



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



Especialidad en Gestión Ambiental
Sistemas de Información Geográfica

“Índice antropocéntrico de Vulnerabilidad Costera de la bahía Todos Santos, B.C.”

TRABAJO TERMINAL

Que para obtener el diploma de
Especialidad en Gestión Ambiental

Presenta

Xóchitl Rojas Lagunes

Ensenada, Baja California • Junio de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

Especialidad en Gestión Ambiental
Sistemas de Información Geográfica

“Índice antropocéntrico de Vulnerabilidad Costera de la bahía Todos
Santos, B.C.”

TRABAJO TERMINAL

Presenta

Xóchitl Rojas Lagunes

Aprobada por:

Dr. José Luis Fermán Almada
Presidente del jurado

M.C. Juan Carlos
Ramírez Acevedo
Sinodal propietario

Dr. Georges Seingier

Sinodal propietario

Ensenada, Baja California • Junio de 2011

RESUMEN

La franja costera de la bahía Todos Santos constituye uno de los principales corredores turísticos del estado y de la frontera norte de México, al mismo tiempo presenta un rápido crecimiento habitacional y recreativo en sus playas. Sin embargo, dicha urbanización y ocupación utilitaria de los litorales se ha dado de un modo no planificado que contribuye a la dinámica de los procesos biofísicos, y de este modo degradar recursos, incrementar la fragilidad natural del territorio que alberga a las actividades del medio social y, consecuentemente, potenciar impactos negativos sobre la comunidad y sus bienes. En este sentido resulta fundamental modelar la vulnerabilidad costera para el desarrollo sustentable de las costas y los océanos a través de un manejo integral de la zona costera. Para esta investigación vulnerabilidad se entenderá como la incapacidad de un sistema para absorber, mediante su propio ajuste, los efectos de un determinado cambio en el medio. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad costera de la bahía Todos Santos, Ensenada, B. C. La vulnerabilidad costera se calculó a través de un índice que considera la valoración de ésta en función de la naturaleza física de la costa, las perturbaciones que sufre y el grado de impacto sobre los asentamientos humanos aledaños. La aplicación de este método se llevó a cabo con apoyo de imágenes satelitales, datos de campo y revisión bibliográfica de variables geofísicas y sociales para la zona de interés. Los resultados se conforman principalmente de la zonación del área de estudio que presenta índices relativos para cada una de las unidades de estudio visualizados en un mapa temático. En donde encontramos que las cifras más altas de IVC son presentadas por las unidades El Sauzal, el Puerto, El Ciprés, y el estero de Punta Banda, las cuales corresponden a la parte costera Norte y Este de la bahía, con valores de IVC que oscilan entre 52 y 65. La única región que presentó un valor medio de vulnerabilidad costera fue la unidad de estudio Punta Morro ubicada al norte, con un IVC igual a 38. Mientras que la vulnerabilidad baja se distribuyó con valores de IVC entre 21 y 24; y se localizó en las unidades de estudio La Joya y Punta Banda. El IVC ofrece una herramienta para un primer acercamiento en el estudio de la vulnerabilidad relativa que permite priorizar aquellas zonas en donde la sociedad está expuesta a un mayor peligro.

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de especialidad y a la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por todas las oportunidades brindadas.
- A mi director, Dr. José Luis Fermán Almada por sus comentarios y consejos acertados.
- A mis sinodales M.C. Juan Carlos Ramírez y Dr. Georges Seingier, por el tiempo dedicado.
- Al Dr. J. Andrew G. Cooper, por confiar en mí sin conocerme.

CONTENIDO

RESUMEN	3
AGRADECIMIENTOS	4
INTRODUCCIÓN	7
ANTECEDENTES	10
JUSTIFICACIÓN	12
ÁREA DE ESTUDIO	14
MARCO GEOGRÁFICO	16
USO DE SUELO	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS PARTICULARES	17
METODOLOGÍA	18
1. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA	19
2. RECOPILACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN	24
RESULTADOS	25
ZONIFICACIÓN	25
MODELO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA	27
DISCUSIÓN	30
DE LOS INDICADORES INVOLUCRADOS	30
DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA	32
DE LAS LIMITANTES	33
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. La línea rosada muestra el límite de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia. 15

