicaciones del tema, incrementando aún más en años recientes, como se vio anteriormente.

Estado del arte

En la actualidad, la correcta implementación de un proyecto de desarrollo sostenible y/o de reducción de riesgos, requiere como primer paso la evaluación de vulnerabilidad en el área de estudio (Canul-Turriza, 2020).

Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad costera es dinámica e involucra diversos factores físicos, geológicos y socioculturales, existen diversas metodologías para su evaluación (Noor y Abdul-Maulud, 2022). Estos autores agrupan los trabajos de evaluación de vulnerabilidad en 4 tipos: índices, indicadores, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos dinámicos computacionales.

Los índices, permiten clasificar zonas costeras en grupos homogéneos con características comparables, asignando valores numéricos a diferentes atributos, permitiendo así operacionalizar la información (Noor y Abdul-Maulud, 2022). El más usado a la fecha es el índice de vulnerabilidad costera (IVC), presentado por Gornitz (1990), el cual tiene décadas siendo utilizado en diferentes zonas de estudio (Noor y Abdul-Maulud, 2022). Debido a la gran adaptabilidad de este índice, ha sido posible su aplicación en ambientes tropicales, subtropicales e incluso en ambientes cercanos al ártico como Estados Unidos y Canadá, considerando diferentes parámetros de acuerdo con las características de cada zona (Núñez-Gómez et al. 2016). Aún en investigaciones recientes, presenta gran aceptación y validez para la evaluación de vulnerabilidad costera (Koroglu et al., 2019; Noor y Abdul-Maulud, 2022).

Por otra parte, los indicadores de vulnerabilidad consideran la exposición a distintos riesgos potenciales, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de una zona determinada (Noor y Abdul-Maulud, 2022). Para ello consideran los procesos físicos en la zona y analizan factores socioeconómicos, como lo son el turismo, urbanización, agricultura, industria, entre otros (Noor y Abdul-Maulud, 2022). Es decir, los indicadores son cualquier factor que pueda modificar el grado de vulnerabilidad de un sistema. Por otra parte, en los estudios de vulnerabilidad costera, los SIG son una herramienta ampliamente usada para la presentación de los resultados, así como el manejo y procesamiento de éstos, permitiendo la visualización de escenarios con distintas

condiciones, así como el monitoreo de una determinada área a través del tiempo (Noor y Abdul-Maulud, 2022).

Finalmente, los modelos dinámicos computacionales fueron implementados en estudios de vulnerabilidad costera con el fin de simular y estudiar el comportamiento de un sistema complejo con el procesamiento matemático de numerosas variables que describen el área de estudio (Instituto Nacional de Bioingeniería e Imágenes Biomédicas, 2016; Noor y Abdul-Maulud, 2022).

A continuación, se presentan y describen brevemente investigaciones recientes nacionales e internacionales, donde se aplican distintas metodologías para la evaluación de vulnerabilidad costera.

Antecedentes a nivel global

Una metodología que ha sido usada en los estudios recientes de vulnerabilidad costera es el proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) también conocido como un proceso de toma de decisión multicriterio (MCDM, por sus siglas en inglés; Hossain et al. 2022). Esta herramienta matemática surgió a finales de la década de los 70 (Saaty, 1977) con fundamentos en la psicología, sin embargo, su aplicación se puede generalizar a diversos campos del conocimiento como lo son economía, administración, política, sociología, tecnología y de forma general, en cualquier campo donde se desee aplicar una revisión sistémica (Madzík y Falát, 2022).

Murali et al. (2013) fueron los primeros en aplicar AHP para un análisis de vulnerabilidad costera. Después de ello, y aún en la actualidad, diversos estudios evalúan la vulnerabilidad costera mediante el uso de esta herramienta, tal como el trabajo de Hossain et al. (2022) que compara AHP con CVI y encuentra correlación entre ambos modelos de 0.99 para el estrecho costero Purba Medinipur-Balasore, India. Otro ejemplo reciente es el trabajo de Thirumurthy et al. (2022.) en las costas de los distritos Kancheepuram y Tiruvallur, también en India, donde destacan la importancia del método para la identificación de zonas de interés en la prevención de desastres.

El Índice de vulnerabilidad costera (CVI por sus siglas en inglés) es la metodología más usada desde su origen a fines del siglo pasado y hasta la fecha (Noor y Abdul-Maulud, 2022). Este índice se ha modificado en diferentes investigaciones, teniendo en cuenta distintos parámetros para su evaluación, así como variaciones en las operaciones que utiliza el CVI (Koroglu et al. 2019). La adaptabilidad del CVI, ha permitido que el método se siga aplicando en distintas regiones del mundo con condiciones geográficas muy distintas, como lo son en la India (Hossain et al. 2022), Finlandia (Kovaleva et al. 2022), Brazil (Siquiera, et al. 2021), Italia (Furlan et al. 2021), entre otros. Además, la versátil aplicación del CVI ha permitido que la evaluación de vulnerabilidad aborde distintos objetivos, como el anidamiento de tortugas marinas (Siquiera, et al. 2021), la planeación urbana (Hossain et al. 2022; Kovaleva et al. 2022), la prevención de riesgos (Kantamaneni et al. 2022), entre otros.

El CVI, además de poder aplicarse en distintas costas del mundo, puede aplicarse en una misma área de estudio, como en la investigación de Koroglu et al. (2019) donde se compara la evaluación del CVI en la costa de Barcelona, España, mediante distintas modificaciones del índice, permitiendo visualizar las distintas clasificaciones del índice y sus parámetros al modificar el CVI.

Los métodos mostrados hasta ahora buscan cuantificar la vulnerabilidad costera a partir de características físicas-geológicas o identifican el rol de los hábitats naturales en reducir el riesgo de inundación y erosión en áreas determinadas (Tallis et al., 2011). El modelo de valoración integral de servicios ecosistémicos y compensaciones (InVEST, por sus siglas en inglés) fue diseñado para considerar las variables físicas-geológicas y el hábitat natural por igual en la valoración de vulnerabilidad costera (Tallis et al., 2011).

Desde su origen, el modelo InVEST se ha aplicado a diversas investigaciones con diferentes objetivos, tales como el trabajo de Ai et al. (2022), donde, con el modelo, evalúan la vulnerabilidad costera de la Bahía Jiaozhou, China, para posteriormente identificar la posible correlación espacial de la vulnerabilidad. Un beneficio del modelo es que permite la evaluación en diferentes escalas espaciales y temporales, además de permitir simular diferentes escenarios físicos-geológicos o con diferentes hábitats (Tallis et al., 2011), esto se puede ver en la investigación de Jackson et al. (2022) donde simulan la vulnerabilidad para escenarios futuros, años 2050 y 2100, considerando 3 variantes: siguiendo las condiciones actuales, implementando protección de la zona costera y un escenario de degradación, eliminando la protección y regulaciones actuales; este trabajo se realizó en los condados de Escambia y Santa Rosa en Florida, E.E.U.U.

Antecedentes en México

Gran parte del territorio nacional es ambiente costero, pues de las 32 entidades federativas del país 17 tienen costa, sumando 263 municipios costeros con un total de 11,122 km de costa en el país sin considerar las islas, por ésto en México se desarrollan constantemente investigaciones desde distintos enfoques, en los ambientes costeros (DOF, 2018). Algunas de las investigaciones frecuentes en los ambientes costeros son los estudios de vulnerabilidad.

Se han aplicado diferentes metodologías para cuantificar la vulnerabilidad costera en distintas costas del país, tales como el trabajo de Marín-Monroy et al. (2021) donde se compara la percepción del grado de vulnerabilidad que tienen las comunidades a fenómenos hidrometeorológicos, con la zonificación de vulnerabilidad generada tras el impacto del huracán Odile en 2014. En este trabajo identificaron que para las comunidades de Los Cabos, la exposición, la adaptabilidad (refiriéndose al capital, grado de educación, y cultura de prevención de desastres) y la sensibilidad (refiriéndose a los materiales de construcción de las casas) explican en un 64% la varianza entre la percepción de vulnerabilidad socioambiental y el índice de vulnerabilidad costera.

Ávila-Flores et al. (2020), aplicaron la metodología AHP en parte de su trabajo para proponer el Índice de Estado de Conservación de los Manglares (MCSI, por sus siglas

en inglés), como una herramienta que puede ayudar a la evaluación de vulnerabilidad en ambientes costeros.

Los trabajos de vulnerabilidad costera más frecuentes en el país, utilizan variantes del CVI, tales como los estudios de Mendoza et al. (2016), González-Baheza y Arizpe (2017) y Mancera-Flores (2021), los cuales analizaron la vulnerabilidad con el CVI en costas de Yucatán, en el municipio de La Paz y en el litoral del norte de Actopan, Veracruz, respectivamente. En cada investigación, se eligieron diferentes indicadores para la evaluación de vulnerabilidad, mostrando la versatilidad y eficiencia del índice para cuantificaciones de vulnerabilidad en el territorio nacional, aún con condiciones climáticas distintas.

Como se mencionó al comienzo de este trabajo, no se ha publicado ninguna investigación donde apliquen la metodología InVEST para la evaluación de vulnerabilidad costera en el territorio mexicano. De tal manera que esta investigación se enfoca en aplicar y publicar la aplicación del método por primera vez en el país.

Capítulo II Métodos

Área de estudio

El estudio se realizará en la región hidrológico-administrativa Pacífico Sur, en el área limitada por las cuencas hidrológicas Río Copalita 1, Río Copalita 2, Río Coyula, Río Zimatlán 1 y Río Zimatlán 2, de las cuales las primeras 3 pertenecen al acuífero Huatulco, mientras que las últimas 2, al acuífero Santiago Astata. Todo esto ubicado en la zona sur del Estado de Oaxaca. Se abarcará una extensión total de 67.5 km de la línea de costa (Figura 3.1).

Área de estudio

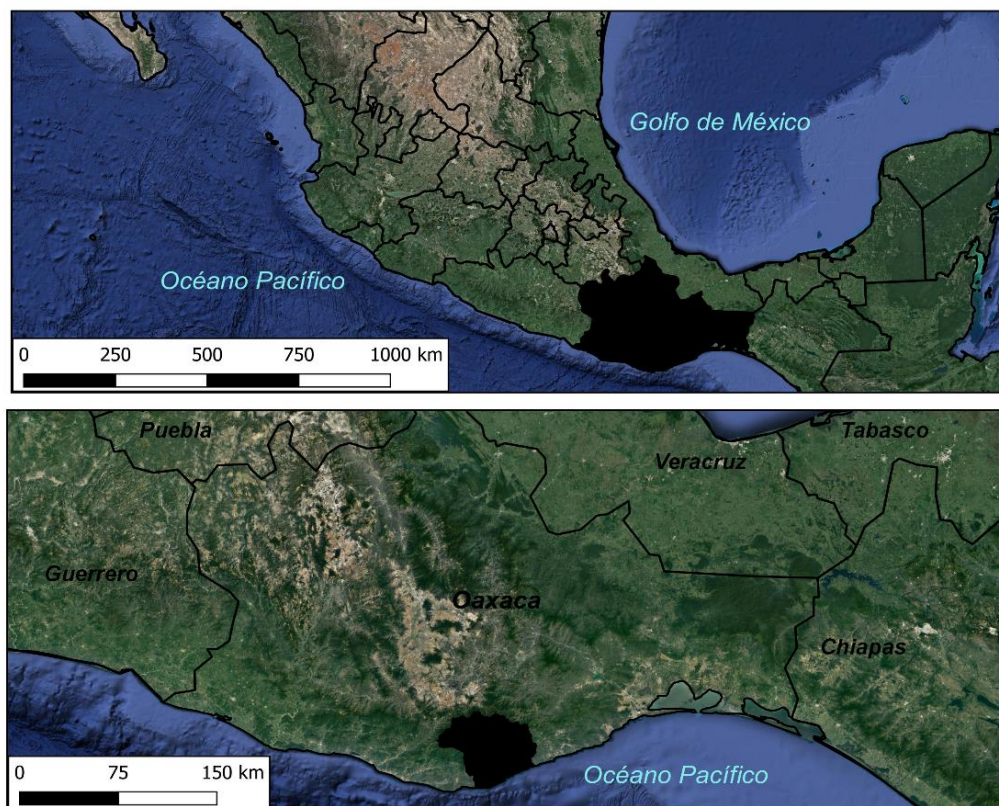


Figura 3.1. Ubicación del área de estudio.

El área de estudio se distribuye a lo largo de 21 municipios de Oaxaca, la cobertura de cada municipio se describe en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Cobertura por municipio del área de estudio.

MUNICIPIO	COBERTURA	FRENTE DE PLAYA
CANDELARIA LOXICHA	< 50 %	No
PLUMA HIDALGO	< 50 %	No
SAN AGUSTÍN LOXICHA	< 50 %	No
SAN CARLOS YAUTEPEC	< 50 %	No
SAN FRANCISCO OZOLOTEPEC	Total	No
SAN JUAN MIXTEPEC	< 50 %	No
SAN JUAN OZOLOTEPEC	Total	No
SAN MARCIAL OZOLOTEPEC	Total	No
SAN MATEO PIÑAS	Total	No
SAN MATEO RÍO HONDO	>50 %	No
SAN MIGUEL DEL PUERTO	Total	Si
SAN MIGUEL SUCHIXTEPEC	Total	No
SAN PEDRO EL ALTO	Total	No
SAN PEDRO HUAMELULA	< 50 %	Si
SAN PEDRO MIXTEPEC	< 50 %	No
SAN PEDRO POCHUTLA	< 50 %	No
SAN SEBASTIÁN RÍO HONDO	< 50 %	No
SANTA MARÍA HUATULCO	Total	Si
SANTA MARÍA OZOLOTEPEC	Total	No
SANTIAGO XANICA	Total	No
SANTO DOMINGO OZOLOTEPEC	>50 %	No

Por otra parte, el Estado de Oaxaca cuenta con una regionalización basada en diferencias sociales, culturales y políticas (de Jesús Ordóñez, 2000), la cual está definida en la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Oaxaca (2016), título tercero, Artículo 28. El área de estudio se encuentra en parte de las regiones del Istmo, Sierra Sur y Costa.

Dado que esta investigación se enfocará en el sistema de cuencas hidrológicas de los ríos Copalita, Zimatán y Huatulco, en la Tabla 3.3 se presenta un compendio del impacto socioeconómico que han generado diferentes desastres en el área de estudio reportado por la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC). Los daños reportados se presentan conforme a las referencias, en distintas escalas, presentando las pérdidas acumuladas conforme a la regionalización de Oaxaca, al municipio o los daños del estado completo.

Tabla 3.3. Resumen de los eventos que han causado daños en el área de estudio entre los años 1980-2021

FECHA	EVENTO Y UBICACIÓN DE LOS DAÑOS	IMPACTO SOCIOECONÓMICO	REFERENCIA
1979 – 1988	Periodo de sequías. Oaxaca.	- 216,800 ha agrícolas perdidas.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
24 / oct / 1980	Sismo. Puebla y Oaxaca	- 300 muertos. - 1,000 heridos. - 15,000 damnificados.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
Abr / 1982	Explosión volcánica. Oaxaca.	- Suspensión de aeropuertos y cierre de vías de transporte terrestre.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
14 / sep / 1985	Sismo. Oaxaca.	- 1,407 inmuebles afectados.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
1988	Incendios forestales. Oaxaca	- 52,115 ha afectadas. - 56 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
Jun - nov /1988	Temporada de huracanes. Oaxaca.	- 187 viviendas afectadas. - 10 muertos. - 20 heridos. - 7,770 damnificados. - 268,130 ha agrícolas /forestales afectadas.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
14 / sep /1995	Sismo. Oaxaca y Guerrero.	- 21.1 millones de dólares en pérdidas.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
Oct / 1997	Huracán Paulina. Oaxaca.	- 228 muertos (24) posibles. - 279,000 damnificados. - 54,000 viviendas afectadas. - 122,282 ha agrícolas perdidas. - 80,000 ha de bosque o selva afectadas. - 3,542 millones de pesos en pérdidas.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A). Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2014).
Ene – may / 1998	Incendios Forestales. Oaxaca.	- 241.708 ha de áreas de cultivo y pastizales dañadas.	Secretaría de Seguridad y

		- Cierre de aeropuertos. - 419 incendios.	Protección Ciudadana (2001.A).
2 / sep / 1998	Lluvias torrenciales. Región Istmo. ²	- 1,050 viviendas dañadas. ² - 4,840 damnificados. ²	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
30 / sep / 1999	Sismo. Oaxaca.	- 35 decesos. - 50 mil inmuebles afectados. - 200 km de carreteras dañados. - 1,423.9 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.A).
10 / nov / 2000	Huracán Rosa. Oaxaca.	- 254.2 miles de pesos.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2001.B)
Oct / 2001	Huracán Iris. Oaxaca.	- 23 muertos. - 2,100 damnificados. - 884 inmuebles dañados. - 280 ha de cultivo dañadas. - 10.6 millones de pesos en pérdidas.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. (2002)
2003	Incendios forestales. Oaxaca.	- 4 decesos. - 3,849 hectáreas dañadas. - 28.27 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2004).
2004	Incendios forestales. Oaxaca.	- 2,841 ha de campos de cultivo o pastizales dañadas. - 2.84 millones de pesos en pérdidas.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2005).
2004	Fenómenos socioadministrativos.* Oaxaca.	- 4 muertos. - 18 damnificados. - 2 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2005).
2005	Sequías. Oaxaca.	- 53,818 ha afectadas. - 24.6 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2006).
2005	Incendios. Oaxaca.	- 30,938 ha de pastizales o áreas de cultivo dañadas.. - 30.9 millones de pesos en daños. - 298 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2006).
2005	Derrumbe. Oaxaca.	- 6 muertos.	Secretaría de Seguridad y Protección

2005	Fenómenos socioadministrativos.*	- 13 muertos. - 30 damnificados. - 0.6 millones de pesos en daños.	Ciudadana (2006). Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2006).
1-6 / oct / 2005	Huracán Stan. Oaxaca. Región Costa. ¹ Región Istmo. ² Región Sierra Sur. ³	- 5 muertos. - 1,757.7 millones de pesos en pérdidas. - 32,155.1 ha de campos de cultivo o pastizales dañadas. - 32 municipios afectados. ¹ - 154 localidades afectadas. ¹ - 2,340 viviendas dañadas. ¹ - 37,650.8 mil pesos de pérdidas en viviendas. ¹ - 16 municipios afectados. ² - 53 localidades afectadas. ² - 1,035 viviendas dañadas. ² - 10,636.3 miles de pesos de pérdidas en viviendas. ² - 9 municipios afectados. ³ - 17 localidades afectadas. ³ - 163 viviendas dañadas. ³ - 904.4 miles de pesos de pérdidas en viviendas. ³ - Pérdida de comunicaciones en: San Agustín Loxicha, San Marcial Ozolotepec, Santa María Ozolotepec y Santiago Xanica.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2006).
Daños reportados por municipio			
	Candelaria de Loxicha.	- 2 unidades de salud afectadas, daños de 237.3 miles de pesos. - 1 plantel escolar afectado por 287.6 miles de pesos.	
	Pluma Hidalgo.	- 2 unidades de salud afectadas, daños de 459.9 miles de pesos.	
	San Agustín Loxicha.	- 1 unidad de salud afectada daños de 176.8 miles de pesos. - 5 localidades afectadas por daños a infraestructura de agua potable. 1,147.9 miles de pesos solicitados. - 2,476 damnificados.	
	San Miguel del Puerto.	- 3 unidades de salud afectadas, daños de 686 miles de pesos.	
	San Pedro el Alto.	- 1 localidad afectada por daños a infraestructura de agua potable. 45 mil pesos solicitados. - 186 damnificados.	
	San Pedro Huamelula.	- 3 unidades de salud afectadas, daños de 433.5 miles de pesos. - 1 localidad afectada por daños a infraestructura de agua potable. 40.1 mil pesos solicitados.	