Figura 2. Modelo de Índice de Vulnerabilidad Costera en el que se muestran los

subíndices que los componen (McLaughlin y Cooper, 2010). 19

Figura 3. Zonificación del área de estudio. Cada color corresponde a una unidad de

estudio distinta. 26

Figura 4. Índice de vulnerabilidad costera para la bahía Todos Santos, Baja California

de acuerdo a unidades de estudio previamente definidas. 29

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Clasificación de los valores de vulnerabilidad para cada variable que conforma

un subíndice de acuerdo a McLaughlin y Cooper (2010) La escala va de 1 a 5,

donde 1 es menos vulnerable y 5 es más vulnerable. 20

Tabla II. Vulnerabilidad cualitativa para los rangos de IVC. 23

Tabla III. Unidades de estudio y su nombre popular más común. 25

Tabla IV. Índices y Clasificación cualitativa de vulnerabilidad costera para las unidades

de estudio, de acuerdo a los subíndices CC, PC, FS. 28

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más las regiones costeras de nuestro planeta que atraen la atención del mundo científico. Esto es debido a su singularidad y complejidad. Las zonas costeras son áreas sujetas a fuertes demandas por espacio, condiciones físicas y estéticas, y por sus recursos naturales necesarios para un gran número de actividades socioeconómicas. De esta manera, la costa ofrece oportunidades especiales para la industria, el desarrollo urbano, el turismo y la recreación, el transporte, las pesquerías y la acuicultura y agricultura, entre muchos otras actividades posibles (Hinrichsen, 1995). Por ello, más del 53% de la población mundial vive a menos de 200 km de la orilla y esta cifra aumenta exponencialmente (Ortiz Lozano *et al.*, 2005).

La alteración de espacios costeros responde a un modelo de desarrollo socioeconómico con escasa planificación territorial. La construcción se ha consolidado en nuestro país como uno de los mayores motores económicos a expensas del medio ambiente, sin que sea posible asegurar la rentabilidad ambiental, económica y social de este modelo a largo plazo (Garrido-Cumbrera, *et al.*, 2010.).

Una de las principales consecuencias de esta planificación se refleja en la pérdida de territorio costero a causa de la erosión que producen ciertos eventos; ya sean naturales o inducidos por el hombre. Entonces, explicar los cambios geomorfológicos que ocurren en la costa es cada vez más importante para manejar los recursos costeros de una manera sustentable (Woodroffe, 2002).

La erosión costera se convierte en un problema cuando este retroceso en la línea de costa pone en riesgo la capacidad de la región de proveer servicios ecológicos, cuando se transforma en un desastre al impactar la infraestructura costera y cuando impide que la sociedad la use con fines lúdicos o de recreación, lo cual conlleva a importantes pérdidas de carácter económico en países como México, que sustenta una buena parte de la economía local de las zonas costeras en los servicios turísticos que ellas ofrecen.

El continuo crecimiento de asentamientos humanos en la zona costera, la falta de conocimiento del comportamiento de la línea de playa a corto y largo plazo y el inadecuado control sobre la construcción de obras de protección costera incrementan la susceptibilidad a la erosión con efectos potenciales de suma importancia para las comunidades que sobre ella se asientan (Griggs, *et al.*, 1991; Appendini y Lizárraga, 1998).

La franja costera de la bahía Todos Santos constituye uno de los principales corredores turísticos del estado y de la frontera norte de México, al mismo tiempo presenta un rápido crecimiento habitacional ya sea para la construcción de residencias secundarias o de verano, o por uso recreativo de sus playas y por presentar una puerta de entrada al estado de California, uno de los estados de mayor poderío económico de la unión americana (Bringas, 1997). En consecuencia, se encuentra bajo una constante presión de uso de suelo por una población cuya tasa de crecimiento anual se ha mantenido en 3.7% para el periodo de 1995 a 2010 (INEGI, 2010).

Sin embargo dicha urbanización y ocupación utilitaria de los litorales se ha dado de un modo no planificado que contribuye a la dinámica de los procesos biofísicos, y de este modo degradar recursos, incrementar la fragilidad natural del territorio que alberga a las actividades del medio social y, consecuentemente, potenciar impactos negativos sobre la comunidad y sus bienes (Rodríguez, 2007).

En este sentido resulta fundamental modelar la vulnerabilidad costera para el desarrollo sustentable de las costas y los océanos a través de un manejo integral de la zona costera, más aun tratándose de un país como México que de sus 31 estados que lo conforman, 17 limitan con el mar, con 11,122.5 km de litoral costero y con 3,149, 920 km² de zona económica exclusiva (INEGI, 2005).