	San Pedro Pochutla.	- 368 damnificados. - 2 planteles escolares afectados por 1,078.1 miles de pesos. - 3 localidades afectadas por daños a infraestructura de agua potable. 1,800 mil pesos solicitados. - 7,000 damnificados.	
	Santiago Xanica.	- 1 unidad de salud afectada, daños de 224.3 miles de pesos.	
	Santo Domingo Ozolotepec.	- 1 localidad afectada por daños a infraestructura de agua potable. 100 mil pesos solicitados. - 439 damnificados.	
	Total de daños reportados en área de estudio	- 9 municipios del área de estudio afectados. - 12 unidades de salud afectadas por 2,217.8 miles de pesos. - 3 planteles escolares afectados por 1,365.7 miles de pesos. - 11 localidades afectadas por daños en infraestructura de agua potable por 3,133 miles de pesos. - 10,469 damnificados. - 6,717.5 miles de pesos en daños.	
2006	Vientos. Oaxaca.	- 3 muertos. - 1,681 damnificados. - 5,209.5 ha de cultivo o pastizales dañados. - 98.1 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2007).
2006	Incendios forestales. Oaxaca.	- 4 muertos. - 13,096.8 ha de áreas de cultivo o pastizales dañadas. - 13.2 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2007).
2007	Sequía. Oaxaca.	- 42,668 damnificados. - 65,370.52 ha dañadas. - 52.3 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.A).
2007	Incendios forestales. Oaxaca.	- 16,213.5 ha afectadas. - 16 millones de pesos en daños. - 181 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.A).
2007	Fenómenos socioadministrativos * Oaxaca.	- 33 muertos. - 819 damnificados. - 1.7 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.A).
Jul / 2007	Lluvias extremas. Oaxaca.	- 956 damnificados. - 202 inmuebles dañados. - 103.9 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.A).

2008	Bajas temperaturas. Oaxaca.	- 2 muertos.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.B).
2008	Incendios forestales. Oaxaca.	- 14,677.1 ha afectadas. - 14.7 millones de pesos en daños. - 274 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.B).
2008	Fenómenos socioadministrativos.* Oaxaca.	- 27 muertos. - 35 damnificados. - 1.95 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.B).
12 / feb / 2008	Sismo. Oaxaca.	- 4 muertos. - 6979 damnificados. - 1,443 inmuebles dañados. - 10.65 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.B).
4 / jun y 23 – 27 sep / 2008	Lluvias. Oaxaca.	- 4 muertos. - 19,948 damnificados. - 3,993 inmuebles dañados. - 1, 045.9 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2009.B).
2009	Sequía. Oaxaca.	- 47,814 damnificados. - 62,745.5 ha de cultivo o pastizales dañadas. - 286.5 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2010).
2009	Incendios forestales. Oaxaca.	- 5 muertes. - 14,650 ha de área de cultivo o pastizales dañadas. - 14.7 millones de pesos en daños. - 237 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2010).
23 / sep /2009	Lluvia. Oaxaca.	- 1 muerto. - 39,230 damnificados. - 3,568 inmuebles dañados. - 204.9 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2010).
2010	Incendios Forestales. Oaxaca.	- 13,180.3 ha afectadas. - 13.18 millones de pesos en daños. - 227 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2012).
2010	Fenómenos Socioadministrativos.* Oaxaca.	- 6 muertos - 1.5 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2012).
2011	Incendios Forestales. Oaxaca.	- 18,176.1 ha dañadas.	Secretaría de Seguridad y

		- 18.2 millones de pesos en daños. - 334 incendios. - 2 decesos.	Protección Ciudadana (2013). Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2013).
2011	Fenómenos Socioadministrativos.* Oaxaca.		
Sep / 2011	Lluvias. Oaxaca.	- 1,795 damnificados. - 302.8 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2013).
20 / marzo / 2012	Sismo. Oaxaca.	- Declaración de desastre en Santa María Huatulco y Santiago Xanica.	Secretaría de Gobernación (2014).
Daños reportados por municipio			
	Santa María Huatulco	- 2,000 miles de pesos en daños a infraestructura carretera con 5,190 damnificados.	
	Santiago Xanica	- 1,950 miles de pesos en daños a caminos estatales con 95 damnificados. - 111.6 miles de pesos en daños a infraestructura de agua potable en 1 localidad con 851 damnificados.	
	Total de daños reportados en área de estudio	- 3,950 miles de pesos en daños a infraestructura carretera con 5,285 damnificados. - 111.6 miles de pesos en daños a infraestructura de agua potable en 1 localidad con 851 damnificados.	
15 – 17 / junio / 2012	Huracán Carlotta Oaxaca. Región Costa. ¹ Región Istmo. ²	- 5 muertos. - 13,182 inmuebles afectados. - 79.667.1 ha de áreas de cultivo afectadas. - 2,666.2 millones de pesos en daños. - 1,418,016.3 miles de pesos en daños a infraestructura carretera. - 59,004 miles de pesos en pérdidas por daños a infraestructura eléctrica. - 605,309.9 miles de pesos en daños al sector agrícola. - 3,825.1 miles de pesos en daños al sector pecuario. - 40,460 miles de pesos en daños a invernaderos. - 9,440 miles de pesos en daños al sector de pesca. - Suspensión de actividades en 1,372 planteles. ¹ - Suspensión de actividades en 1,081 planteles. ²	Secretaría de Gobernación (2014).

Daños reportados por municipio

Candelaria Loxicha	<ul style="list-style-type: none"> - 450.2 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 493.2 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 25 localidades con 418 beneficiarios. - 5 planteles educativos afectados. - 10 segmentos de carreteras afectadas por inundaciones y derrumbes por 15,686.9 miles de pesos. - 732.8 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 621 beneficiarios.
Pluma Hidalgo	<ul style="list-style-type: none"> - 900.4 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 153.4 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 20 localidades con 130 beneficiarios. - 9 planteles educativos afectados. - 1 localidad afectada por daños a infraestructura hidráulica por 182.1 miles de pesos. - 5 segmentos de carreteras afectadas por inundaciones y derrumbes por 14,169 miles de pesos. - 380 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 322 beneficiarios.
San Agustín Loxicha	<ul style="list-style-type: none"> - 900.4 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 342.2 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 9 localidades con 290 beneficiarios. - 43 planteles educativos afectados. - 8 localidades afectadas por daños a infraestructura hidráulica por 1,663.8 miles de pesos. - 10 segmentos de carreteras afectadas por inundaciones y derrumbes por 46,639.6 miles de pesos. - 5,245.1 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 4,445 beneficiarios.
San Francisco Ozolotepec	<ul style="list-style-type: none"> - 424.8 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 360 beneficiarios.
San Juan Ozolotepec	<ul style="list-style-type: none"> - 625.4 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 530 beneficiarios.
San Marcial Ozolotepec	<ul style="list-style-type: none"> - 483.8 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 410 beneficiarios.
San Mateo Piñas	<ul style="list-style-type: none"> - 450.2 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas.

		<ul style="list-style-type: none"> - 90.9 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 20 localidades con 77 beneficiarios. - 5 planteles educativos afectados. - 69.6 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 59 beneficiarios.
	San Mateo Río Hondo	<ul style="list-style-type: none"> - 743.4 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 630 beneficiarios.
	San Miguel del Puerto	<ul style="list-style-type: none"> - 315.1 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 106.2 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 10 localidades con 90 beneficiarios. - 1 localidad afectada por daños a infraestructura hidráulica por 85.9 miles de pesos. - 5 segmentos de carreteras afectadas por inundaciones y derrumbes por 19,745 miles de pesos. - 1.2 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 1 beneficiario.
	San Miguel Suchixtepec	<ul style="list-style-type: none"> - 5 planteles educativos afectados. - 354 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 300 beneficiarios.
	San Pedro el Alto	<ul style="list-style-type: none"> - 270.1 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 134.5 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 9 localidades con 114 beneficiarios. - 10 planteles educativos afectados. - 2 segmentos de carreteras afectadas por inundaciones y derrumbes por 1,106.9 miles de pesos. - 5,200 miles de pesos en daños a auditorio municipal y plaza cívica. - 1,180 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 1,000 beneficiarios.
	San Pedro Pochutla	<ul style="list-style-type: none"> - 1,170.5 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 3,140 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 64 localidades con 2,661 beneficiarios. - 79 planteles educativos afectados. - 321.4 miles de pesos en daños del Hospital general. - 2 localidades afectadas por daños a infraestructura hidráulica por 510 miles de pesos.

		<ul style="list-style-type: none"> - 17 segmentos de carreteras afectadas por inundaciones y derrumbes por 14,300.7 miles de pesos. - 535.7 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 454 beneficiarios. - 4,000 miles de pesos en daños en actividad pesquera.
	San Sebastián Río Hondo	<ul style="list-style-type: none"> - 637.2 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 540 beneficiarios.
	Santa María Huatulco	<ul style="list-style-type: none"> - 720.3 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 395.3 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 25 localidades con 335 beneficiarios. - 145.1 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 123 beneficiarios. - 240 miles de pesos en daños en actividad pesquera. - 835.6 miles de pesos en daños a infraestructura turística pública.
	Santa María Ozolotepec	<ul style="list-style-type: none"> - 771.7 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 654 beneficiarios.
	Santiago Xanica	<ul style="list-style-type: none"> - 450.2 miles de pesos en lámina para reparación de daños en viviendas. - 61.4 miles de pesos en programas de empleo temporal para familias afectadas en sus viviendas en 5 localidades con 52 beneficiarios. - 4 planteles educativos afectados. - 2 localidades afectadas por daños a infraestructura hidráulica por 161.4 miles de pesos. - 3 segmentos de carretera afectados por inundaciones y derrumbes por 9,711.6 miles de pesos. - 494.4 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 419 beneficiarios.
	Santo Domingo Ozolotepec	<ul style="list-style-type: none"> - 330.4 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores afectados con 280 beneficiarios.
	Total de daños reportados en área de estudio	<ul style="list-style-type: none"> - 17 municipios afectados. - 5,627.4 miles de pesos en lámina para reparación de daños. - 4,917.1 miles de pesos en programas de empleo temporal para viviendas en 187 localidades, con 4,167 beneficiarios. - 160 planteles educativos afectados. - 52 segmentos de carretera dañados por 121,089.7 miles de pesos.

		<ul style="list-style-type: none"> - 13,154 miles de pesos en programas de empleo temporal para productores con 11,148 beneficiarios. - 14 localidades afectadas por daños a infraestructura hidráulica por 2,603.2 miles de pesos. - 5,521.4 miles de pesos en daños a inmuebles públicos. - 4,240 miles de pesos en daños a la actividad pesquera. - 835.6 miles de pesos en daños a infraestructura turística. - Daños totales por 157,988.4 miles de pesos. 	
9 – 14 / agosto / 2012	Huracán Ernesto. Oaxaca.	<ul style="list-style-type: none"> - 550 miles de pesos en daños a viviendas, 100 viviendas afectadas. - 18,151.8 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica. - 1,026,491.8 miles de pesos en daños a infraestructura carretera. - 90,231.4 miles de pesos en apoyos. - 138,414 damnificados. - Pérdida de comunicación con distintos municipios. - Se reportaron daños a carreteras de diversos municipios pequeños por 367,720 miles de pesos. 	Secretaría de Gobernación (2014).
Daños reportados por municipio			
	Candelaria Loxicha	- 1 derrumbe con daños por 60 mil pesos.	
	Pluma Hidalgo	- 128 mil pesos en daños a infraestructura hidráulica, con 2,072 damnificados.	
	San Agustín Loxicha	<ul style="list-style-type: none"> - 1 derrumbe con daños por 320 mil pesos. - 168.1 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica, con 275 damnificados. - 3 segmentos carreteros dañados por 48,000 miles de pesos. 	
	San Mateo Piñas	- 154.8 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica, con 193 damnificados.	
	San Pedro el Alto	- 457.3 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica, con 2,128 damnificados.	
	Santa María Huatulco	- 1 derrumbe con daños por 60 mil pesos.	
	Santiago Xanica	- 192.2 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica, con 851 damnificados.	
	Total de daños reportados en área de estudio	<ul style="list-style-type: none"> - 3 derrumbes con daños por 440 mil pesos. - 1,100.4 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica, con 5,519 damnificados. - 3 segmentos carreteros dañados por 48,000 miles de pesos. 	
2012	Incendios Forestales. Oaxaca	<ul style="list-style-type: none"> - 15,237.4 hectáreas afectadas. - 15,200 miles de pesos en daños. - 195 incendios. 	Secretaría de Gobernación (2014).

2012	Incendio urbano. Oaxaca	- 63 damnificados por incendio en unidad de salud.	Secretaría de Gobernación (2014).
2012	Fenómenos socioadministrativos.* Oaxaca.	- 11 decesos. - 3 millones de pesos en daños.	Secretaría de Gobernación (2014).
2013	Ciclones tropicales. Oaxaca.	- 13 decesos. - 78,928 damnificados. - 472 inmuebles dañados. - 837.1 miles de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.A).
2013	Deslizamientos y derrumbes. Oaxaca.	- 233.6 millones de pesos en pérdidas y daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.A).
2013	Incendios forestales. Oaxaca	- 31,245 hectáreas dañadas. - 312.5 millones de pesos en daños. - 378 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.A).
2013	Fenómenos socioadministrativos.* Oaxaca.	- 2 defunciones. - 2.1 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.A).
2014	Inundaciones. Oaxaca.	- 6 defunciones. - 74,740 personas afectadas. - 168 inmuebles afectados. - 700 hectáreas de cultivo dañadas. - 37.7 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.B).
2014	Deslizamiento. Oaxaca.	- 2 defunciones. - 51.8 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.B).
2014	Incendios forestales. Oaxaca.	- 11,071 hectáreas dañadas. - 11.1 millones de pesos en daños. - 243 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.B).
2014	Fenómenos sociorroganizativos.* Oaxaca.	- 11 defunciones. - 4 eventos.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.B).
Mayo / 2015	Mar de fondo. Oaxaca.	- 1 defunción. - 10,624 personas afectadas. - 73 viviendas dañadas. - 4.2 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.C).

2015	Fenómenos geológicos.** Oaxaca.	- 2,330 personas afectadas. - 136.4 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.C).
2015	Incendios forestales. Oaxaca.	- 11,175.8 hectáreas dañadas. - 11.2 millones de pesos en daños. - 263 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.C).
2015	Virus Chikunguña. Oaxaca.	- 1 defunción. - 1,192 contagios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.C).
2015	Fenómenos socioorganizacionales.* Oaxaca.	- 9 defunciones. - 4 eventos.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.C).
2016	Bajas temperaturas. Oaxaca.	- 2,663 personas afectadas. - 0.5 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.D).
2016	Incendios forestales. Oaxaca.	- 21,287.7 hectáreas dañadas. - 21.29 millones de pesos en daños. - 278 incendios.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.D).
May - jun / 2017	Ciclones tropicales. Oaxaca.	- 5 defunciones. - 4,242.9 millones de pesos en daños (63% de comunicaciones y transportes). - 141,705 personas afectadas, 1,680 damnificados. - 474 inmuebles dañados. - 9,025.7 hectáreas de cultivo o pastizales dañados. - 176 municipios declarados en desastre. Incluidos los 21 contenidos total o parcialmente en el área de estudio.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).
Daños reportados por municipio			
	San Carlos Yautepec.	- 45 viviendas afectadas. - 5 escuelas afectadas.	
	San Francisco Ozolotepec.	- 33 viviendas afectadas.	
	San Juan Ozolotepec.	- 29 viviendas afectadas. - 4 escuelas afectadas.	
	San Marcial Ozolotepec.	- 31 viviendas afectadas.	
	San Miguel del Puerto	- 17 viviendas afectadas	

	San Pedro el Alto.	- 25 viviendas afectadas.	
	San Pedro Huamelula.	- 51,762.38 miles de pesos en daños a infraestructura hidráulica.	
	San Pedro Pochutla	- 15 viviendas afectadas. - 12 escuelas afectadas.	
	Santa María Huatulco.	- 15 viviendas afectadas. - 3 escuelas afectadas. - 16.93 millones de pesos en daños de la marina-armada. - 171.7 millones de pesos en pérdidas en el sector turístico.	
	Total de daños reportados en área de estudio	- 195 viviendas afectadas. - 24 escuelas afectadas. - 240.4 millones de pesos en daños. - Los 21 municipios del área de estudio declarados en desastre.	
7 / sep / 2017	Sismo. Oaxaca.	- 79 decesos. - 1,187,585 personas afectadas. - 74,480 inmuebles dañados. - 10,322.6 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).
	Daños reportados por municipio		
	Santa María Ozolotepec.	- 1 centro de salud dañado. - 5.5 millones de pesos en daños.	
	San Pedro Huamelula.	- 2 centros de salud dañados. - 5.2 millones de pesos en daños.	
	Total de daños reportados en área de estudio	- 3 centros de salud afectados. - 10.7 millones de pesos en daños.	
19 / sep / 2017	Sismo. Oaxaca	- 1 defunción. - 240,421 personas afectadas. - 1,410 viviendas dañadas. - 218.7 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).
oct / 2017	Lluvias. Oaxaca	- 325.4 millones de pesos en daños. - 58 municipios declarados en desastre.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).
2017	Bajas temperaturas. Oaxaca.	- 2 defunciones.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).
2017	Incendios forestales. Oaxaca.	- 1 defunción. - 42,079.8 hectáreas afectadas. - 42.1 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2019).
2017	Fenómenos socioorganizativos.* Oaxaca.	- 3 defunciones.	Secretaría de Seguridad y Protección

			Ciudadana (2019).
2018	Incendios forestales. Oaxaca.	- 169 incidentes. - 19,527.5 hectáreas dañadas. - 19.5 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2020).
2018	Fenómenos socioorganizativos.* Oaxaca.	- 4 defunciones. - 20.5 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2020).
28 – 30 / sep / 2019	Ciclón tropical Narda. Oaxaca.	- 2 defunciones. - 826.9 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.E).
2019	Incendios forestales. Oaxaca.	- 253 incidentes. - 68,600 hectáreas dañadas. - 113.2 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.E).
2019	Fenómenos socioorganizativos.* Oaxaca.	- 9 defunciones. - 5.3 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.E).
28 – 31 / oct / 2020	Fuertes lluvias. Oaxaca.	- 2 defunciones. - 152 viviendas afectadas. - 1 mil millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.F).
23 / jun / 2020	Sismo. Los municipios del área de estudio declarados en desastre.	- 7 defunciones. - 2,227.84 millones de pesos en daños. - 2,150 inmuebles afectados. - Todos los municipios del área de estudio declarados en desastre.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.F).
2020	Incendios forestales. Oaxaca.	- 9 defunciones. - 20,693 Ha afectadas. - 199 incidentes. - 41 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.F).
2020	Fenómenos socioorganizativos.* Oaxaca.	- 10 defunciones.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.F).
2021	Incendios forestales. Oaxaca.	- 31,749 Ha afectadas. - 151 incidentes. - 96.69 millones de pesos en daños.	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.F).

2021	Fenómenos socioorganizativos.* Oaxaca.	- 7 incidentes.	Ciudadana (2021.G). Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (2021.G).
------	--	-----------------	---

*Se refieren a accidentes en medios de transporte, principalmente automovilísticos. ** Referidos a deslizamientos, derrumbes, hundimientos o actividad volcánica. ¹ Daños reportados en la región económica Costa. ² Daños reportados en la región económica Istmo. ³ Daños reportados en la región económica Sierra Sur.

La ubicación de los fenómenos presentados en la Tabla 3.3 corresponde a la zona de la cual se reportan los daños, a pesar de que el desastre pudiera haber causado daños, incluso mayores, en otras zonas del país. En esta tabla, se incluyen únicamente los eventos que hayan afectado directamente al área de estudio, aún si los daños solo se reportaron a nivel estatal. Así mismo, se descartan eventos que a pesar de haber ocurrido en Oaxaca, reportan daños en municipios específicos ajenos al área de estudio. Finalmente, es de importancia tener en cuenta que la Tabla 3.3, se elaboró con base en la serie de publicaciones de Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, dirigida por la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana en colaboración con el Centro Nacional de Prevención de Desastres, por lo que no se descarta la posibilidad de la existencia de otros eventos que hayan causado daños en el área de estudio que, sin embargo, no hayan sido reportados en las publicaciones consultadas.

A partir del año 2020, en las publicaciones se incluye un apartado con el resumen del impacto generado por el COVID-19, sin embargo, dicho impacto no se incluyó en la Tabla 3.3.

En la Tabla 3.3, se presentan un total de 79 eventos reportados con posible impacto en el área de estudio. Desde el comienzo de los reportes en 1980, se puede identificar que los fenómenos socio organizativos y los incendios forestales, son un problema recurrente que enfrenta el estado de Oaxaca, siendo mencionados con impacto a lo largo de todos los años, a pesar de que no se tienen los detalles del daño de forma constante. Dejando de lado este par de eventos quedan 43 casos, cuya frecuencia se muestra en la Figura 3.4, donde se observa que los fenómenos hidrometeorológicos junto con los procesos geológicos, suman el 80% de los desastres. Complementariamente se observa que los sismos son el evento que afecta a la zona con mayor frecuencia, seguido de huracanes y lluvias torrenciales.

Desastres desde 1980

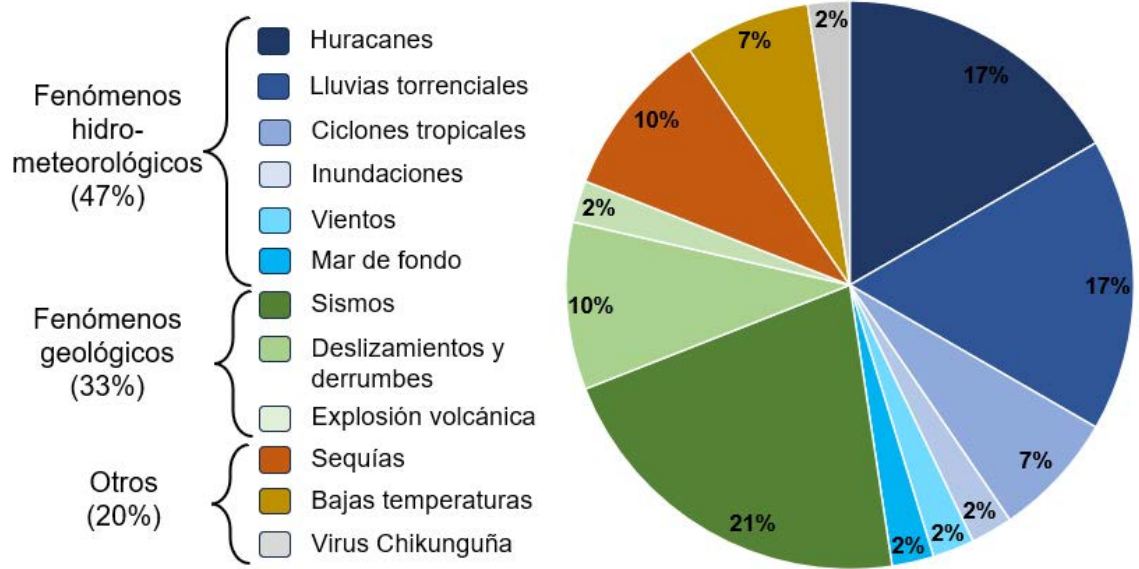


Figura 3.4. Eventos productores de desastres con implicaciones en el área de estudio entre 1980 y 2021.

Por otra parte, en la Figura 3.5 se muestran las tendencias en pérdidas económicas y los decesos que se han tenido en el área de estudio, lo cual concuerda con el estudio de Keller (2005), pues se observa una tendencia decreciente en la cantidad de decesos provocados por los desastres y de forma opuesta, un incremento en la cantidad de pérdidas económicas que los desastres generan hacia los años recientes. Cabe mencionar la escala logarítmica del eje vertical en las gráficas para la mejor visualización.



Figura 3.5. Tendencia de la cantidad de decesos y pérdidas económicas producidas en el área de estudio entre 1980 y 2022.

Como se mencionó anteriormente, los incendios forestales son una amenaza constante en el área de estudio, que año con año genera daños a decenas de miles de hectáreas en el estado de Oaxaca. La Figura 3.6 muestra el total de hectáreas afectadas por este fenómeno. Así mismo, en la gráfica se puede observar una tendencia creciente que parece acentuarse hacia los años más recientes.

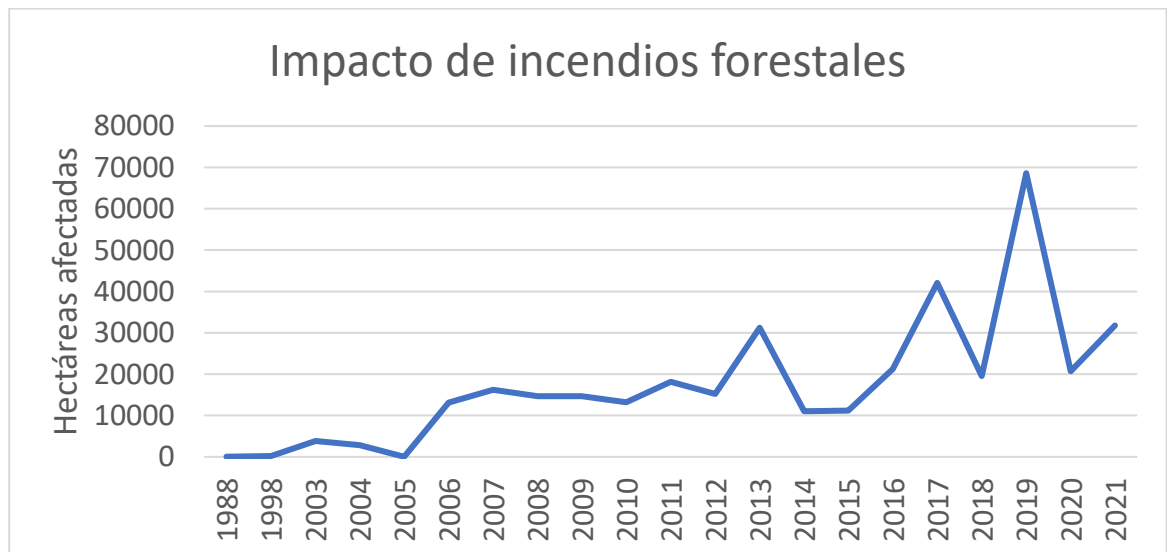


Figura 3.6. Cantidad de hectáreas afectadas por incendios forestales en el estado de Oaxaca entre 1988 y 2021.

Modelo InVEST

En este trabajo se aplica el modelo de vulnerabilidad costera InVEST propuesto por Tallis et al. (2011), a un segmento de la costa del estado de Oaxaca. Dicho modelo presenta 2 componentes principales, i) el primero corresponde a la densidad poblacional y, ii) el segundo se integra en un índice de exposición, en el cual se incluyen 7 variables bio-geofísicas (Figura 3.7; Tallis et al. 2011).

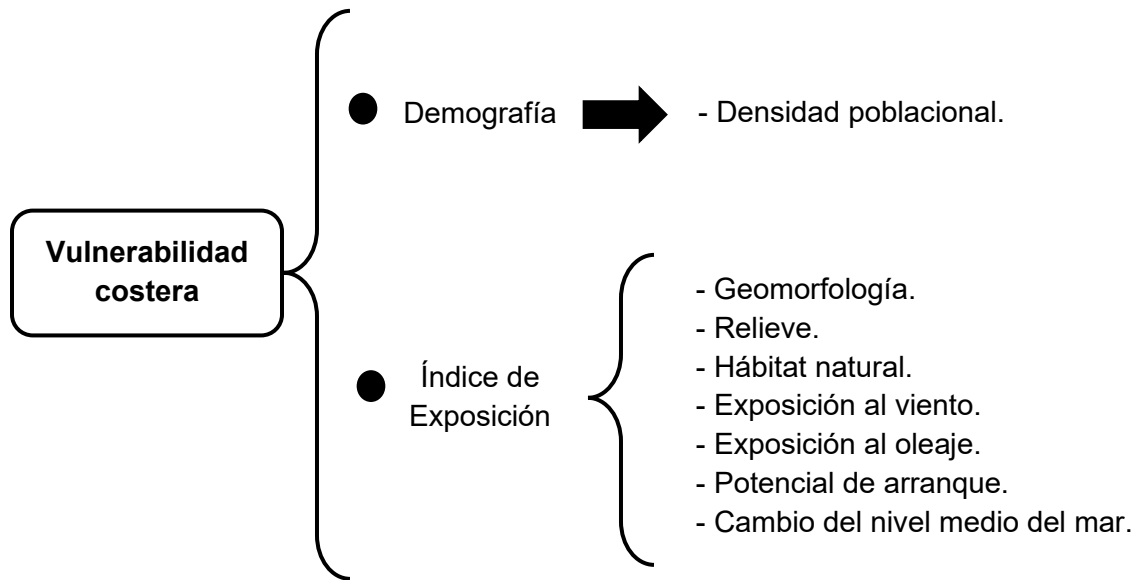


Figura 3.7. Variables que integran el modelo de vulnerabilidad costera InVEST (Tallis et al. 2011).

El modelo InVEST de vulnerabilidad costera evalúa la vulnerabilidad de la población que habita cerca de la costa del área de estudio, con base en un índice de exposición ante fenómenos hidrometeorológicos. Dicho modelo genera una base de datos, en la cual se incluyen los valores de reclasificación de cada parámetro que integra al índice de exposición (Figura 3.7), junto con algunos atributos adicionales con los resultados de la vulnerabilidad obtenida, tales como la exposición y el rol de los hábitats naturales en la disminución de vulnerabilidad.

De esta manera, para la correcta aplicación del modelo en el área de estudio, es necesaria la compilación, el análisis y la preparación de los insumos correspondientes a cada uno de los 8 puntos que se muestran en la Figura 3.7. En las siguientes subsecciones se describe el procesamiento aplicado a cada uno de los insumos trabajados, así como la fuente de dicha información. Así mismo, en algunos casos se brinda información complementaria a la usada para el modelo InVEST, para la mejor descripción de las condiciones presentes del área de estudio. Tales insumos se trabajan de manera individual en algunas subsecciones mientras que en otras se presentan en conjunto, ésto debido a la relación entre algunas de estas variables. Cabe mencionar, que no todos los formatos de los insumos para el modelo de vulnerabilidad costera

InVEST son los mismos, por lo que también se indicará y mostrará el tipo de datos generado para el correcto funcionamiento del modelo.

Dada la flexibilidad del modelo para la posible generación de distintos escenarios (Tallis et al. 2011 y Zhang et al. 2021), se decidió aplicar el modelo de vulnerabilidad costera también para el año 2039, considerando las modificaciones estimadas en el cambio de uso de suelo para ese año.

Demografía.

El modelo InVEST de vulnerabilidad costera de Tallis et al. (2011) usa la densidad poblacional como el único factor social para la identificación de población sensible a los efectos del cambio climático, integrando la densidad poblacional en la evaluación del grado de vulnerabilidad.

La población total que se encuentra en los municipios contenidos (total o parcialmente) en el área de estudio es de 203,112 habitantes; de los cuales casi 120,000 habitantes, que representan aproximadamente el 60%, se encuentra en los 4 municipios con línea de costa (INEGI, 2021). Sin embargo, la población estimada que se ubica a 10 km o menos de la línea de costa del área de estudio es de 34,045 habitantes.

Los datos de densidad poblacional del área de estudio fueron obtenidos de WorldPop (2023), base de datos con información estandarizada a nivel global, elaborada por la Universidad de Southampton, Inglaterra, y actualizada en el año 2020. Dicha base de datos permitió la obtención de un archivo ráster de densidad poblacional con resolución de 100 m (Figura 3.8).

Densidad poblacional

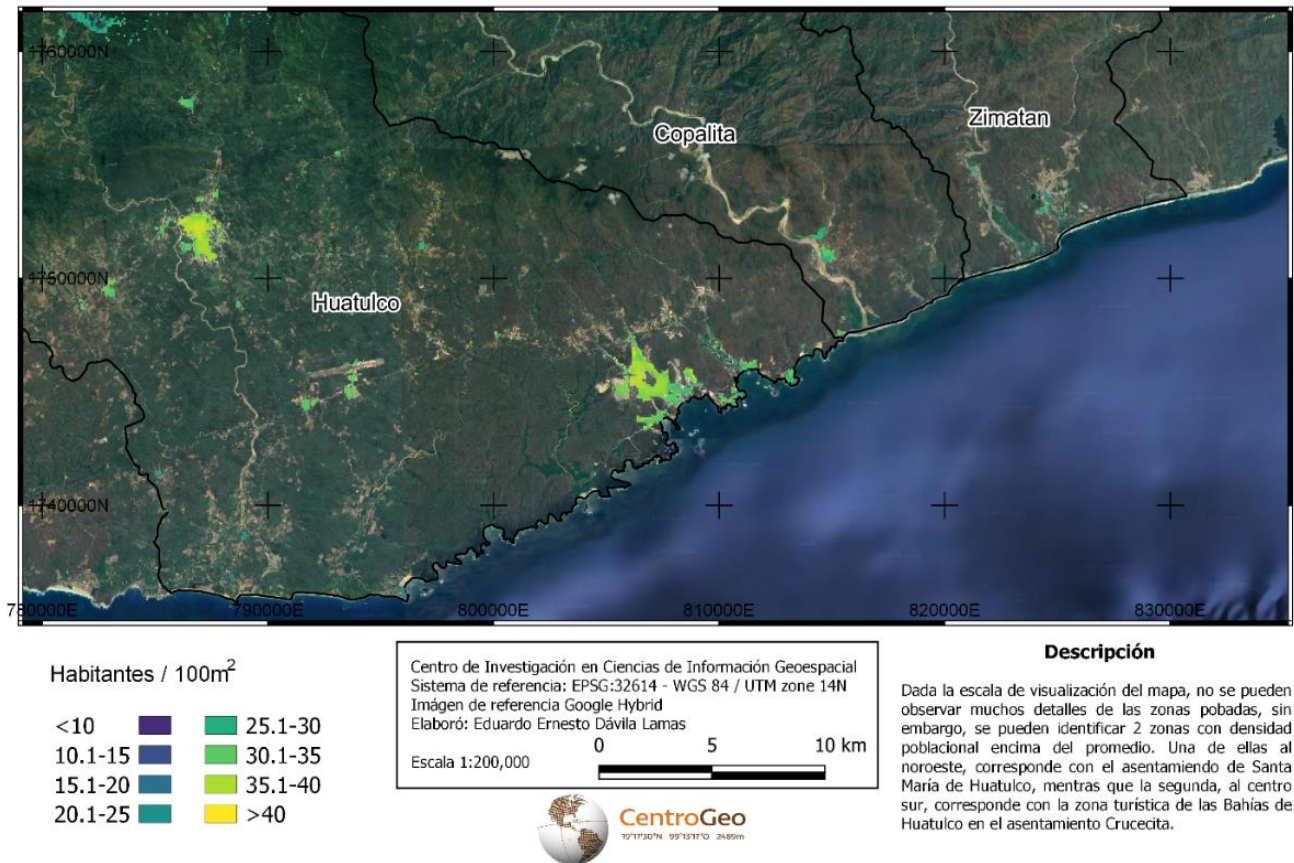


Figura 3.8. Mapa de densidad poblacional en el área de estudio.

Geomorfología y relieve.

En cuanto a la geomorfología, se utilizaron las cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010 y 2019), las cartas geológico-mineras del Servicio Geológico Mexicano (2000 y 2002) e imágenes satelitales de Google Earth (2023).

Con dichas fuentes se realizó un análisis geoespacial que permitió definir categorías que coincidieran con las definidas en el modelo InVEST. Dicho análisis partió de las clasificaciones en las cartas geológico-mineras, pues en ellas se identifican las zonas de playas y acantilados, las cuales integran la mayor parte de la costa en el área de estudio. Posteriormente, se sobrepusieron las cartas topográficas del INEGI junto con las imágenes satelitales, de esta manera se ajustaron los polígonos con la información geológica-minera, y se añadieron clases a la capa, tales como los estuarios y malecones. La Figura 3.9 muestra los resultados obtenidos con la clasificación geomorfológica realizada.

Geomorfología costera

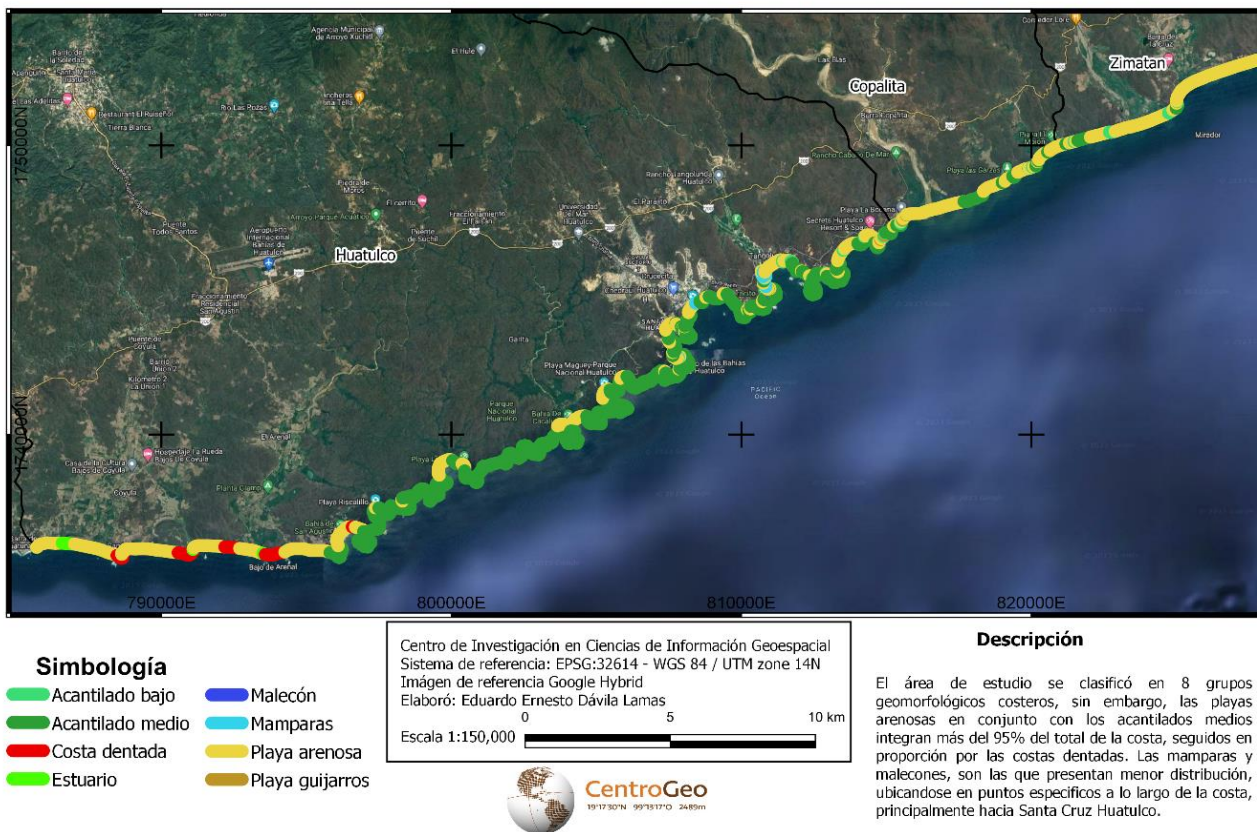


Figura 3.9. Geomorfología sobre la línea de costa del área de estudio.