La vulnerabilidad es un concepto que se enfrenta al reto de desarrollar sus propias definiciones, las cuales deberán ser precisas y concretas (INE, 2000). La innovación de

conceptos debe permitir asociar rasgos del mundo natural y social como requisito para la planeación ambiental (García, 2006). Para esta investigación vulnerabilidad se entenderá como la incapacidad de un sistema para absorber, mediante su propio ajuste, los efectos de un determinado cambio en el medio (Wilches-Chaux, 1993).

Desde una perspectiva meramente antropogénica respecto al impacto en la infraestructura humana, la vulnerabilidad de la costa se observa como una función de la naturaleza física de la costa (que controla la habilidad de responder a una perturbación), la naturaleza de la perturbación y el grado al cual esos cambios impactan sobre las actividades humanas y la propiedad (McLaughlin y Cooper, 2010). Por lo tanto, la vulnerabilidad aumenta cuando un sitio es naturalmente frágil y se modifica para instalar infraestructura urbana poniendo en riesgo a la población que lo habita (Ramírez Chávez, 2010).

Estos cambios subsecuentes a través del impacto antropogénico y la naturaleza, ha llevado al hombre a elaborar herramientas de cálculo, modelos y sistemas de información geográfica para interpretar, analizar o cuantificar los posibles efectos de estos cambios en el ámbito de la percepción remota. Dichas herramientas son capaces de ayudar a predecir la peligrosidad y zonas de riesgo en la costa causado por factores físicos y sociales (Greeve *et al.*, 2000, Pethick & Crooks, 2000).

Para poder comprender el manifiesto obtenido de las herramientas antes mencionadas, se utilizan índices como expresión numérica que fusiona la información contenida en distintas variables, para proporcionar una imagen resumida del estado del ambiente (Cendrero, 1997). Lo cual transmite una visión global e integrada de un conjunto de características que pueden expresarse por separado mediante indicadores ambientales y sociales.

La reducción y/o el control de las condiciones de vulnerabilidad (y por tanto de los riesgos) es un elemento fundamental y uno de los factores que deberían definir el desarrollo sustentable (Cabrera *et al.*, 2009).

ANTECEDENTES

Los estudios en donde se proponen metodologías para el trazado de zonas de riesgo por vulnerabilidad no son muy abundantes. Se pueden señalar, entre otros, el proyecto de erosión Costera CORINE (Quelennec, R. E., 1989) patrocinado por la comunidad europea, el cual desarrolló un índice de vulnerabilidad a la erosión costera, tomando en cuenta las características morfológicas y sedimentológicas, tendencias de la evolución de la costa y la presencia o ausencia de estructuras de protección.

A un nivel nacional, Seingier *et al.*, (2010) aplicaron un modelo para medir el desarrollo sustentable a las costas mexicanas. El esquema calcula la vulnerabilidad de la población humana, la peligrosidad de la costa y el riesgo a efectos de cambio climático. Esta investigación considera que, a partir de los datos retrospectivos de los censos e inventarios forestales, se pueden construir modelos que midan el aumento de la vulnerabilidad socioambiental en los estados con características más peligrosas y proporcionar un aproximado que permita visualizar los efectos del riesgo de inundación, por ejemplo, en los estados que conforman al México costero.

Dentro de los estudios relacionados con el presente trabajo en la escala regional, se encuentran el de García (García-Gastelum, 2006), quien propuso un modelo regional de vulnerabilidad costera para la península de Baja California, en el que realizó un análisis de una región, subdividiendo el territorio en unidades ecológicas como son las cuencas hidrológicas, y administrativas como son los municipios. Encontró que la mitad de la superficie de la región (49 %) presenta vulnerabilidades bajas y muy bajas, el 27 % de la superficie tiene una vulnerabilidad alta y muy alta. La cuarta parte de la superficie (23.45%) tiene una vulnerabilidad media. Sin embargo, no se pudo encontrar un análisis más local en donde la escala y los detalles se vean aumentados y surjan unidades de manejo.

Para el caso de Playas de Tijuana se formulan recomendaciones de manejo entre las cuales se encuentran recomendaciones para disminuir su vulnerabilidad, tales

como: el reforzamiento o eliminación de las construcciones en mal estado, la aplicación del reglamento de asentamientos humanos, prohibición de las construcciones al borde del cantil y la terraza, aumento en el aporte de sedimentos, limpieza de escombros en las cañadas, entre otras. Aunque no se deja pasar por alto los factores que impiden el realizar todas estas adaptaciones son la falta de coordinación entre actores, ausencia de estudios o poco uso de ellos, así como la poca comprensión de procesos costeros (Eguiarte, 2000).