En la Figura 3.9 se observa que más del 90% de la línea de costa corresponde a acantilados medios y playas arenosas en conjunto. En su mayoría, las costas de la zona se presentan de forma natural, sin embargo, hay lugares específicos con presencia de infraestructura humana.

A diferencia de la información demográfica, en este caso se generó un archivo vectorial con la información lineal de geomorfología.

Posteriormente, para la información del relieve se utilizó el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013), con resolución de 15 m. A pesar de que el insumo usado fue el ráster con el CEM, para la mejor visualización del relieve en el área de estudio, en la Figura 3.10 se presenta un mapa de sombras generado a partir del modelo digital de elevación. En esta figura se observa de forma general el relieve accidentado de la zona y la ausencia de grandes planicies, esto se debe a la presencia de rocas ígneas intrusivas (Servicio Geológico Mexicano, 2000 y 2002), lo cual repercute también en la presencia dominante de acantilados para la clasificación geomorfológica.

Relieve

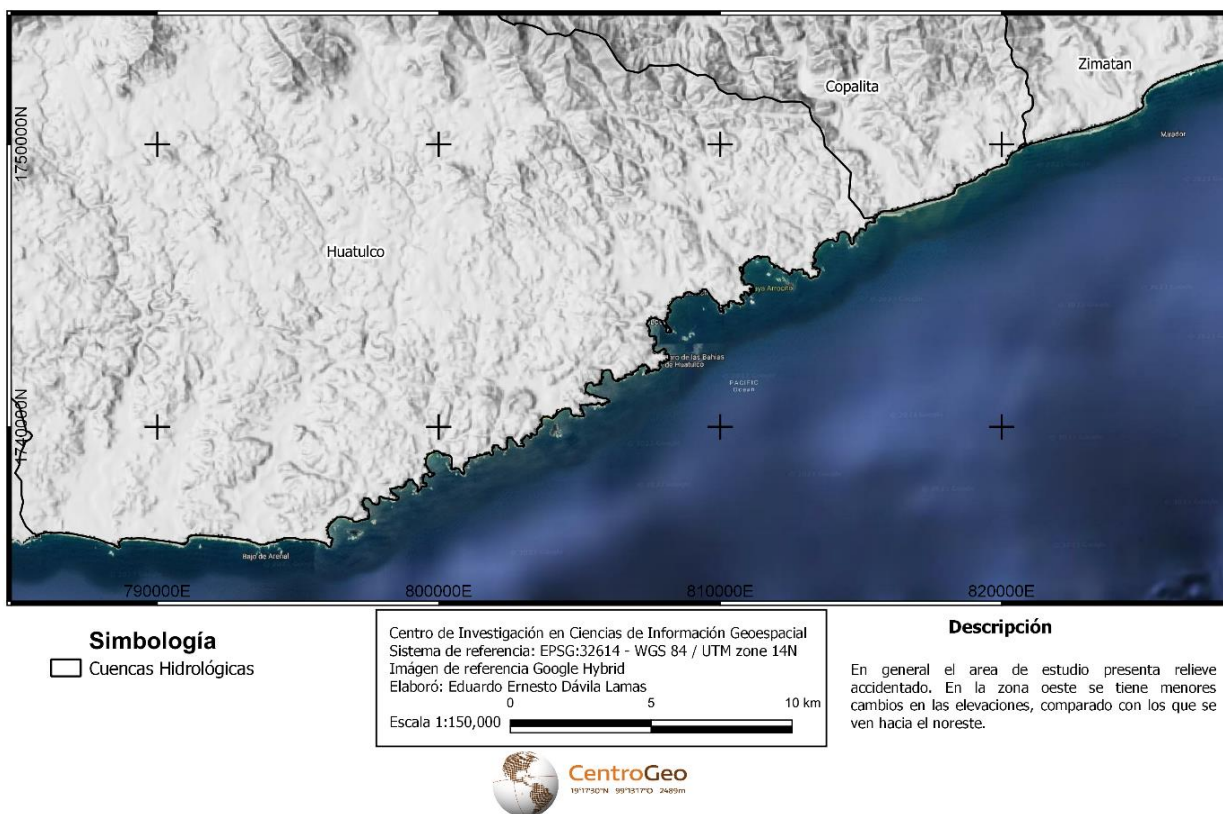


Figura 3.10. Mapa de sombras representativo del relieve en el área de estudio. Generado a partir del modelo digital de elevación utilizado de INEGI (2013).

El área de estudio alcanza una elevación máxima de 422 m s. n. m., con una altura promedio de 70 m, con desviación estándar de 56 m y la moda en 80 m.

Dentro de este parámetro el modelo requiere que se indique un radio de elevación promedio, el cual se estableció de 100 m. Se eligió de esta manera para aprovechar la resolución del modelo digital de elevaciones usando la máxima resolución presente en los insumos.

Hábitat

Condiciones actuales

En este trabajo se considerará como hábitat al tipo de vegetación presente en una determinada área (Gallina, 2022 y Tallis, et al, 2011), para lo que se utilizaron las cartas de uso de suelo en el área de estudio del INEGI (2019.A; 2019.B), y se obtuvieron capas vectoriales, las cuales se modificaron con el fin de actualizar la información mediante el uso de imágenes satelitales (Google Earth, 2023). Las capas vectoriales se generaron hasta 12 km tierra adentro desde la línea de costa. En la Figura 3.11, se muestra el resultado de la clasificación de hábitats en el área de estudio.

Hábitat

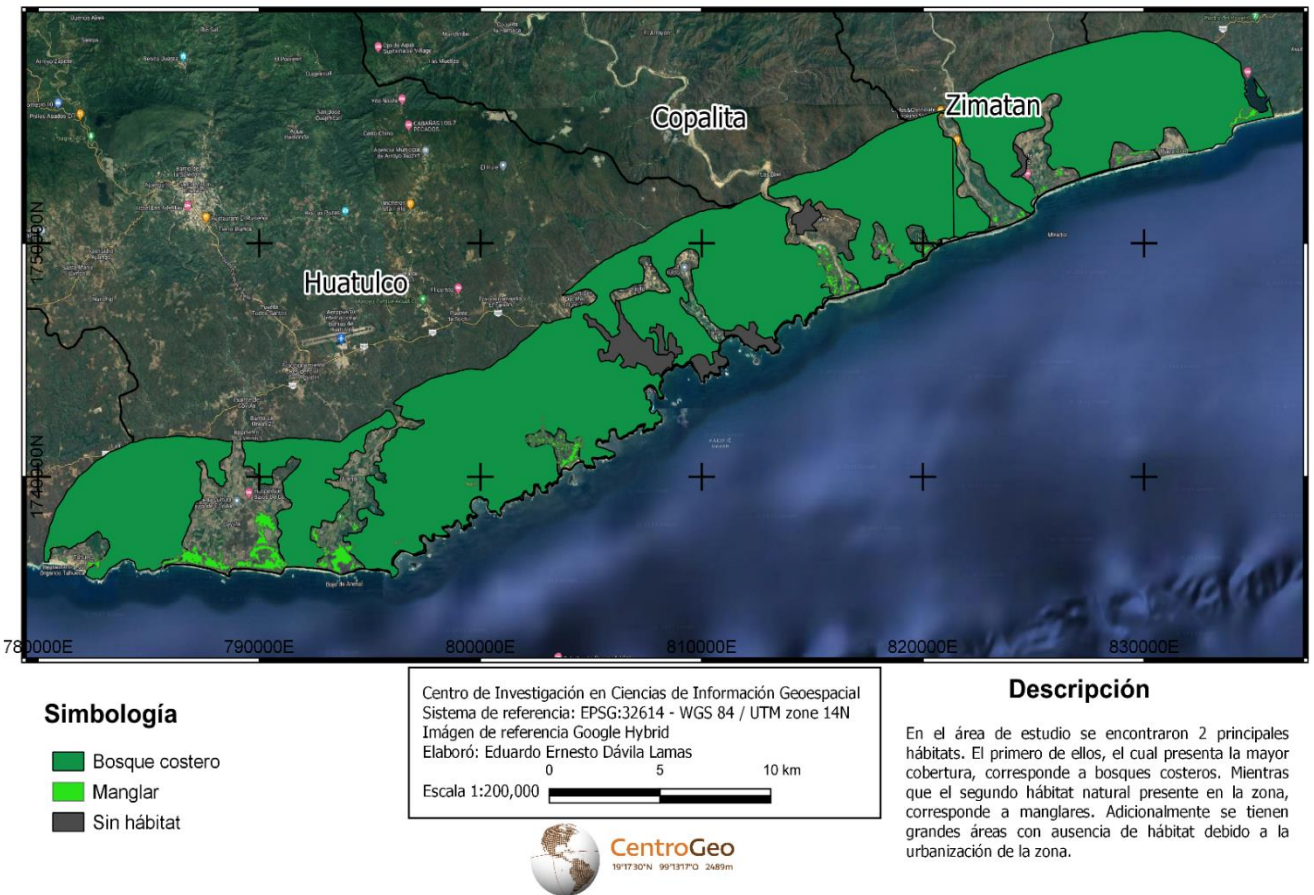


Figura 3.11. Hábitats presentes en el área de estudio.

En la Figura 3.11 se puede observar algunas islas sin hábitat asignado, esto es debido a que en estas zonas se tienen campos de cultivo, principalmente de temporada. A pesar de que las cartas de INEGI (2019.A, 2019.B) cuentan con el registro de la extensión de estas zonas, se omitieron para la integración de este parámetro, debido a que en la clasificación que se realizará más adelante, únicamente se incluyen los hábitats naturales o la ausencia de ellos.

El caso de las selvas caducifolias se integró a la clase de bosque costero con el fin de aplicar las reclasificaciones de Tallis et al. (2011) lo más estrictamente posible. Esta integración se realizó tanto en las capas de las condiciones actuales como para las proyectadas a escenario futuro.

Condiciones proyectadas al 2039

Para poder generar un escenario de vulnerabilidad costera proyectado a futuro, se utilizó la simulación de cambio de cobertura terrestre en el área de estudio para el 2039 de Blancas-Zamora (2023). Simulación realizada mediante el uso de máquinas de aprendizaje (Figura 3.12).

Hábitat proyectado 2039

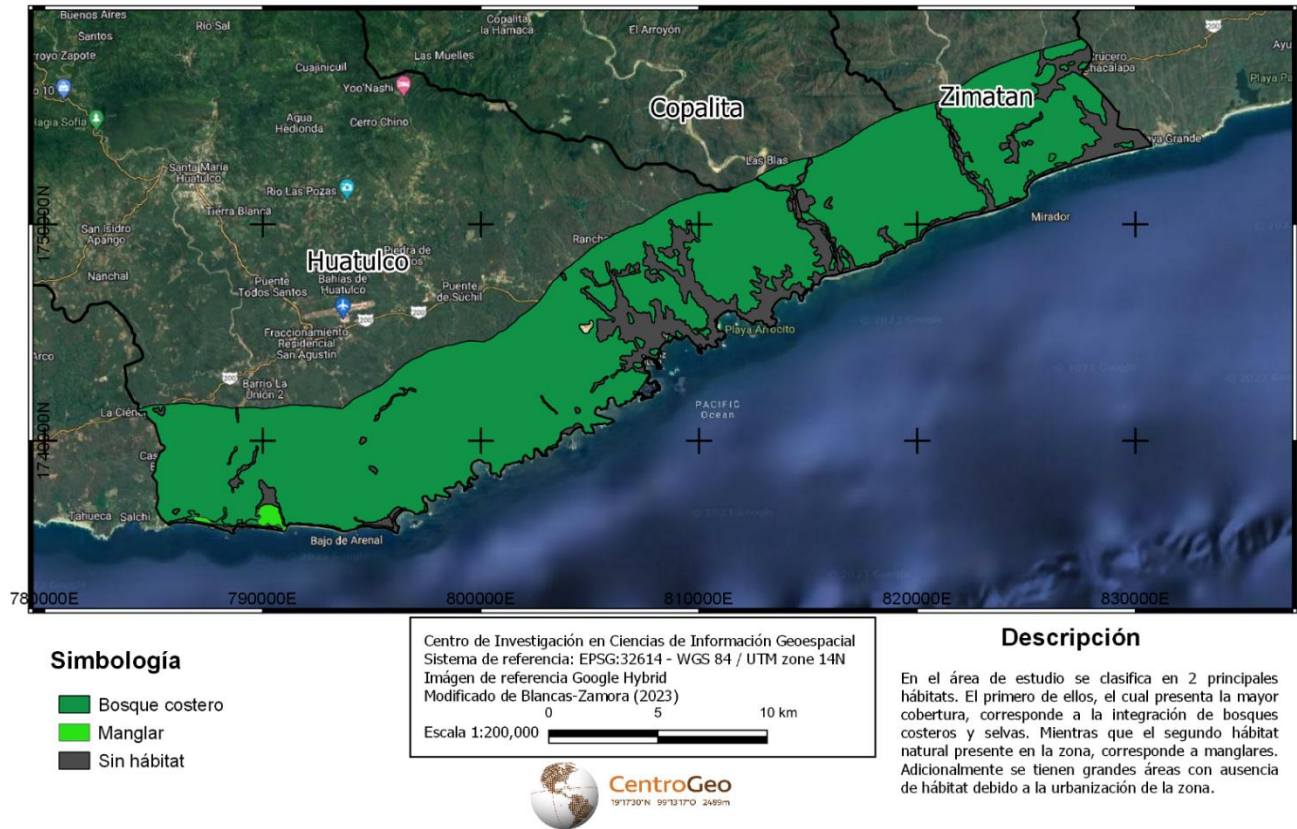


Figura 3.12. Cobertura de hábitats proyectada al 2039. Modificado de Blancas-Zamora (2039).

Exposición al viento, oleaje y potencial de arranque

Son utilizados como un indicador potencial de la erosión costera (Tallis et al. 2011). Para la exposición al viento se utiliza el índice relativo de exposición (REI, por sus siglas en inglés) el cual se estima con la Ecuación 3.1:

Ecuación 3.1. Índice relativo de exposición.

$$REI = \sum_{n=1}^{16} U_n P_n F_n$$

Donde:

- **n** son sectores equiangulares que definen la dirección del viento.
- **U_n** es la velocidad promedio del viento en metros por segundo del 10% de las velocidades de viento más altas del sector **n**. Se incluyen todas las velocidades registradas en el área.
- **P_n** es el porcentaje de toda la información de vientos que pertenece a ese sector **n**.

- **F_n** la distancia *fetch*, es la distancia sobre la cual el viento sopla sobre el mar en orientación del sector **n** .

En cuanto al oleaje, se considera el valor mayor entre la exposición a olas oceánicas y la de las olas generadas localmente por el viento, las cuales son calculadas mediante la ecuación 3.2.

Ecuación 3.2. Exposición al oleaje para olas oceánicas u olas generadas localmente.

$$E_w^i = \sum_{k=1}^{16} H[F_k^i] P_k^i O_k^i$$

Donde:

- **i** con el valor de 0 u 1, representa si las mediciones son locales u oceánicas.
- **k** son los sectores equiangulares que definen la dirección del viento.
- **$H[F_k^i]$** toma valor de 0 si el alcance del oleaje en esa dirección es menor al la distancia máxima de alcance de la misma dirección, y toma el valor de 1, si el alcance es igual a la distancia máxima de alcance.
- **$P_k^i O_k^i$** es el promedio del 10% de los valores más altos del poder de oleaje normalizado con el porcentaje de duración del evento. El poder de oleaje se obtiene al considerar la altura y el periodo de las olas.

Estaciones de datos: viento, oleaje y potencial de arranque

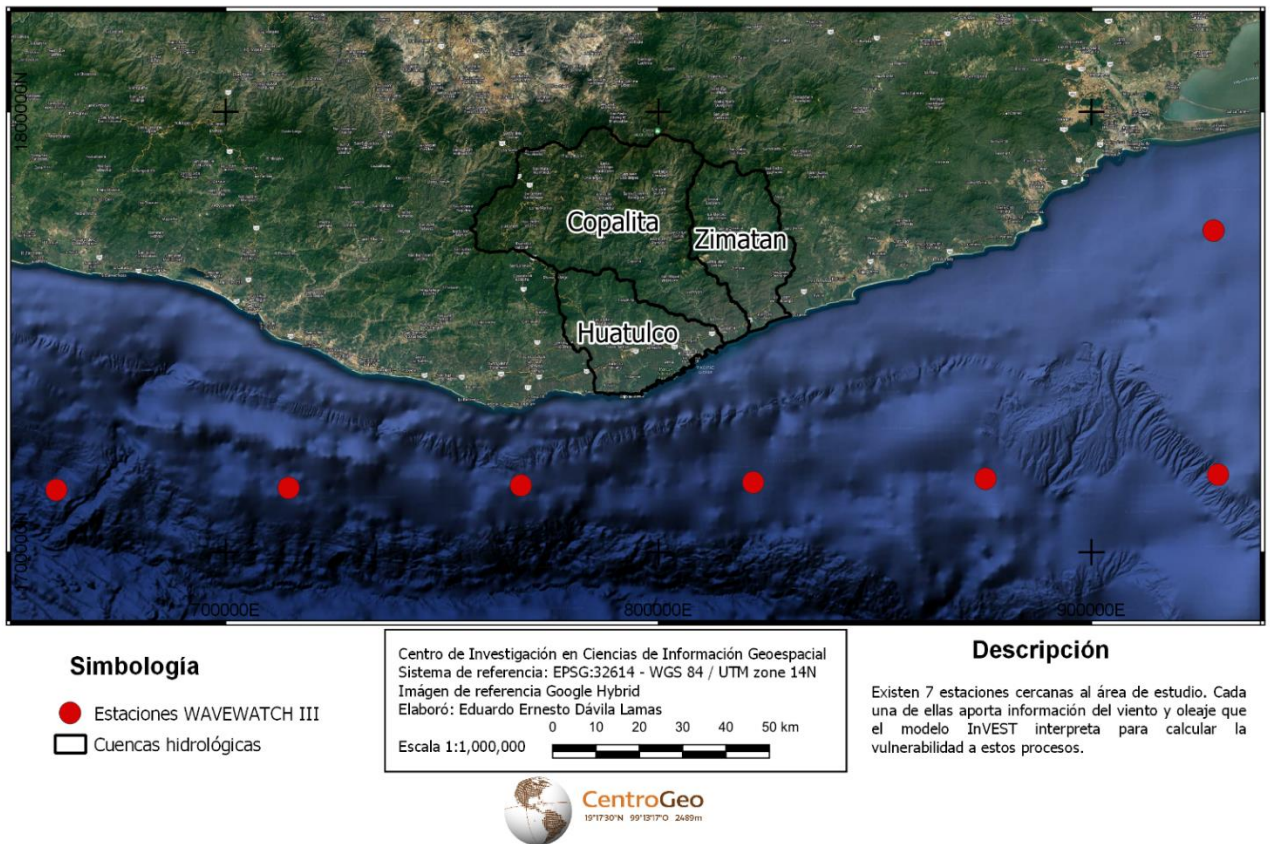


Figura 3.13. Estaciones del modelo WAVEWATCH III cercanas al área de estudio.

Tanto para el viento como para el oleaje, se obtuvo la información del modelo WAVEWATCH III (NWS, 2009), desarrollado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y los Centros Nacionales para Predicciones Ambientales (NCEP, por sus siglas en inglés). Esta información es recolectada a través de boyas integrando así el modelo WAVEWATCH III. En la Figura 3.13 se muestra la ubicación de las estaciones cercanas al área de estudio.

Cada estación contiene la información del índice REI, el potencial de oleaje y el potencial de arranque, así como información adicional como la temperatura, longitud, latitud, la velocidad máxima de los vientos, entre otros. Los datos se presentan en 16 sectores equiangulares, de 22.5 grados cada uno. En la Tabla 3.14 se presenta parte de la información brindada por el modelo WAVEWATCH III, perteneciente a la estación más cercana al área de estudio, a 30 km de la línea de costa.

Tabla 3.14. Ejemplo de información brindada por el modelo WAVEWATCH III, correspondiente a la estación 529.

REI_V0	9.149	WavP_0	0	V_MAX_0	9.348
REI_V22	9.6994	WavP_22	0	V_MAX_22	17.1341
REI_V45	10.3086	WavP_45	65.3036	V_MAX_45	18.0107
REI_V67	9.6017	WavP_67	70.3969	V_MAX_67	24.4406
REI_V90	9.5387	WavP_90	0	V_MAX_90	33.5378
REI_V112	9.0557	WavP_112	0	V_MAX_112	10.758
REI_V135	8.3626	WavP_135	234.9369	V_MAX_135	8.7235
REI_V157	20.8703	WavP_157	224.143	V_MAX_157	32.4939
REI_V180	0	WavP_180	72.7808	V_MAX_180	7.6638
REI_V202	9.1261	WavP_202	71.6241	V_MAX_202	10.0815
REI_V225	8.9014	WavP_225	70.0822	V_MAX_225	12.226
REI_V247	8.8895	WavP_247	65.8884	V_MAX_247	12.1628
REI_V270	8.6967	WavP_270	0	V_MAX_270	11.0677
REI_V292	8.5075	WavP_292	0	V_MAX_292	8.6983
REI_V315	0	WavP_315	0	V_MAX_315	6.6851
REI_V337	0	WavP_337	0	V_MAX_337	7.2638
T_MAX	10.66	H_MAX	8.43	I	529

Con este conjunto de información, se integran 3 variables necesarias más para el modelo InVEST de vulnerabilidad costera.

Cambio climático

Finalmente, en el modelo se incluye el cambio del nivel medio del mar, siendo la única variable relacionada al cambio climático que utiliza el modelo InVEST. Para esta sección se incluyó información del Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (Holgate et al. 2013; PSMSL, 2023), del Centro Nacional de Oceanografía, de donde se extrajeron los datos de las estaciones Salina Cruz y Puerto Ángel, ambas actualmente inactivas. Sin embargo, ambas brindaron registros históricos de entre los años de 1953 y 1990.

En la Figura 3.15 se observa la ubicación de las estaciones que brindaron información del cambio del nivel medio del mar.

Estaciones para nivel medio del mar

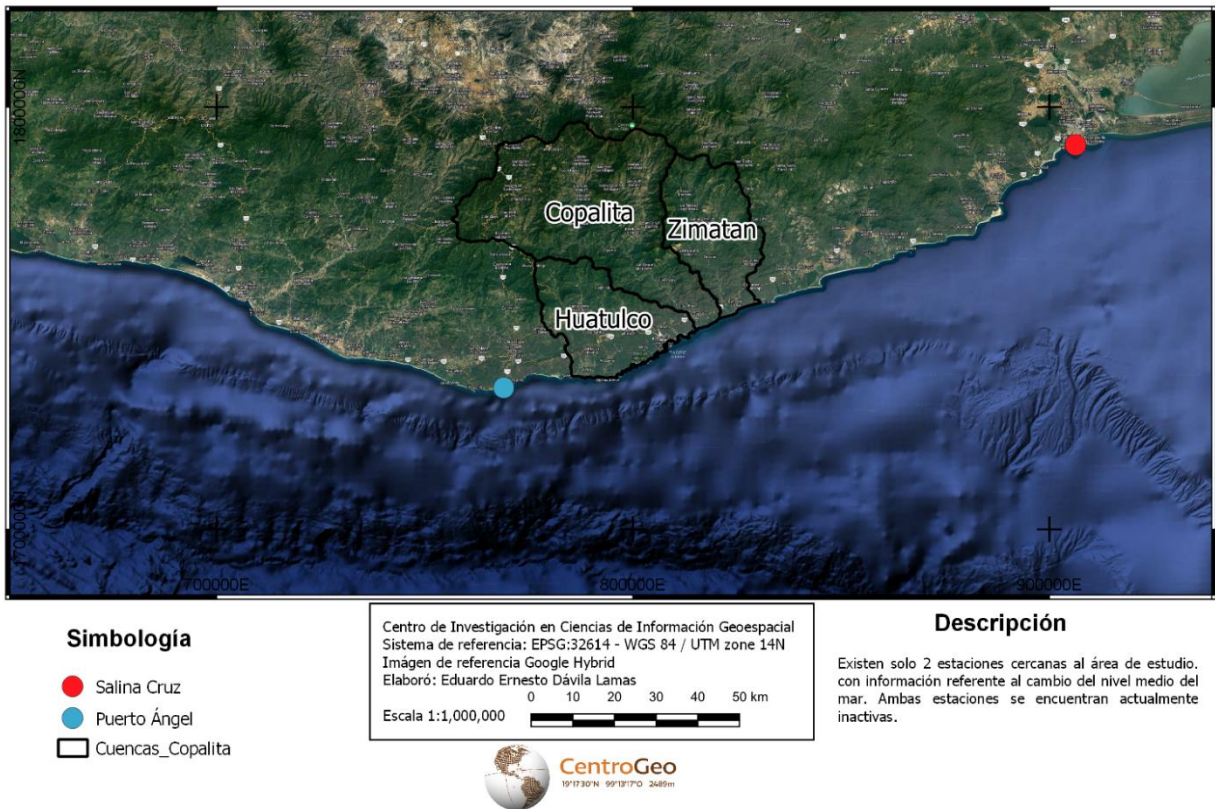


Figura 3.15. Estaciones del Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar con registros cercanos al área de estudio.

De manera similar a la densidad poblacional, se decidió utilizar esta fuente, debido a que se tiene estandarizada a nivel internacional, de manera que los resultados de este trabajo puedan compararse con otros en distintas partes del mundo.

Clasificación InVEST

Una vez que se contó con los insumos necesarios para el modelo de vulnerabilidad costera, fue necesario el procesamiento adicional de 2 de los parámetros, la geomorfología y el hábitat. Dicho procesamiento consistió en la reclasificación en escala del 1 al 5, realizada de acuerdo con la propuesta de Tallis et al. (2011). El resto de los parámetros, no requirieron ningún procesamiento adicional, y se ingresaron al modelo InVEST de vulnerabilidad costera, tales como se mostraron en la sección anterior.

Geomorfología

En el caso de la geomorfología, se utilizó la Tabla 3.16 para asignar un valor cuantitativo a las clases cualitativas obtenidas. Dicho valor se puede ver como el aporte a la vulnerabilidad del parámetro a lo largo de la línea de costa.

Tabla 3.16. Clasificación geomorfológica de la línea de costa. Modificado de Tallis et al. 2011.

Rank	1 (muy bajo)	2 (bajo)	3 (moderado)	4 (alto)	5 (muy alto)
Geomorfología	Rocoso, acantilados altos, fiordos y malecones.	Acantilados medios, playas con bloques de rocas, muros de contención y pequeños malecones.	Acantilados bajos, llanuras aluviales, espigones y revestimientos.	Playas de guijarros, estuarios, lagunas y bluffs.	Bancos de arena, playas de arena, playas lodosas y deltas.

A partir de esta información, se realizó la reclasificación de la geomorfología, dando como resultado la Figura 3.17.

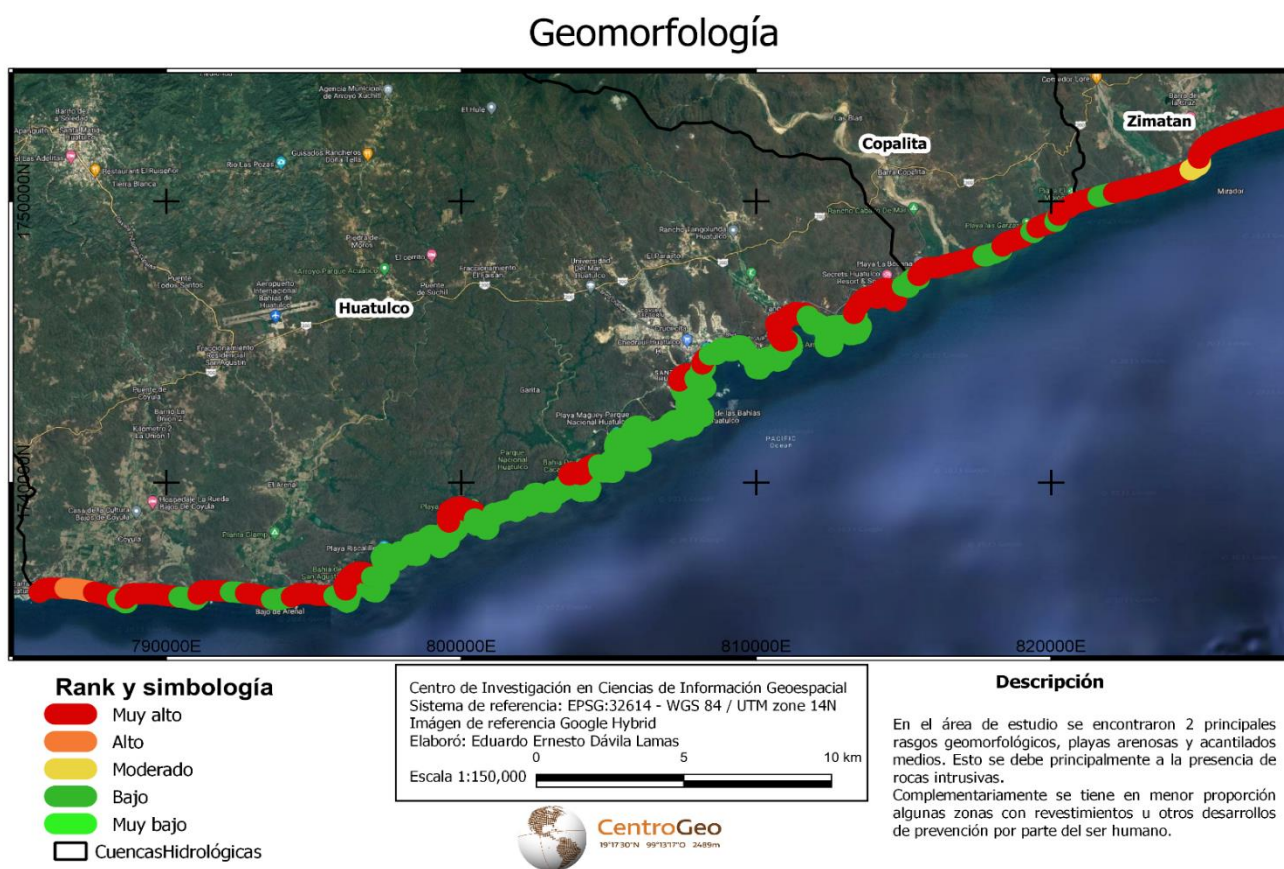


Figura 3.17. Valoración de la geomorfología sobre la línea de costa del área de estudio. Reclasificación de acuerdo a Tallis et al. (2011).

Hábitat

De forma similar que en la geomorfología, para el hábitat presente en la zona de estudio se hizo una reclasificación, la cual se realizó con apoyo en la Tabla 3.18. De igual

manera, los valores del 1 al 5 tienen relación directa con el aporte a la vulnerabilidad de la zona.

Tabla 3.18. Clasificación de hábitat de la línea de costa. Modificado de Tallis et al. (2011).

Rank	1 (muy bajo)	2 (bajo)	3 (moderado)	4 (alto)	5 (muy alto)
<i>Hábitat natural</i>	Arrecife de coral, manglar, selvas y bosques costeros.	Dunas altas y pantanos.	Dunas bajas.	Pastos marinos, kelp y otras algas marinas.	Sin hábitat natural.

Con esta tabla de reclasificación se respalda la integración de los bosques y selvas costeras en una clase única, debido a su igual valor para el modelo InVEST de vulnerabilidad costera.

De esta manera se integraron los escenarios de vulnerabilidad en 2 posibles clasificaciones, las zonas sin hábitat, con un valor de 5, mientras que los manglares, bosques y selvas costeras, con un valor de 1. Esta clasificación fue la misma tanto para el escenario actual de hábitats, así como para el proyectado al 2039.

Una vez que se contó con estas reclasificaciones, se completó la obtención y preparación de los insumos para el correcto funcionamiento del modelo InVEST de vulnerabilidad costera.

Parámetros cuantitativos

Una vez que se contó con la geomorfología y el hábitat debidamente reclasificado, se usó el modelo InVEST de vulnerabilidad costera, con los insumos adquiridos. Con ello el modelo comienza por hacer reclasificaciones de los insumos restantes estandarizando la información en un rango entre 1 y 5. El modelo incluye el procesamiento correspondiente para la reclasificación de cada insumo, la cual se realiza de forma interna para los insumos de relieve, exposición al viento, exposición al oleaje, el potencial de arranque y el cambio del nivel medio del mar.

Una vez que se tienen todos los parámetros reclasificados en rango entre 1 y 5, el modelo continúa con el cálculo del Índice de Exposición (EI, por sus siglas en inglés), el cual integra los 7 parámetros biogeofísicos en una sola variable mediante la aplicación de la ecuación 3.2:

Ecuación 3.2. Índice de exposición.

$$EI = (R_{\text{geomorfología}} * R_{\text{relieve}} * R_{\text{hábitat}} * R_{\text{exposición a viento}} * R_{\text{exposición a oleaje}} * R_{\text{potencial de arranque}} R_{\text{cambio del nivel medio del mar}})^{1/7}$$

Donde:

- EI = índice de exposición.
- R = reclasificación de cada parámetro.

De esta manera, el resultado del índice exposición también tendrá un valor entre 1 y 5, el cual está directamente relacionado con la vulnerabilidad costera de cada segmento en la línea de costa.

Para finalizar la estimación de vulnerabilidad, el modelo permite incluir la información de densidad poblacional, con la cual incrementa la vulnerabilidad en zonas donde pueden ser afectadas mayor número de personas, y la disminuye donde por el contrario se tienen poca o nula población potencialmente vulnerable. El modelo InVEST, no considera la capacidad adaptativa ni la sensibilidad en la integración de la vulnerabilidad costera. Así mismo, el modelo solo considera la densidad poblacional como factor social en la evaluación de vulnerabilidad.

Una vez que se introducen los parámetros al modelo InVEST, éste realiza las operaciones descritas anteriormente, junto con algunos procesos complementarios, para generar así una base de datos en formato CSV (valores separados por comas) junto con una capa en formato GPKG (geopackage). Estos archivos representan una secuencia de puntos a lo largo de la línea de costa, con separación de 100m. En cada punto se presenta la recopilación de la información de los insumos utilizados y estandarizados entre 1 y 5. Así mismo, incluye la vulnerabilidad costera calculada para cada punto. Complementariamente presenta una estimación de relevancia del hábitat natural, calculada con la eliminación total de los hábitats naturales y el nuevo cálculo de la vulnerabilidad en este escenario, esto brinda la evaluación de vulnerabilidad en caso de degradación de los hábitats naturales, junto con la relevancia de los hábitats para cada punto a lo largo de la línea de costa.

Capítulo III Resultados

En la Figura 4.1, se presenta el grado de vulnerabilidad actual a lo largo de la línea de costa en el área de estudio.

Vulnerabilidad costera

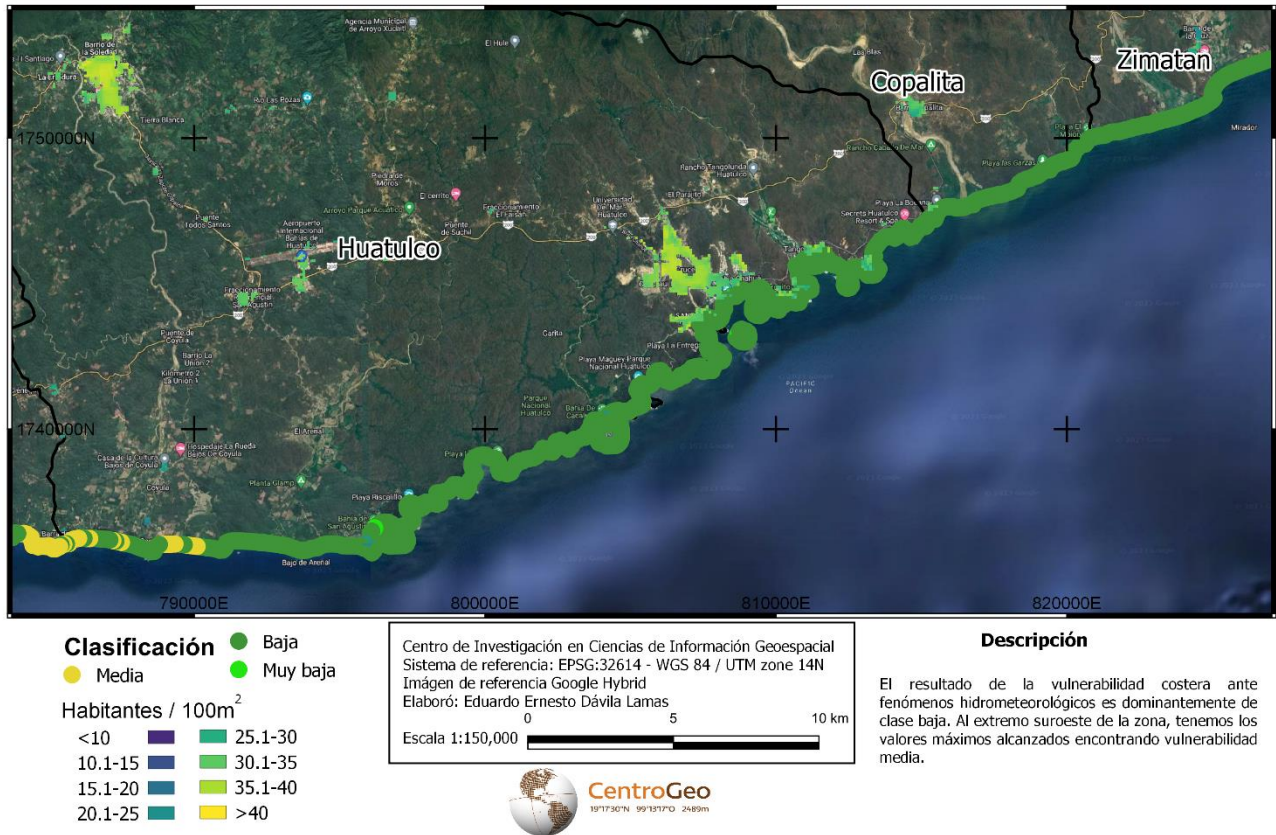


Figura 4.1. Vulnerabilidad costera actual estimada para el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco.