Monti-Jauregui (2000) presenta un modelo que permite abordar la problemática de la erosión costera bajo el marco teórico de los indicadores ambientales; vinculando los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos con los factores biofísicos, particularmente geomorfológicos. El modelo plantea índices agregados mediante los cuales es factible calificar el estado de la costa según niveles de peligrosidad y/o vulnerabilidad física.

Dentro del mismo orden de ideas, Matteotti-Sánchez, (2006) desarrolló un modelo de riesgo por inundación pluvial de la zona urbana del puerto de Ensenada, B.C., con base en el modelo metodológico de Peligrosidad, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR), el cual se compone a partir de indicadores ambientales. El modelo toma como la peligrosidad la sumatoria de bases de datos como geomorfología, escurrimientos y topografía, éste de suma a la vulnerabilidad o los distintos tipos de infraestructura (comercial, habitacional, turístico, etc.), localizada en la zona de afectación de estos eventos obteniendo de esta manera el riesgo para el área urbana. Con el uso de un Sistema de Información Geográfica se determinaron las zonas de riesgo alto, medio y bajo, a partir de porcentajes de cobertura de hectáreas

En 2010, McLaughlin y Cooper desarrollaron un índice de vulnerabilidad costera a un nivel nacional, regional y local para costa norte de Irlanda. En el cual, las variables utilizadas se dividieron en tres subíndices: características de la costa, presiones costeras y factores socioeconómicos. Los resultados resaltan la importancia de la escala espacial y las limitantes en desarrollo de estos índices, ya que la selección de

variables involucradas debe tomar en cuenta el grado de afectación y los datos disponibles a esa escala.

En el presente trabajo, se aplica este último índice de vulnerabilidad costera a la bahía Todos Santos en el municipio de Ensenada, Baja California. La extracción de las variables se adecuó a una escala regional y se adicionaron elementos considerados necesarios para este caso en específico.

JUSTIFICACIÓN

La zona costera de Ensenada se ubica en una posición estratégica dentro del estado de Baja California, localizada aproximadamente a 106 km al sur de la frontera México-USA. Este factor la convierte en un importante destino turístico para los habitantes de aquél país. Por lo anterior, la principal actividad económica es el turismo, la cual ha generado un acelerado crecimiento poblacional dentro a lo largo de esta franja y un rápido desarrollo económico; factores que han ocasionado indirectamente la modificación de usos de suelo y un incremento en la presión antropogénica sobre el recurso del suelo.

Las actividades turísticas de la zona tienen como eje rector sus recursos costeros y marinos. Las playas son uno de los principales, y, aunque no todas ofrecen las condiciones ideales de clima y rasgos del oleaje para su uso como balneario, este litoral es muy buscado por los viajeros provenientes de latitudes más altas. Según las características de las playas, las actividades realizadas pueden ir desde el descanso hasta la práctica de deportes extremos y la pesca deportiva. Ya que la mayoría de las playas se encuentran rodeadas de acantilados rocosos, su paisaje es una combinación de montaña, desierto y cuerpos de agua costeros. A lo anterior se suma una vegetación y una fauna singulares, lo que evidencia un equilibrio estético ampliamente usado para publicitar esta región (Carmona-Mares y Correa-Miranda, 2008).

Con las carreteras libre y de cuota Tijuana-Ensenada, se logró una mayor comunicación e integración de la economía regional, al conectar las diferentes localidades situados a lo largo de la costa, lo cual influyó en el cambio de uso del suelo. Así que la zona urbana fue creciendo hacia el sur con ayuda de un nuevo centro comercial, tiendas departamentales y diversos complejos residenciales sin obedecer a ningún tipo de planificación. Tal es el caso de la ampliación de la avenida Pedro Loyola, la cual atraviesa un campo de dunas costeras y cuya finalidad era agilizar el tránsito vehicular en la carretera principal. Sin embargo, no sucede así y su construcción no brinda el beneficio esperado a la ciudadanía, pero sí la ausencia de una defensa natural costera.

Entonces, surge una problemática a causa de la dotación de la infraestructura de los centros turísticos por parte de prestadores de servicios y no del gobierno del estado, surgieron las inmobiliarias y comenzó la especulación del suelo costero (Bringas, 1995).