El modelo realiza la evaluación en los mismos puntos, considerando el escenario de pérdida total de la vegetación presente en el área, este resultado se presenta en la Figura 4.2.

Vulnerabilidad costera sin hábitat

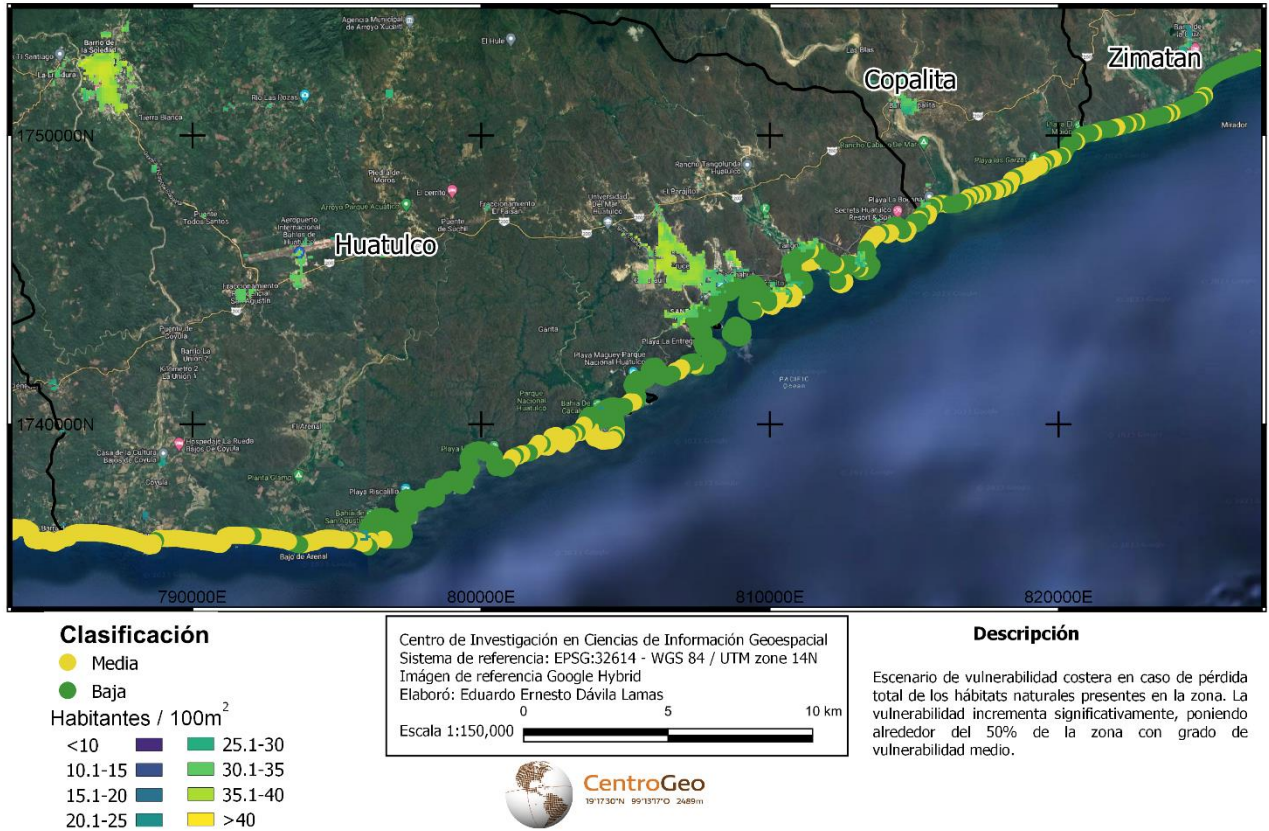


Figura 4.2 Vulnerabilidad costera estimada para el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco, en escenario de pérdida total de los hábitats naturales bajo condiciones actuales.

Actualmente el área de estudio presenta en su mayoría bajo grado de vulnerabilidad. Solo al extremo suroeste podemos observar la única zona con grado de vulnerabilidad medio. Al eliminar por completo la vegetación presente de la zona, se observa un incremento general de las zonas con grado de vulnerabilidad medio. Sin embargo, a pesar de que se tiene incremento en general de zonas con grado de vulnerabilidad medio, se observa que para la zona de mayor desarrollo urbano, al centro del área de estudio, se mantiene bajo grado de vulnerabilidad.

Finalmente, en la Figura 4.3 se presenta la vulnerabilidad proyectada para el año 2039, con base en el cambio en el uso de suelo estimado por Blancas-Zamora (2023).

Vulnerabilidad costera estimada 2039

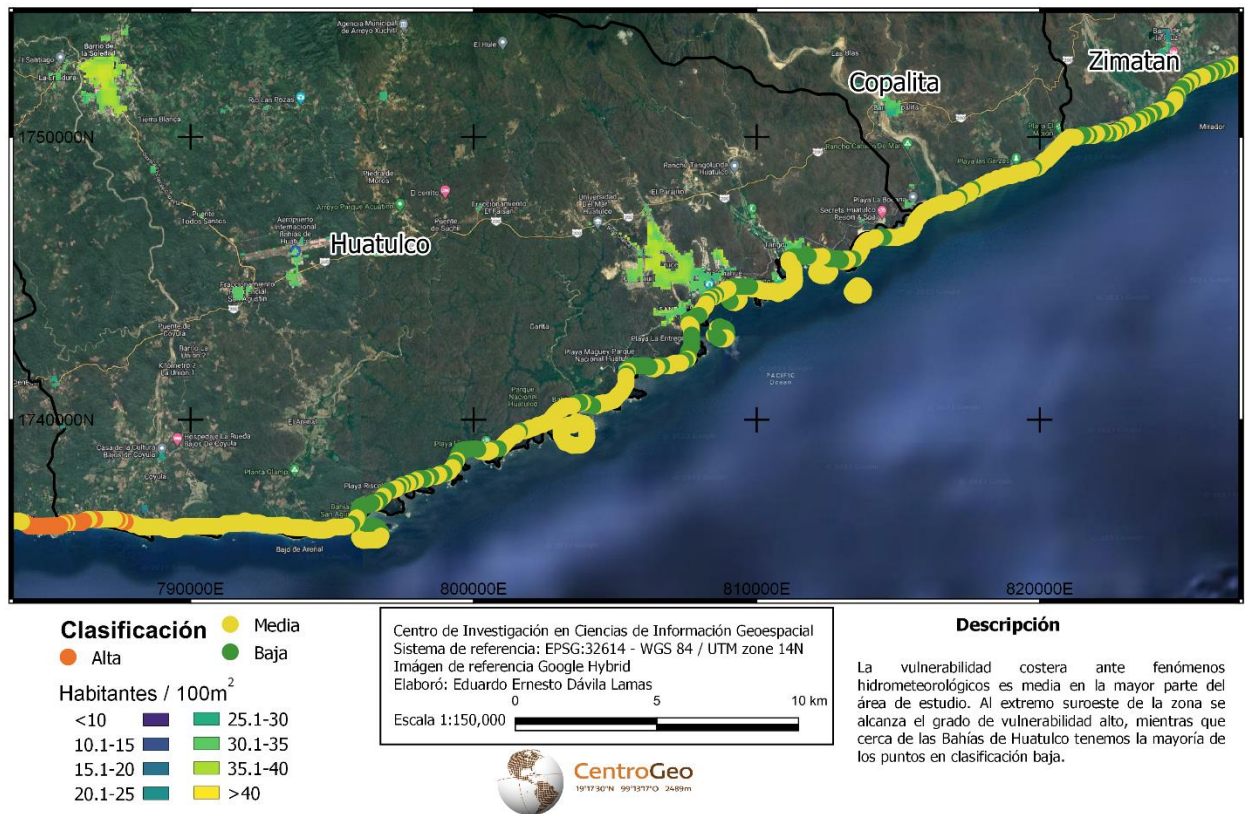


Figura 4.3. Vulnerabilidad costera estimada para el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco, proyección estimada para el año 2039.

La proyección realizada de escenario futuro de vulnerabilidad, estimada para el año 2039 tiene predominantemente el grado de vulnerabilidad medio, proyectando el peor escenario de vulnerabilidad estimada para el área de estudio. En la zona suroeste se alcanza el grado de vulnerabilidad alto.

Con el fin de poder comparar más a detalle los resultados obtenidos, en la Tabla 4.4 se presenta información de los diferentes modelos obtenidos, permitiendo analizar el grado de vulnerabilidad, la población estimada en situación de vulnerabilidad para cada escenario y la extensión total de los mismos.

Tabla 4.4. Tabla comparativa con la extensión y la cantidad de habitantes afectados para cada grado de vulnerabilidad obtenido en las condiciones actuales, actuales en escenario de pérdida total de hábitats y estimada para el año 2039.

Grado de vulnerabilidad	Característica a comparar	Vulnerabilidad actual	Vulnerabilidad sin hábitats naturales	Vulnerabilidad estimada 2039
Muy bajo	Extensión	0.4 km	0 km	0 km
	Porcentaje	0.59%	0 %	0%
	Habitantes	0	0	0
Bajo	Extensión	61.4 km	44.3 km	21.7 km
	Porcentaje	90.96%	65.63%	32.15%
	Habitantes	31,368	28,154	17,881
Medio	Extensión	5.7 km	23.2	42 km
	Porcentaje	8.44%	34.37%	62.22%
	Habitantes	2,677	5,891	14,779
Alto	Extensión	0 km	0 km	3.8 km
	Porcentaje	0%	0%	5.63%
	Habitantes	0	0	1,385

El área total en grado de vulnerabilidad media en las condiciones actuales se expande en un total de 5.7 km de longitud a lo largo de la línea de costa, lo cual representa el 8% de los 67.5 km totales analizados y alberga a un total de 2,677 habitantes.

Con la Tabla 4.4 se puede notar que la población en grado de vulnerabilidad medio se incrementa en un 120% en caso de pérdida total de los hábitats, aumentando de 2,677 a 5,891 habitantes en este nivel de vulnerabilidad, y la cifra proyectada para el 2039 se incrementa aún más, estimando 14,779 habitantes en grado de vulnerabilidad media. Dichos incrementos en el total de la población en grado de vulnerabilidad medio, no consideran el crecimiento poblacional proyectado para el año 2039, por lo que representan la población mínima que podría ser afectada.

Para este momento es importante aclarar que el modelo InVEST, evalúa la vulnerabilidad a lo largo de la línea de costa, considerando que el área perpendicular tierra adentro a partir de la costa, tiene el mismo grado de vulnerabilidad. Éste atributo del modelo InVEST, limita la comprensión y análisis detallado de la población vulnerable, pues de acuerdo con Ramírez-León y Merlo-Galeazzy (2024) en las zonas altas de la sierra se encuentra la población con mayor grado de marginación, dedicada en su mayoría a la agricultura de temporal y la cafecultura, por otra parte en la zona costera se tiene población no marginada enfocada al desarrollo turístico.

Complementariamente, se tiene un incremento en la extensión de la línea de costa en grado de vulnerabilidad media, cambiando de 5.7 a 23.2 km (un incremento de más de 4 veces la extensión actual), al eliminar los hábitats y a un total de 42 km estimados en para el año 2039.

Actualmente se cuenta con pocos puntos en grado de vulnerabilidad muy bajo, los cuales desaparecen en los escenarios proyectados. Por otra parte, para el 2039 se estima llegar a tener el 5.63% de la línea de costa con grado de vulnerabilidad alto.

Para analizar más a detalle la vulnerabilidad en el área de estudio y el impacto que tiene la vegetación en la zona, en la Figura 4.5 se muestran los histogramas del grado de vulnerabilidad obtenido con la vegetación actual, el escenario de la vulnerabilidad en caso de pérdida absoluta de los hábitats naturales y el proyectado para el 2039.

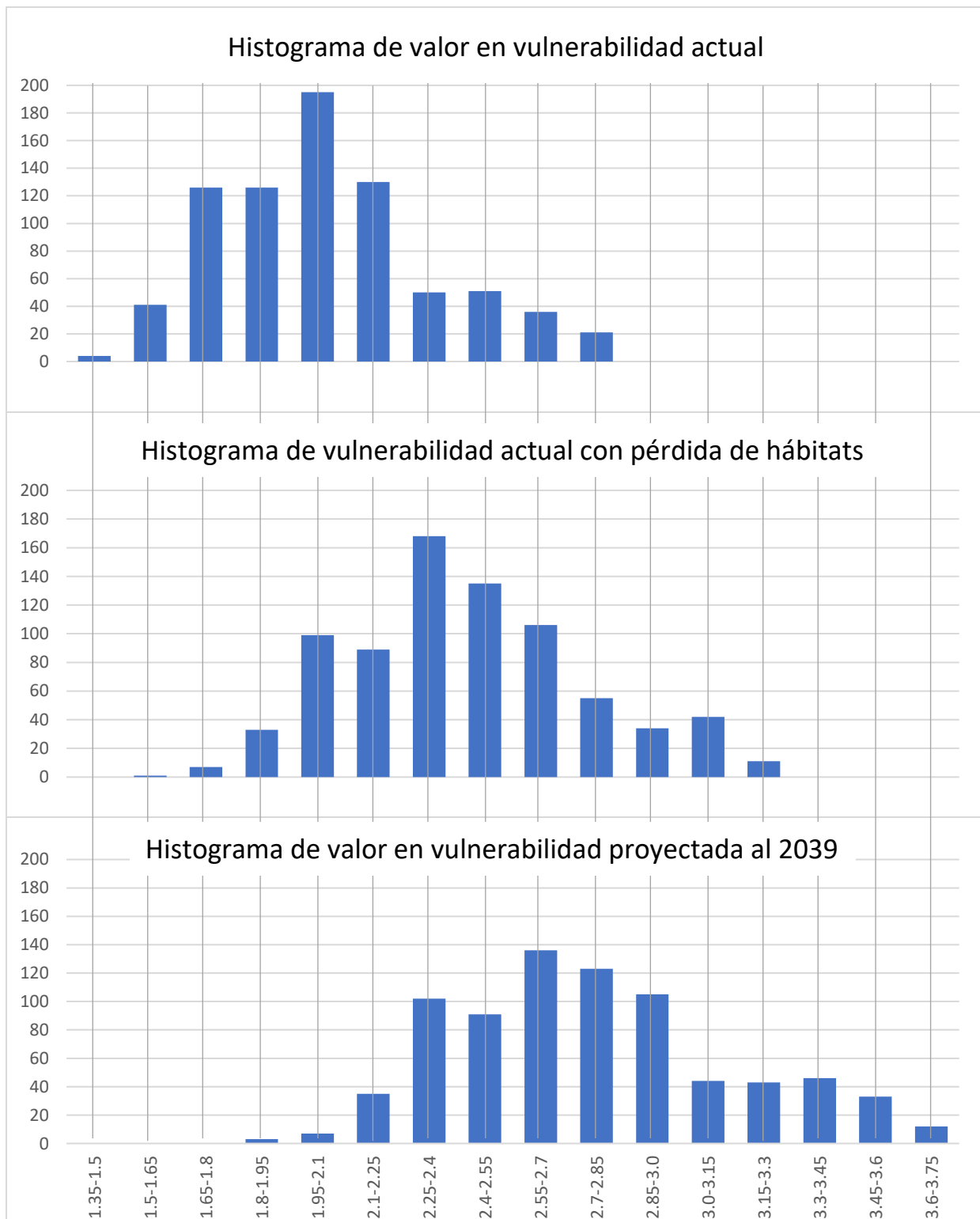


Figura 4.5. Histogramas con el valor obtenido de la vulnerabilidad en el área de estudio con y sin vegetación presente, y proyectado al 2039.

Las gráficas de la Figura 4.5 permiten comprender de mejor manera lo presentado en las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y la Tabla 4.4, pues se puede identificar primeramente que la

ausencia de hábitats naturales incrementa de forma general el grado de vulnerabilidad presente en la línea de costa y para el escenario proyectado al 2039 aumenta aún más la vulnerabilidad de la zona.

El promedio de vulnerabilidad en el área de estudio es de 2.04 en las condiciones actuales. Al remover los hábitats naturales el promedio se incrementa a 2.42. Finalmente, en el escenario estimado para el 2039, la vulnerabilidad media es de 2.76, esto quiere decir que la ausencia de hábitats naturales incrementa en un 18.7% la vulnerabilidad en la zona de estudio, mientras que para el 2039 se estima un incremento del 35.3% en la vulnerabilidad. Este incremento en el grado de vulnerabilidad para un escenario futuro concuerda con lo observado en el análisis histórico de eventos, Figura 3.5, donde se observa una tendencia creciente en el total de pérdidas económicas que generan los desastres naturales en el área de estudio.

Ahora enfocándonos en las condiciones actuales en el área de estudio, y la relevancia de los hábitats naturales, en la Tabla 4.6 se muestran las medidas de tendencia central e información estadística adicional, del impacto que tiene la presencia de hábitats naturales en la zona, para disminuir la vulnerabilidad.

Tabla 4.6. Valores estadísticos del impacto de los hábitats naturales en la disminución de la vulnerabilidad costera en el área de estudio.

Medida	Valor
Media	0.3785
Moda	0.3280
Mediana	0.3622
Desviación estándar	0.0772
Valor mínimo	0.2208
Valor máximo	0.5994

De esta tabla es importante destacar que el impacto que tiene el hábitat natural en la disminución de la vulnerabilidad costera en promedio es de 0.38.

Bajo las condiciones actuales, el municipio San Pedro Pochutla concentra la mayor parte los valores de la extensión en grado de vulnerabilidad medio. Municipio que presenta alto grado de marginación (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2019). Complementariamente Monterroso et al. (2014), clasifican el municipio con grado de sensibilidad y de exposición medio y una capacidad adaptativa alta. Por otra parte, solo el municipio de Santa María de Huatulco presenta asentamientos significativos junto a la línea de costa, el resto de las localidades se concentran hacia la zona de la sierra alta, donde a pesar de presentar alto grado de marginación (Ramírez-León y Merlo-Galeazzy, 2024) se encuentran menos expuestos ante peligros costeros.

Capítulo 4 Discusión y conclusiones

Discusión

Actualmente el 90% del área de estudio presenta un grado de vulnerabilidad bajo. Sin embargo, se proyecta que esto cambie para un escenario futuro al 2039, considerando el cambio de uso de suelo proyectado para ese año de Blancas-Zamora (2023). De esta manera, se espera que más del 60% del área de estudio en grado de vulnerabilidad medio.

El análisis histórico realizado en este trabajo permite notar que los fenómenos hidrometeorológicos, principalmente huracanes y lluvias torrenciales, son una amenaza constante en el área de estudio, que cada par de años causa pérdidas de millones de pesos, así como el deceso de personas en la zona. Esto sugiere un alto o muy alto grado de vulnerabilidad en el área de estudio, lo cual no coincide con los resultados del modelo InVEST. Lo anterior se puede atribuir a la poca consideración de factores sociales en la evaluación de vulnerabilidad costera por parte del modelo, los cuales son de vital importancia en la evaluación de vulnerabilidad (Noor y Abdul-Maulud, 2022; Ramírez-León y Merlo-Galezzy, 2024).

Los estudios de vulnerabilidad costera son una representación espacial de lugares y personas expuestas a peligros costeros, como lo son tormentas, inundaciones, mar de fondo, entre otros (Bevaqua et al. 2018). Existen diversas metodologías para evaluar dicho grado de vulnerabilidad, las cuales buscan representar la interacción compleja y dinámica entre la economía, el medio ambiente y diversos factores sociales (Noor y Abdul-Maulud, 2022). Cada metodología propuesta considera distintas variables, además de distintas metodologías para la obtención de datos, las cuales han evolucionado a lo largo de los años (Bevaqua et al. 2018).