Estas presiones provocan que no se respeten los usos de suelo designados en los planes y programas de desarrollo urbano y ordenamiento ecológico del territorio, por lo que se ha aumentado la vulnerabilidad en sus diferentes dimensiones: física, ambiental, social, etc., (Eguiarte, 2000).

Dicho proceso de urbanización constituye un problema para la gestión de los espacios litorales y una creciente preocupación por su impacto paisajístico. La identificación y evolución de este proceso a escala local exige una fuente de información continua (especialmente), de alta precisión geométrica y de periodicidad elevada.

Debido a este dinamismo de la zona, se han elaborado diversos instrumentos de planificación de uso del territorio, como lo es el Plan Estatal de Desarrollo 2008-2013, Programa Regional de Desarrollo Urbano del Corredor Tijuana-Rosarito 2000, Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor Costero Tijuana- Ensenada (COCOTREN), Programa Estatal de Protección al Ambiente de Baja

California 2009-2013, Plan Estatal de Desarrollo Urbano 2005-2011 (P. O. E. T. B. C.), y el programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Pacífico Norte (SEMARNAT) entre otros. Este último contempla entre sus objetivos la caracterización y medición de los riesgos y la vulnerabilidad por medio de indicadores multidiciplinarios (SEMARNAT, 2007).

En este sentido, en pocos de estos instrumentos se ha abordado el tema de la vulnerabilidad costera de manera particular, por lo que se ha ocasionado que no se tomen las medidas preventivas para evitar daños a la población.

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía Todos Santos ubicada en la costa noroeste de Baja California, entre 31°40' y 31° 55' N y 116°36' y 116°50' W (Fig. 1). Se comunica con la vertiente del Océano Pacífico a través de dos entradas, una al noroeste limitada por Punta San Miguel y otra al sureste limitada por Punta Banda y el extremo sur de la islas Todos Santos. Entre estas dos regiones se encuentra la zona litoral más profunda, representada por un cañón submarino de aproximadamente 400 m de profundidad. En general, las profundidades varían entre 50 y 10 m (Pérez-Morga, 2004).

La bahía tiene un clima seco templado con lluvias en invierno característico del tipo mediterráneo, donde se presentan periodos cortos de lluvia distribuidos de noviembre a marzo; la precipitación media anual fluctúa entre 200 y 300 mm (INEGI, 2007).

Los vientos dominantes provienen del Noroeste y Sureste, en la mayor parte del año; con ligeras variaciones estacionarias en verano de Oeste a Este, y algunos vientos ocasionales del Este como la “Condición Santana” (cálidos y secos) principalmente durante el otoño (INEGI, 2007).