Algunos modelos de evaluación de vulnerabilidad costera se centran en factores sociales como el turismo y la urbanización (Nitivattananon y Srinonil, 2019), mientras que otros se enfocan en factores físicos y biológicos (Tallis et al. 2011 y Gornitz, 1990), éstos últimos tienen mayor antigüedad, pero han sido de gran relevancia, permitiendo modificaciones e implementaciones hasta años recientes (Noor y Abdul-Maulud, 2022; Koroglu et al. 2019; Hossain et al., 2022; entre otros). A pesar de las diferentes metodologías y parámetros a considerar en la evaluación de vulnerabilidad costera, todos los estudios tienen en común la importancia de estas investigaciones derivado del impacto producido por el cambio climático y el incremento que ha producido en eventos climáticos extremos.

En esta investigación se pudieron evaluar 3 escenarios de vulnerabilidad costera, el primero bajo las condiciones actuales en la zona, el segundo, un escenario en caso de pérdida total de la vegetación de la zona y el tercero, un escenario de vulnerabilidad proyectado para el año 2039, considerando el posible cambio en el uso de suelo de Blancas-Zamora (2023).

En este trabajo se obtuvo un incremento promedio de 0.38 en el impacto de la vulnerabilidad al remover y/o degradar los hábitats naturales, lo cual se encuentra considerablemente debajo de lo obtenido por Hopper y Meixler (2016), quienes

obtuvieron 0.56, y Cabral et al. (2017) con el valor de 0.45. Estos trabajos se realizaron en la Bahía Jamaica, Nueva York y la costa de Mozambique respectivamente, teniendo condiciones ambientales y escala de análisis distintas. En estos trabajos no se encontraron similitudes respecto a la presencia de hábitats naturales, más allá de su relevancia en la disminución de la vulnerabilidad, aunque sí se tuvieron conclusiones similares respecto a la geomorfología y el relieve de ambas zonas, las cuales concluyen tener áreas altamente erosionables.

Por otra parte, el trabajo de Ai et al. (2022) fue el que presentó un valor medio más cercano a los resultados de este trabajo, pues obtuvieron un valor medio de vulnerabilidad de 2.39 (valor por encima de los resultados del presente trabajo de 2.04). Aunque Ai et al. (2022) destacan la importancia de los hábitats naturales en la regulación de vulnerabilidad, ellos encontraron que en su área de estudio (Bahía de Jiaozhou, China) se tienen 2 factores dominantes en la regulación de la vulnerabilidad, i) el relieve abrupto, pues zonas de menor relieve en la Bahía de Jiaozhou presentaron mayor vulnerabilidad y, ii) el constante desarrollo de infraestructura costera con fines económicos, con lo que se pudo encontrar una disminución progresiva de la vulnerabilidad a lo largo del tiempo entre 1984 y 2019, cambiando de una media de 2.52 a 2.39.

Esta investigación permite notar que además de los hábitats naturales, la geomorfología y el relieve son factores importantes para la regulación de la vulnerabilidad, pues en la zona suroeste se encuentra el área con relieve más homogéneo en el área de estudio, y la geomorfología dominante corresponde a grandes extensiones de playas arenosas las cuales, en conjunto con el relieve, son factores que incrementan la vulnerabilidad significativamente. A pesar de que al extremo noreste del área de estudio, también se cuentan con grandes extensiones de playas arenosas, en esta zona tenemos un relieve significativamente más accidentado que al extremo suroeste lo que justifica el bajo grado de vulnerabilidad obtenido en esta zona.

Para el escenario proyectado al 2039 se tuvo una vulnerabilidad promedio de 2.76, lo cual se asemeja a el valor medio obtenido en otros trabajos, como el de Hopper y Meixler (2016) quienes obtuvieron media de 2.85, el de Cabral et al. (2017) con media entre 2.9-3.22 y el de Zhang et al. (2021), que presenta valores medios 2.39-3.35. Todos estos trabajos, en general describen áreas de estudio con alta vulnerabilidad y zonas erosionables. Hopper y Meixler (2016) atribuyen esta vulnerabilidad principalmente a la geomorfología y relieve, aunque Zhang et al. (2021) incluye también conclusiones de alta vulnerabilidad, derivado de condiciones desfavorables de viento y oleaje en áreas específicas de su zona de estudio en los resultados de vulnerabilidad más altos. Finalmente, Ai et al. (2022) y Zhang et al. (2021), concluyen de forma similar la importancia de la distancia y el relieve de la plataforma continental, para disminuir la vulnerabilidad costera, ante eventos hidrometeorológicos. En este trabajo, sin embargo, únicamente se modificó el insumo del uso de suelo, por lo que el incremento en la vulnerabilidad solo es atribuible a este parámetro. Al realizar la comparación del uso de suelo actual contra el uso de suelo proyectado, se observan 2 diferencias contrastantes,

i) la disminución casi en su totalidad de los manglares y, ii) el aumento significativo de las áreas sin hábitat, principalmente aumento de la zona urbanizada.

Tras el análisis de los trabajos mencionados de evaluación de vulnerabilidad costera mediante el uso del modelo InVEST, se encontró que los hábitats naturales, en general, son de gran relevancia en las zonas costeras para la disminución de la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos, sin embargo, cada área puede tener diversas características biológicas, geológicas, ambientales y económicas que pueden contribuir o disminuir significativamente el estado de vulnerabilidad de un lugar determinado.

Al analizar la base de datos, se encontró que el relieve presenta clasificación de vulnerabilidad muy baja casi en la totalidad de la extensión de la línea de costa. Posteriormente se identificó, que tanto en el escenario de pérdida total de hábitats naturales como para el proyectado al año 2039, presentan mayor grado de vulnerabilidad hacia el noreste y el suroeste del área de estudio, lo que coincide con los valores obtenidos en la geomorfología. De esta manera puede argumentarse que la geomorfología y el relieve son los parámetros más relevantes en la disminución de vulnerabilidad costera ante fenómenos hidrometeorológicos, siendo el relieve el más importante de estos 2. Sin embargo, es importante recordar que se puede modificar el grado de vulnerabilidad considerablemente al tomar en cuenta la influencia de otros factores sociales o ambientales (Ai et al., 2022). De esta manera el desarrollo económico de la zona, el cual se ve modificado principalmente por el atractivo turístico del área de estudio puede modificar el grado de vulnerabilidad de las personas en el área de estudio (DataMéxico, 2024 y Mulhern, 2020) por lo que el modelo InVEST requiere la integración de más variables, que incluyan parámetros como la sensibilidad y la capacidad de adaptación para una evaluación integral del grado de vulnerabilidad de la población ante fenómenos hidrometeorológicos.

En este estudio se identifica que para el área de estudio el relieve y la geomorfología costera son los 2 factores de mayor relevancia en la disminución de la vulnerabilidad costera. Esto coincide con los resultados de Zhang et al. (2021), realizado en el mar de Bohai, China, quienes tuvieron una zona de estudio con 9 distintas clases de geomorfología, algunos de ellos naturales, teniendo desde planicies aluviales; playas de grava; acantilados altos rocosos; entre otros, y otros varios artificiales, tales como revestimientos y muros de rocas (rip-rap wall). Su investigación permitió hacer el análisis y comparación de varias ciudades y localidades en la Bahía de Bohai, e identificaron que la diversidad geomorfológica afectaba directamente el grado de vulnerabilidad, pues ciudades como Weihai presentaron el menor nivel de vulnerabilidad, zona donde el relieve y la geomorfología tuvieron los valores menores del modelo. Así mismo, el trabajo de Jackson et al. (2022) y el de Cabral et al. (2017), concluyeron de forma similar que zonas dentro de su área de estudio en donde tuvieron condiciones de geomorfología desfavorables, terminaron teniendo gran relevancia y produciendo las áreas con mayor vulnerabilidad.

Es importante considerar que la presencia de hábitats naturales reduce la población en grado de vulnerabilidad medio, de 5,891 habitantes a 2,677, es decir reduce un 45% la población en este grado de vulnerabilidad. Por lo cual, es importante la conservación de los hábitats naturales para regular la vulnerabilidad costera en el área de estudio, pues de lo contrario, para el 2039 podría llegar a tenerse un total de 14,779 personas en grado de vulnerabilidad bajo, y comenzar a tener al menos 1,385 personas en grado de vulnerabilidad alto.

Diversos trabajos, coinciden en que los esfuerzos de conservación de los hábitats son beneficiosos, no solo para regular la vulnerabilidad, sino también para impulsar el desarrollo socio-económico de un determinado lugar; y concuerdan con la necesidad de colaboración entre niveles, locales, regionales, nacionales, e incluso por esfuerzos internacionales (Noor y Abdul-Maulud, 2022; Nitivattananon y Srinonil, 2019 t Bevacqua et al. 2018).

Existen diferentes estrategias de conservación que se han aplicado, y han obtenido resultados positivos en esta conservación de los ambientes costeros, tales como la declaración del Parque Nacional Koh Chang, en Tailandia, donde a través de esfuerzos nacionales del Departamento de Parques Nacionales, i) se protegen y conservan áreas naturales, ii) se restauran zonas afectadas y iii) se promueve el atractivo turístico, derivado de estos servicios ecosistémicos (Nitivattananon y Srinonil, 2019).

Particularmente en México, se han realizado distintas acciones para la protección de los ambientes costeros, algunos de ellos, como el programa “Moviendo a México hacia la prevención”, implementado en el 2012 por el CENAPRED, enfocado a la reducción del impacto de los desastres en la población (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, 2021.D), hasta esfuerzos más recientes y enfocados a la protección de mares y costas, como la Política Nacional de Mares y Costas de México, donde se establecen estrategias para la protección, restauración y uso sustentable de los mares y costas mexicanas (DOF, 2018). La implementación de estas políticas, y de otros programas de protección costera, implica el desarrollo de diversas investigaciones a los ambientes costeros, tales como Marín-Monroy, et al., (2021), Ávila-Flores, et al. (2020), o el presente trabajo. Dichas investigaciones y políticas, se han logrado implementar en la ejecución de acciones para la disminución de la vulnerabilidad costera, y la protección de los ecosistemas costeros, como el aumento en la cantidad de Áreas Naturales Protegidas en ambientes costeros en México (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2018). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos de protección y disminución de vulnerabilidad de ambientes costeros, aún quedan muchas investigaciones y trabajo que realizar para la obtención de mejores resultados, en especial frente al cambio climático (Gómez-Durán, 2022).

El mayor porcentaje de la población en el área de estudio se encuentra concentrada en la zona turística de las Bahías de Huatulco, área que en ambos escenarios actuales se mantiene con bajo grado de vulnerabilidad. Sin embargo, en el escenario de vulnerabilidad estimado al 2039, alrededor del 50% de la zona cae en grado de vulnerabilidad media, por lo cual debe considerarse un análisis a futuro más detallado

de la vulnerabilidad en las Bahías de Huatulco, integrando más variables sociales y económicas. Dichas investigaciones a futuro cobran relevancia, debido a que las Bahías de Huatulco, son un destino turístico que año tras año crece, tanto con turistas nacionales como extranjeros (Secretaría de Turismo del Estado de Oaxaca, 2022), dicho crecimiento se debe al esfuerzo del Gobierno Estatal por incrementar los ingresos del sector turístico, a través de la creación de eventos, tales como la Regatta de Kayaks implementada en 2019, The Black Fest del 2020, el Festival Juventud EVM del 2019, entre otros (Esquivel-Ríos, et al. 2022).

A pesar de las limitaciones que presenta el modelo InVEST, tales como la poca consideración de factores sociales y económicos, se pudo obtener un análisis general de la vulnerabilidad en la zona, lo cual puede ayudar como antecedente para evaluaciones futuras en el área de estudio. El modelo InVEST, es una buena herramienta para la evaluación de la exposición, sin embargo, es necesaria la integración de otros factores, tales como la urbanización, las actividades económicas, el grado de marginación, la población perteneciente a grupos vulnerables (tales como personas de la tercera edad) para una evaluación integral de la vulnerabilidad costera (Nitivattananon y Srinonil, 2019; Noor y Abdul-Maulud, 2022).

La compilación histórica sugiere un alto grado de vulnerabilidad costera a fenómenos hidrometeorológicos, debido a que en este trabajo se identificó que estos fenómenos integran alrededor del 50% de los eventos que generan desastres en el área de estudio, lo cual contrasta contra los bajos grados de vulnerabilidad obtenidos tras la aplicación del modelo a la mayor parte de la zona. Esto puede explicarse porque **i)** la vulnerabilidad costera debe analizarse en estudios holísticos, involucrando más factores sociales y ecológicos (Zhang et al. 2020) **ii)** los campos de cultivo también son factores que se deben considerar para la vulnerabilidad, debido a que modifican los hábitats y las dinámicas sociales de una zona (Cabral et al. 2017).

A pesar de que el modelo InVEST de vulnerabilidad costera permite obtener una idea general del estado de vulnerabilidad de una zona determinada Zhang et al (2020) y Cabral et al (2017), coinciden en la necesidad de complementar el modelo con el uso de otras herramientas como el Índice de Sensibilidad, el Índice de Capacidad Adaptiva, las condiciones actuales de conservación de los hábitats naturales, entre otras.

Conclusiones

En este trabajo se consiguió evaluar la vulnerabilidad costera en el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco, Oaxaca, mediante la aplicación del modelo InVEST.

El modelo InVEST de vulnerabilidad costera es una herramienta útil para obtener una evaluación preliminar de la vulnerabilidad, cuyo principal beneficio es la posible generación de evaluaciones bajo distintas condiciones y con ello, la generación de distintos escenarios, como en este trabajo donde además de las condiciones actuales se analizó un escenario de pérdida de hábitats, y otro proyectado para el año 2039.

El modelo realiza correctamente la integración de la geomorfología, relieve, hábitats naturales, exposición al viento y al oleaje, cambio en el nivel medio del mar y el potencial de arranque, en un índice de exposición que al integrarse con la densidad de población genera un análisis del grado de vulnerabilidad de dicha población. De esta manera, el modelo muestra ser eficiente en la evaluación parcial de la vulnerabilidad concentrándose predominantemente en la evaluación de la exposición, y dejando de lado la capacidad adaptativa y la sensibilidad.

Un beneficio más del modelo es la cuantificación de variables bio-geofísicas, para su posterior integración en una evaluación preliminar de la vulnerabilidad. Gracias a esta cualidad del modelo, se logró identificar que el relieve es el factor de mayor disminución de vulnerabilidad en la zona. Complementariamente la geomorfología es el segundo factor de mayor relevancia en el área de estudio, y su relevancia destaca en los 2 escenarios proyectados, el del año 2039 y el de pérdida total de hábitats naturales. Por otra parte, enfocándonos a el escenario proyectado al 2039 el incremento en la zona urbanizada y la pérdida de hábitats naturales destaca a los hábitats como factor de gran relevancia en la regulación futura de la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos.

Adicionalmente, el modelo aplicado presenta la limitante de la casi nula consideración de factores sociales y económicos, por lo cual no se considera que el resultado represente una evaluación integral del estado actual de vulnerabilidad en el área de estudio. A pesar de ello, la eficacia en la evaluación de vulnerabilidad con base en variables biológicas, geológicas y físicas, sustentan la robustez del modelo para la integración de estas variables en un índice de exposición, el cual puede ser una parte que se ha de complementar mediante el uso de otras herramientas que evalúen la vulnerabilidad costera basado en factores socio-económicos, como pueden serlo el grado de marginación, el porcentaje de población de grupos vulnerables, entre otros, mediante los cuales se pueda generar un análisis integral de la vulnerabilidad costera.

El análisis histórico que se realizó en el área de estudio deja ver que a pesar de que los resultados indican predominantemente un grado bajo de vulnerabilidad, existen varios factores que amenazan a la población en el área de estudio, algunos de ellos de tipo hidrometeorológico, como lo son las tormentas, inundaciones, etc; otros de tipo geológico, como los sismos y derrumbes; y otros de tipo social, como lo son los incendios forestales y los fenómenos socio-administrativos. Por lo cual, es recomendado que estos factores sean considerados en futuros trabajos de análisis de vulnerabilidad.

Actualmente, se han desarrollado diversas metodologías que analizan la vulnerabilidad costera, las cuales se han vuelto cada vez más relevantes, en especial hacia los años recientes. Esta relevancia se deriva principalmente del impacto que diversos desastres, posiblemente producidos por el cambio climático, generan año tras año, cobrando vidas humanas, y millones de pesos en gastos y pérdidas. Por lo anterior, es importante seguir desarrollando estudios de análisis de vulnerabilidad costera, que puedan ayudar en la prevención de desastres y en la protección de poblaciones vulnerables.

El cambio climático es un evento complejo a nivel global, que actualmente requiere de ser analizado y estudiado ampliamente. El incremento que ha generado en la cantidad de eventos extremos y la falta de estudios integrales preventivos da entrada a grandes desastres, tales como el sucedido en Acapulco, Guerrero, el pasado 25 de octubre de 2023. Por ello es necesario continuar con investigaciones de vulnerabilidad costera, las cuales no aborden la vulnerabilidad desde una perspectiva única, sino que realicen un análisis integral inter y transdisciplinario.