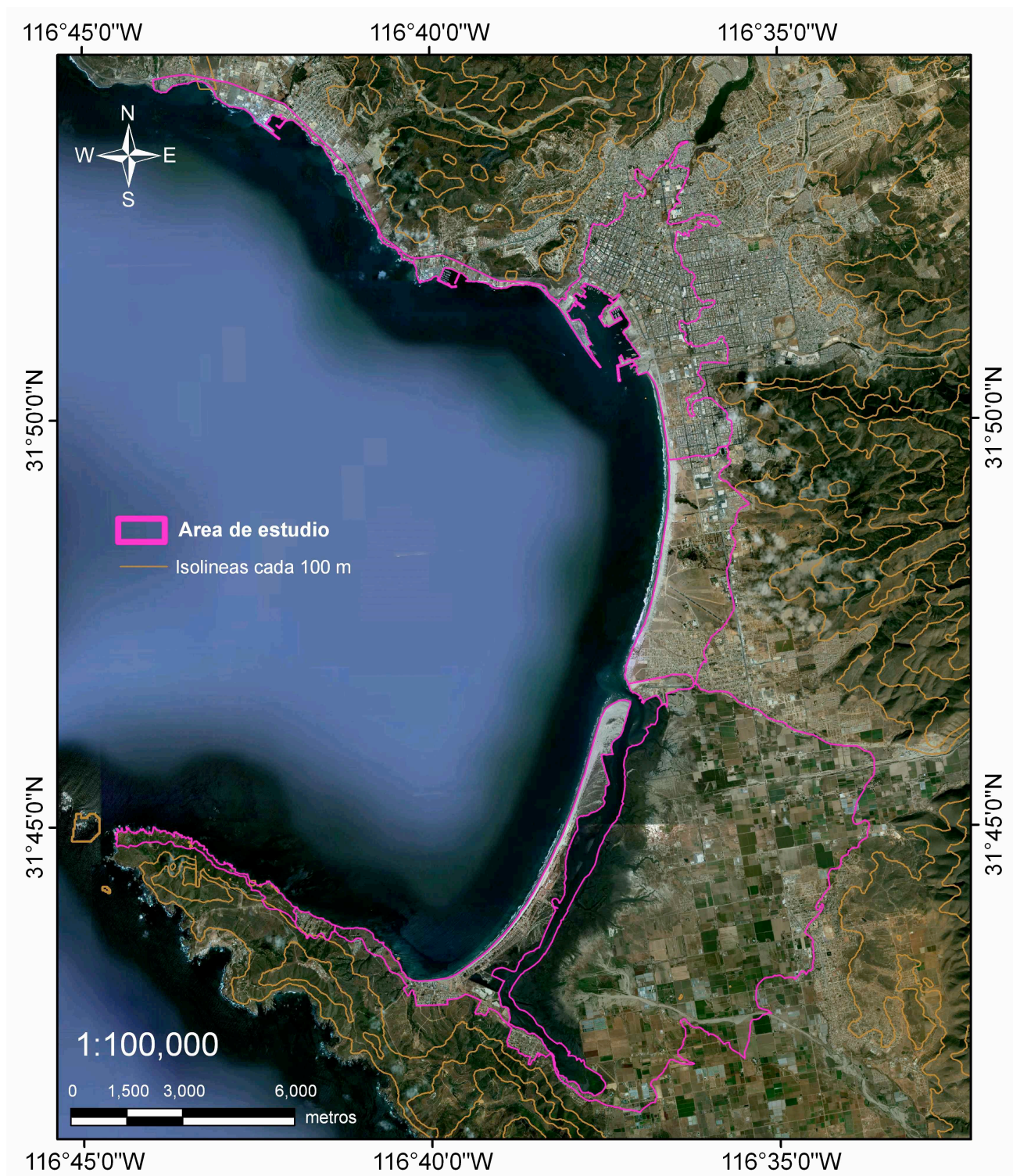


Figura 1. Área de estudio. La línea rosada muestra el límite de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

El origen de la bahía es tectónico y está formada por rocas ígneas y sedimentarias del Cretácico. Al norte de San Miguel se encuentran varias terrazas marinas, playas de bolsillo angostas y cantiles marinos. Del El Sauzal de Rodríguez hasta cerca de Punta Morro la playa es angosta formada por cantos rodados. A partir de ahí y hasta el puerto de Ensenada, la costa está constituida de cantiles de roca ígnea extrusiva, interrumpida por una playa de bolsillo. La parte este de la bahía forma una playa arenosa de 14 km de longitud, limitada en su parte superior por dunas y una meseta de pie de monte. Siguiendo hacia el sur se encuentra el Estero de Punta Banda, limitado por una barra arenosa de aproximadamente 7 km de longitud. Al final de la bahía se encuentra la península de Punta Banda, formada por altos cantiles interrumpidos localmente por pequeñas playas de bolsillo constituidas de cantos rodados (Cruz-Collín y Cupul-Magaña, 1997).

Los suelos de la región de acuerdo a la clasificación de la FAO-UNESCO (1988), son de los tipos litosol, regosol, feozem, fluvisol, solonchak, vertisol y yermosol (SPP, 1982; INEGI, 2001).

Marco geográfico

El polígono del área de estudio (**Figura 1**) fue delimitado al Oeste por la línea de costa o curva de nivel cero; al Este hasta la curva de nivel de los 20 m haciendo algunas modificaciones para cubrir algunas zonas urbanizadas o con características morfológicas importantes. Este criterio se basa en el polígono de riesgo por inundación de la ciudad de Ensenada en donde el valor más alto se concentra principalmente hasta la isolínea de los 20 m (Matteotti, 2006).

Tanto al norte como al sur se utilizaron las fronteras físicas inmediatas, es decir, la carretera Transpeninsular Tijuana-Ensenada al norte, y un camino bien definido de terracería que conecta a la mancha urbana de Ensenada con el resto de la Península de Punta Banda. Se unieron ambas cotas en los sitios más próximos para formar un polígono, quedando como límite Norte la caseta de peaje de San Miguel y al Sur la

península de Punta Banda, abarcando así toda la franja costera, lo que representa un área total de 73 km².

Uso de suelo

Los asentamientos humanos siguen un patrón lineal que forma un continuo en el que se han consolidado los centros urbanos más importantes: El Sauzal y Ensenada. En la ciudad de Ensenada, el uso habitacional es el más extendido, pero en el centro histórico y en el puerto se concentran comercios y servicios enfocados en su mayoría a la actividad turística. Hacia el sur de la ciudad, en el ex Ejido Chapultepec, prevalece el uso habitacional y resalta el de equipamiento, con la presencia del aeropuerto de Ensenada. Hacia el sur del estero Punta Banda en La Joya, se localiza un área habitacional constituida en su mayor parte por fraccionamientos turísticos. En Punta Banda y en la barra que separa el estero de la bahía es dominante el uso de suelo turístico debido a sus particulares atractivos naturales (Carmona-Mares y Correa-Miranda, 2008).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la Vulnerabilidad Costera de la bahía Todos Santos, a partir de un índice ambiental.

OBJETIVOS PARTICULARES

★ Delimitar unidades de estudio homogéneas de acuerdo al tipo de suelo y rasgos geomorfológicos del litoral costero correspondiente a la bahía Todos Santos.

★ Realizar una descripción por unidad de las variables físicas, geológicas y sociales que sirven de base para definir la vulnerabilidad costera y su influencia relativa dentro del modelo.

★ Aplicar el modelo de vulnerabilidad a la zona de estudio, Calcular la vulnerabilidad costera de cada unidad de estudio.

METODOLOGÍA

Los estudios que se relacionan con los procesos costeros comprenden el análisis tanto de datos convencionales como de datos obtenidos por sensores remotos. Los datos convencionales son más exactos y específicos del sitio, pero la colecta de éstos consume tiempo, es costosa, requiere mayor mano de obra y puede que no sea posible extrapolarse a una mayor área. Por otro lado, la información adquirida de forma remota posee ventajas como una cobertura amplia y repetitiva; es económica, rápida y permite la obtención de información de áreas inaccesibles.

En este trabajo se propone una secuencia metodológica que culmine en una cuantificación de la situación actual, con base en el cálculo de un índice agregado de vulnerabilidad costera. La evaluación completa del presente modelo se estructura a partir de dos etapas principales:

1. Valoración de la vulnerabilidad costera en función de la naturaleza física de la costa, la naturaleza de la perturbación, y el grado de impacto sobre los asentamientos humanos aledaños (**Figura 2**).
2. Integración y visualización de resultados en un Sistema de Información Geográfica.



Figura 2. Modelo de Índice de Vulnerabilidad Costera en el que se muestran los subíndices que los componen (McLaughlin y Cooper, 2010).

1. Índice de vulnerabilidad costera

Para la aplicación del índice de vulnerabilidad costera (IVC), se tomó y adaptó al modelo antropocéntrico de vulnerabilidad costera desarrollado por McLaughlin y Cooper (2010) con la finalidad de aplicarlo a una escala local a partir de las variables geofísicas y sociales de la zona de estudio (**Figura 2**).

En ese sentido, el algoritmo busca a través del uso y selección de variables, evaluar la condición del ambiente como una herramienta en la detección temprana de

cambios en la condición original de los ecosistemas que pueden afectar la vulnerabilidad de los centros de población ubicados dentro de la franja costera, y así, ir a una tendencia hacia la sustentabilidad (Dale y Beyeler, 2001).

El índice se ramifica en 3 subíndices: características físicas de la costa (CC), presión costera (PC) y factores socioeconómicos (FS). Donde CC expresa la condición del ambiente natural con respecto a las amenazas naturales que recaen en la población residente (PC). El IVC está expresado como la suma de los subíndices antes mencionados; éstos a su vez se componen de variables físicas, geológicas y socioeconómicas como se indica a continuación:

Tabla I. Clasificación de los valores de vulnerabilidad para cada variable que conforma un subíndice de acuerdo a McLaughlin y Cooper (2010) La escala va de 1 a 5, donde 1 es menos vulnerable y 5 es más vulnerable.