Lista de figuras y tablas

- Figura 1.1. Crecimiento poblacional en el municipio de Santa María de Huatulco	3
- Figura 1.2. Grado de marginación por municipio en el área de estudio	4
- Figura 2.1. Concentración de CO de los últimos 800,000 años	9
- Figura 2.2. Esquema de factores que integran la vulnerabilidad	10
- Figura 2.3. Servicios ecosistémicos de los ambientes costeros	12
- Figura 3.1. Ubicación del área de estudio	17
- Tabla 3.2. Cobertura por municipio del área de estudio	18
- Tabla 3.3. Resumen de los eventos que han causado daños en el área de estudio entre los años 1980-2021	19
- Figura 3.4. Eventos productores de desastres con implicaciones en el área de estudio entre 1980-2021	34
- Figura 3.5. Tendencia de la cantidad de decesos y pérdidas económicas producidas en el área de estudio entre 1980 y 2021	35
- Figura 3.6. Cantidad de hectáreas afectadas por incendios forestales en el estado de Oaxaca entre 1980 y 2021	35
- Figura 3.7. Variables que integran el modelo de vulnerabilidad costera InVEST	36
- Figura 3.8. Mapa de densidad poblacional en el área de estudio	38
- Figura 3.9. Geomorfología sobre la línea de costa en el área de estudio	39
- Figura 3.10. Mapa de sombras representativo del relieve en el área de estudio	40
- Figura 3.11. Hábitats presentes en el área de estudio	41
- Figura 3.12. Cobertura de hábitats proyectada al 2039	42
- Figura 3.13. Estaciones del modelo WAVEWATCH III cercanas al área de estudio	44
- Tabla 3.14. Ejemplo de información brindada por el modelo WAVEWATCH III, correspondiente a la estación 529	45
- Figura 3.15. Estaciones del Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar con registros cercanos al área de estudio	46
- Tabla 3.16. Clasificación geomorfológica de la línea de costa	47
- Figura 3.17. Valoración de la geomorfología sobre la línea de costa en el área de estudio.	47
- Tabla 3.18. Clasificación de hábitat de la línea de costa	48
- Figura 4.1. Vulnerabilidad costera actual estimada para el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco	50
- Figura 4.2. Vulnerabilidad costera estimada para el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco, en escenario de pérdida total de los hábitats naturales bajo condiciones actuales.	51

- Figura 4.3. Vulnerabilidad costera estimada para el complejo de cuencas hidrológicas Copalita – Zimatán – Huatulco, proyección estimada para el año 2039.	52
- Tabla 4.4. comparativa con la extensión y la cantidad de habitantes afectados para cada grado de vulnerabilidad obtenido en las condiciones actuales, actuales en escenario de pérdida total de hábitats y estimada para el año 2039	53
- Figura 4.5. Histogramas con el valor obtenido de la vulnerabilidad en el área de estudio con y sin vegetación presente, y proyectado al 2039	55
- Tabla 4.6. Valores estadísticos del impacto de los hábitats naturales en la disminución de la vulnerabilidad costera en el área de estudio	56

Referencias

- Abid, M., Schilling, J., Scheffran, J. y Zulfiqar, F. 2016. Climate change vulnerability, adaptation and risk perceptions at farm level in Punjab, Pakistan. *Science of the Total Environment* 547. Pp. 447-460.
- Ai, B., Tian, Y., Wang, P., Gan, Y., Luo, F. y Shi, Q. 2022. Vulnerability Analysis of Coastal Zone Basen on InVEST Model in Jiaozhoy Bay, China. *Sustainability*. Vol. 14. No. 6913. 19 pp.
- Alcántara-Ayala, I., 2010. Disasters in Mexico and Central America: A Little Bit More Than a Century of Natural Hazards. Cap. 4, pp. 75-97. En Latrubesse, E., 2010. *Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America. Special Volumes of Geomorphology. Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier. Gran Bretaña, vol. 13, 510 pp.
-
- Arkema, K. K., Guannel, G., Verutes, G., Wood, S. A., Guerry, A., Ruckelshaus, M., Kareiva, P., Lacayo, M. y Silver, J. M. 2013. Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature Climate Change*. Vol 3, pp. 913-918.
- Ávila-Flores, G., Juárez-Mancilla, J., Hinojosa-Arango, G., Cruz-Chávez, P., López-Vivas, J. M. y Arizpe-Covarrubias, O. 2020. A Practical Index to Estimate Mangrove Conservation Status: The Forest from La Paz Bay, Mexico as a Case of Study. *Sustainability*, Vol. 12, 858. 17 pp.
- Bevacqua, A., Yu, D., Zhang, Y. 2018. Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people. *Environmental Science and Policy*. Vol. 82, pp 19-29.
- Blancas-Zamora, K. J. 2023. Modelos de Simulación de Cambio de Cobertura Terrestre en el Complejo Copalita-Zimatán-Huatulco (COZIHUA) para el Año 2039 Mediante Máquinas de Aprendizaje. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 146 pp.
- Cabral, P., Augusto, G., Akande, A., Costa, A., Amade, N., Niquisse, S., Atumane, A., Cuna, A., Kazemi, K., Mlucasse, R. y Santha, R. 2017. Assesing Mozambique's exposure to coastal climate hazards and erosion. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. No. 23, pp. 45-52.
- Canul-Turriza, R. A. 2020. Desarrollo de una metodología para el control de la erosión y disminución de la vulnerabilidad costera: un enfoque a gran escala. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 497 pp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2018. México es líder mundial en la protección de áreas marinas. Consultado el 2 de febrero de 2024: <https://www.gob.mx/conanp/es/prensa/mexico-es-lider-mundial-en-la-proteccion-de-areas-marinas?idiom=es>
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. *Capital Natural de México*. Vol 1. Conocimiento Actual de la Biodiversidad. 620 pp.
- Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Oaxaca. Última reforma publicada POE: 31-12-2016.
- DataMÉXICO. Santa María Huatulco, Municipio de Oaxaca. Consultado el 4 de octubre de 2021: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/>

- De Jesús Ordóñez, M. 2000. El territorio del Estado de Oaxaca: una revisión histórica. Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. No. 43, pp. 67-86.
- Denckak, M. 2019. Greenhouse Effect 101. Natural Resources Defense Council. Julio 16, 2019.
- Dlugokencky, E. y Tans, P. 2022. NOAA/Global Monitoring Laboratory. Consultado el 23 de marzo de 2022:
https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_data.html
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 30/11/2018. ACUERDO mediante el cual se expide la Política Nacional de Máres y Costas de México.
- Esquivel-Ríos, R., Martínez-Sánchez, A. y Villaseñor-Ramírez, M. M. El proceso de turistización en Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Gestión Turística No. 38. 33 pp.
- Etheridge, D. M., Steele, L. P., Langenfelds, R. L., Francey, R. J., Barnola, J. M. y Morgan, V. I. 1996. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. Journal of Geophysical Research. Vol. 101. No. D2, pp. 4,115 - 4,128.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022. Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Consultado el 17 de mayo de 2022:
<https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Furlan, E., Dalla Pozza, P., Michetti, M., Torresan, S., Critto, A. y Marcomini, A. 2021. Development of a Multi-Dimensional Coastal Vulnerability Index: Assessing vulnerability to inundation scenarios in the Italian coast. Science of the Environment. No. 772. 19 pp.
- Füssel, H. M. 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change 17. Pp- 155-167.
- Gallina, S. 2022. ¿Qué entendemos por hábitat y qué importancia tiene para la fauna? INECOL Instituto de Ecología:
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1695-que-entendemos-por-habitat-y-que-importancia-tiene-para-la-fauna>
- Gómez-Durán, T. 2022. México, ¿áreas marinas protegidas solo en papel? Mongarbay. Consultado el 2 de febrero de 2024:
<https://es.mongabay.com/2022/02/oceanos-mexico-areas-marinas-protegidas-solo-en-el-papel/>
- González-Baheza, A. y Arizpe, O. 2017. Vulnerability assessment for supporting sustainable coastal city development: a case of study of La Paz, Mexico. Climate and Development. Vol. 10. 14 pp.
- Google Earth. 2023. Data SIO, NPAA. U.S. Navy, NGA, GEBCO. Data LDEO-Columbia, NSF, NOAA. Image Landsat / Copernicus. Consultado el 23 de enero 2023. Fecha de las imágenes: diciembre 13, 2015.
- Gornitz, V. 1990. Vulnerability of the East Coast, U.S.A. to Future Sea Level Rise. Journal of Coastal Research. Special Issue No. 9. Proceedings of the Skagen Symposium (2 – 5 september, 1990). Pp. 201 – 237.
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P., Below, R. 2013. Annual Disaster Statistical Review 2012: The Number and Trends. Université Catholique de Louvain collaborating of Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Bélgica. 42 pp.
- Holgate, S. L., Matthews, A., Woodworth, P. L., Rickards, L. J., Tamisiea, M. E., Bradshaw, E., Foden, P. R., Gordon, K. M., Jevrejeva, S. y Pugh, J. 2013. New

- Data Systems and Products at the Permanent Service for Mean Sea Level. *Journal of Coastal Research*. Vol. 29. Issue 3. Pp. 493-504.
- Hoornweg, D y Pope, K. 2016. Population predictions for the world's largest cities in the 21st century. En *Environment & Urbanization*. Vol 29. Pp. 195-216.
 - Hopper, T. y Meixler, M. 2016. Modeling Coastal Vulnerability through Space and Time. *PLOS ONE*. No. 10, 18 pp.
 - Hossain, A. S. K., Mondal, I., Thakur, S. y Al-Quraishi, A. M. F. 2022. Coastal vulnerability assessment of India's Purba Medinipur-Balasore coastal stretch: A comparative study using empirical models. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. No. 77. 23 pp.
 - Instituto Nacional de Bioingeniería e Imágenes Biomédicas (NIBIB, por sus siglas en inglés). 2016. Modelado Computacional. Infografía. Consultado el 14 de junio de 2022. Disponible en:
https://www.nibib.nih.gov/sites/default/files/Computational_Modeling_Fact_Sheet_SPANISH_v5_508.pdf
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Carta Uso del Suelo y Vegetación 1:250,000 Serie IV. Juchitán D15-1.
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM):
<https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2019.A. Carta Uso del Suelo y Vegetación 1:250,000 Serie VI. Puerto Escondido D14-3.
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2019.B. Carta Uso del Suelo y Vegetación 1:250,000 Serie VI. Salina Cruz D15-1.
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2021. Censo de Población y Vivienda 2020. Consultado el 5 de marzo 2023:
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
 - IPCC. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. 2007. *Climate Change 2007 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. 976 pp.
 - IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2014. *Cambio Climático 2014. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del IPCC*. [Equipo principal de redacción, Pachauri, R. K. y Meyer, L.A.]. Ginebra, Suiza. 157 pp.
 - IPCC. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. 2022. Comunicado de prensa del IPCC. 22 de febrero de 2022. 5 pp.
 - Jackson, C. A., Schmutz, P., Harwell, M. C. y Littles, C. J. 2020. The ecosystem service of property protection and exposure to environmental stressors in the Gulf of Mexico. *Ocean and Coastal Management* 184. 15 pp.
 - Juárez-Hernández, L. G. y Tapia-García, M. 2018. Cambios en la comunidad de peces por el efecto del Desarrollo costero en el parque nacional Huatulco (Mexico). *Revista de biología tropical*. Vol. 66. No. 4, 11 pp.
 - Kantamaneni, K., Rice, L., Du, X., Allali, B. y Yenneti, K. 2022. Are Current UK Coastal Defences Good Enough for Tomorrow? An Assessment for Vulnerability to Coastal Erosion. *Coastal Management*. Vol. 50, No. 2. Pp. 142-159.
 - Keller, E., 2005. *Introduction to Environmental Geology*. Third edition. Pearson, Prentice-Hall. New Jersey, E.E.U.U., 583 pp.

- Kidson, C. 1950. Dawlish Warren: A Study of the Evolution of the Sand Spits Across the Mouth of the River Exe in Devon. Transactions and papers. Institute of British Geographers. Pp. 69-80.
- Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J. A. y Dastgheib, A. 2019. Comparison of Coastal Vulnerability Index applications for Barcelona Province. Ocean and Coastal Management 178. 13 pp.
- Kovaleva, O., Sergeev, A. y Ryabchuk, D. 2022. Coastal vulnerability index as a tool for current state assessment and anthropogenic activity planning for the Eastern Gulf of Finland coastal zone (the Baltic Sea). Applied Geography. No. 143. 13 pp.
- Lindsey, R. 2009. Climate and Earth's energy Budget. NASA Earth Observatory, vol. 680, 22 pp.
- Lindsey, R. 2020. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Climate.gov Science & Information for Climate-Smart Nation.
- Luthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J. M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., y Stocker, T. F. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. Nature, Vol. 453, pp. 379-382.
- Madzík, P. y Falát, L. 2022. State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: Literature review based on Latent Dirichlet Allocation topic modelling. PLOS ONE. Vol 17. No. 5. 31 pp.
- Mancera-Flores, A. 2021. Adaptación y aplicación de un índice de vulnerabilidad costera en el litoral norte del municipio de Actopan, Veracruz, México. Facultad de Filosofía y Letras. Tesis de Licenciatura. 162 pp.
- Marín-Monroy, E. A., Hernández-Trejo, V., Ojeda-Ruíz de la Peña, M. A., Romero-Vadillo, E. y Ivanova-Bomcheva, A. 2021. Perceptions and Consequences of Socioenvironmental Vulnerability Due to Tropical Cyclones in Los Cabos, Mexico. Sustainability. Vol. 13, 11 pp.
- Mendoza, E. T., Ojeda, E., Meyer-Arendt, K. J., Salles, P. y Appendini, C. M. 2016. Assessing Coastal Vulnerability in Yucatán (Mexico). Coastal Management: Changing coast, changing climate, changing minds. 10 pp.
- Monterroso-Rivas, A., Fernández-Eguiarte, A., Trejo-Vázquez, R. I., Cónde-Álvarez, E. C., Escandón-Calderón, J., Villers-Ruíz, L. y Gay-García, C. 2014. Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en Cambio Climático. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://atlasclimatico.unam.mx/VyA/>
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, U., Zhang, L., Anderson, C. J., Jorgensen, S. E. y Brix, H. 2013. Wetlands, carbon, and climate change. Landscape Ecology 28. Pp. 583-597.
- Mulhern, O. 2020. A Graphical History of Atmospheric CO2 Levels Over Time. Earth.org.
- Murali, R. M., Ankita, M., Amrita, S. y Vethamony, P. 2013. Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India using analytical hierarchical process. Natural Hazards and Earth Systems Sciences Discussions. Vol 1. Pp. 509-559.
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. 2022. Climate Change: How do we know?. Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. Consultado el 24 de marzo de 2022: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

- Nitivattananon, V. y Srinonil, S. 2019. Enhancing coastal areas governance for sustainable tourism in the context of urbanization and climate change in eastern Thailand. *Advances in Climate Change Research*. N. 10. Pp. 47-58.
- Noor, N. M. y Abdul-Maulud, K. N. 2022. Coastal Vulnerability: A brief Review on Integrated Assessment in Southeast Asia. *Journal of Marine Science and Engineering* 10. 17 pp.
- Núñez-Gómez, J. C., Ramos-Reyes, R., Barba-Macías, E., Espinoza-Tenorio, A. y Gama-Campillo, L. M. 2016. Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. No. 91. Pp. 70-85.
- NWS. National Weather Service. 2009. WAVEWATCH III. EMC Operational Wave Model Data Access. Consultado el 25 de febrero de 2023: <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/download2.shtml?>
- Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). 2023. Tide Gauge Data. Consultado el 25 febrero de 2023: <https://psmsl.org/data/obtaining/>
- Proag, V. 2014. The concept of vulnerability and resilience. *Procedia Economics and Finance*. Vol. 18, pp.369-376.
- Ramírez-León, A. y Merlo-Galeazzi, A. 2024. Trayectoria Histórica del Sistema Socioecológico de la Cuenca Copalita. Cap 1 en Ávila-Foucat, V. S. 2024. *Perspectivas de Desarrollo Resiliente: reflexiones teóricas y empíricas para la costa de Oaxaca*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Económicas.
- Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. Vol 15, Issue 3. Pp. 234-281.
- Secretaría de Gobernación. 2014. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 14. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 292 pp.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2001.A Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 1. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Bitrán-Bitrán, D. 107 pp.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2001.B. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 2. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Bitrán-Bitrán, D., Jiménez-Espinosa, M., Eslava-Morales, H., Salas-Salinas, M. A., Vázquez-Conde, M. T., Matías-Ramírez, L. G., Camacho-Quintana, K. S., Acosta-Colsa, L. 99 pp.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2002. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 3. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Bitrán-Bitrán, D., Acosta-Colsa, L., M., Eslava-Morales, H., Gutiérrez-Martínez, C., Salas-Salinas, M. A., Vázquez-Conde, M. T. 102 pp.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2004. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 5. Secretaría de

- Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 369 pp.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2005. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2004. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 6. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 199 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2006. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2005. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 7. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 491 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2007. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2006. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 8. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 259 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2009.A. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2007. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 9. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 624 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2009.B. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2008. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 10. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 354 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2010. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2009. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 11. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 254 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2012. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 12. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 639 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2013. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2011. Serie. Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. No. 13. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 403 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2019. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana: 2017. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. García-Arriola, N. M., Méndez-Estrada, K. M., Franco-Vargas, E. y Olmedo-Santiago, C. 608 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2020. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana. Sistema Nacional

- de Protección Civil. Coordinación Nacional de Protección Civil. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Franco-Vargas, E., Méndez-Estrada, K. M. y Olmedo-Santiago C. 274 pp.
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.A. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2013. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. García-Arriola, N. M., Méndez-Estrada, K. M., Reyes-Rodríguez, R. y Marín-Cambranis, R. H. 80 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.B. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en 2014. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. García-Arriola, N. M., Méndez-Estrada, K. M., Nava-Sánchez, S. y Vázquez-Bravo, F. 65 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.C. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en 2015. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. García-Arriola, N. M., Méndez-Estrada, K. M., Nava-Sánchez, S. y Vázquez-Bravo, F. 91 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.D. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en 2016. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. García-Arriola, N. M., Méndez-Estrada, K. M. y Vázquez-Bravo, F. 79 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.E. Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Méndez-Estrada, K. M., Franco-Vargas, E., Olmedo-Santiago, C. y García-Vega, A. 268 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.F. Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Méndez-Estrada, K. M., Franco-Vargas, E., Olmedo-Santiago, C., García-Vega, A. y Nolasco-Mata, J. 249 pp.
 - Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. 2021.G. Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Méndez-Estrada, K. M., Franco-Vargas, E., Olmedo-Santiago, C., García-Vega, A. y Nolasco-Mata, J. 182 pp.
 - Secretaría de Turismo del Estado de Oaxaca. 2022. Boletín de la Actividad Turística 2022. Turismo. Secretaría de Turismo del Estado de Oaxaca. 25 pp.
 - Secretaría de Turismo (SECTUR). 2013. Agenda de competitividad del destino turístico Bahías de Huatulco. Universidad del Mar. 195 pp.
 - Secretaría de Desarrollo Social de México (SEDESOL); H. Ayuntamiento Constitucional Santa María de Huatulco; Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH); Estrategias GIS. 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Santa María de Huatulco, Oaxaca, 2012. México. 116 pp.
 - Servicio Geológico Mexicano. 2000. Carta Geológico-Minera. Juchitán E15-10 D15-1 Oaxaca y Chiapas. Servicio Geológico Mexicano.

- Servicio Geológico Mexicano. 2002. Carta Geológico Minera. Puerto Escondido D14-3 Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2021. Normales Climatológicas por Estado. Oaxaca. Estación 20333. Huatulco. Consultado el 12 de diciembre de 2021:
<https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=oax>
- Sharma, J. y Ravindranath, N. H. 2019. Applying IPCC 2014 framework for Hazard-specific vulnerability assessment under climate change. Environmental Research Communications 1. 7 pp.
- Siqueira, S. C. W., Goncalves, R. M., Queiroz, H. A. A., Pereira, P. S., Silva, A. C. y Costa, B. M. 2021. Understanding the coastal erosion vulnerability influence over sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting in NE of Brazil. Regional Studies in Marine Science. No. 47. 13 pp.
- Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., and Bernhardt, J. 2011. InVEST 2.2.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.
- Tolman, H. L. 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. Technical Report 276. NOAA. NWS NCEP. MMAB.
- Vázquez-González, C., Fermán-Almada, J. L., Moreno-Casasola, P. y Espejel, I. 2014. Scenarios of vulnerability in coastal municipalities of tropical Mexico: An análisis of wetland land use. Ocean and Coastal Management Vol. 89, 9 pp.
- Vignati, F. 2017. Los ecosistemas marinos son clave para el desarrollo económico de América Latina. Consultado el 3 de mayo de 2022:
<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2017/04/los-ecosistemas-marinos-son-clave-para-el-desarrollo-economico-de-america-latina/>
- Wang, G., Liu, Y., Wang, H. y Wang, X. A comprehensive risk analysis of coastal zones in China. Estuarine, Coastal and Shelf Science 140. Pp. 22-31.
- Wisner, B. 2016. Vulnerability as concept, model, metric and tool. Orbelin College. Oxford Research Encyclopedias. Natural Hazard Science. 50 pp.
- Wisner, B; Blaikie, P; Cannon, T y Davis, I. 2004. At Risk. Natural hazard, people's vulnerability an disasters. Second Edition.
- WorldPop. World Pop Spatial Data Infrastructure. 2023. Consultado el 10 de marzo de 2023: <https://hub.worldpop.org/geodata/listing?id=79>
- Zhang, Y., Wu, T., Arkema, K. K., Han, B., Lu, F., Ruckelshaus, M. y Ouyang, Z. 2021. Coastal vulnerability to climate change in China's Bohai Economic Rim. Environment International. No. 147, 9 pp.