Subíndice	Variable	Vulnerabilidad				
		1	2	3	4	5
Características físicas de la costa (CC)	Línea de costa	Cantiles altos (40+ m)	Cantiles medios (20-40 m)	Playa de arena de distintos tamaños/ Dunas	Cordón único de dunas/ Cordones de gravas	Marisma Estero
	Geología del sustrato	Plutónica Volcánica Metamórfica	Metamórficas Arenisca Conglomerados bien sedimentados	Rocas sedimentaria	Sedimento pobremente clasificado (grano grueso)	Sedimento fino, no consolidado Ceniza volcánica
	Estratigrafía	Lecho de roca Urbano	Bloque (>256 mm) Clastos	-	Depósitos de terraza marina	Aluvión, Arena eólica, Turba
	Pendiente (m)	> 30	20-30	10-20	5-10	< 5
	Ríos	Ausente	Arroyo	Río pequeño	Río mediano	Río grande
Presión costera (PC)	Rango de marea (m)	> 5	3.5-5	2-3.5	1-2	< 1
	Estado morfodinámico	Cantiles rocosos, Áreas tierra adentro	Disipativa o Reflectiva	Disipativa a Intermedia a Disipativa	Reflectiva a Intermedia	Disipativa a Intermedia a Reflectiva a Intermedia ...

Subíndice	Variable	Vulnerabilidad				
		1	2	3	4	5
	Dirección probable de oleaje de tormenta (con respecto a la orientación de la playa)	Hacia W	Hacia N Hacia S Hacia SW	Hacia NNE Hacia SSE	Hacia NE Hacia SE	Hacia E
	Altura promedio de ola significativa	0 - 0.6	0.7- 0.9	1.0 - 1.2	1.3-1.5	> 1.6
	Inundación pluvial (%)	< 20	20-40	40-60	60-80	80-100
Factores Socio-económicos (FS)	Población	0 a < 5	5 a < 20	20 a < 50	50 a < 100	100 a < 200
	Obras de protección costera	No son necesarias	Presentes, en buen estado	Presentes, en estado moderado	Presentes en mal estado	Ausentes, pero necesarias
	Caminos	Ausente	Sendero Terracería	Caminos de menor acceso	Caminos locales de menor tráfico (500 a 1500 vehículos/año)	Carreteras (1500 a 3000 vehículos/año)
	Uso de suelo	Cantiles rocosos	Matorral	Dunas Bosque Terreno abrupto	Agricultura Calles Áreas verdes	Urbano Residencial Estacionamientos Césped
	Grado de Conservación	Ningún área sujeta a conservación	Internacional	Nacional	Regional	Local

De acuerdo con Gornitz (1990), se escogió una escala de 1 a 5, donde 5 corresponde a la vulnerabilidad más alta y 1 a la más baja. Esto permite que las variables sean comparables aunque cuenten con unidades diferentes.

La generación del Índice de Vulnerabilidad Costera (Ecuación 1) desarrollado por McLaughlin y Cooper (2010), se establece de la siguiente manera:

$$IVC = [(CC + PC + FS)] / 3 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde,

CC: Características físicas de la costa,

PC: Presión costera,

FS: Factores socioeconómicos

Como se observa en la ecuación 1 este índice se integra a su vez de 3 subíndices formados por variables físicas, geológicas y socioeconómicas. Los subíndices desarrollados quedan como sigue:

$$CC = [(\sum(a,b,c,d,e) - 5) / 20] \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$PC = [(\sum(f,g,h,i,j) - 5) / 20] \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$FS = [(\sum(k,l,m,n,o) - 5) / 20] \times 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde,

a: Línea de costa,

b: Geología del sustrato,

c: Estratigrafía,

d: Pendiente,

e: Ríos,

f: Rango de marea

g: Estado morfodinámico,
h: Dirección probable del oleaje de tormenta,
i: Altura promedio de ola significativa,
j: Inundación pluvial
k: Población,
l: Obras de protección costera
m: Caminos,
n: Uso de suelo,
o: Grado de conservación

El valor numérico resultante de la suma de las variables que comprenden los subíndices se normalizó tomando en cuenta los resultados como un porcentaje de los valores máximos y mínimos posibles (Ec 2, 3 y 4).

La cifra resultante de la aplicación de las ecuaciones anteriores, se comparó con los rangos establecidos por McLaughlin y Cooper (2010), y modificados para el caso en particular. En el mejor de los casos (un ambiente perfecto sin disturbios) el mínimo sería 0, mientras que en el peor escenario sería un IVC de 100. Se añadió un valor cualitativo relativo para una mejor comprensión (**Tabla II**).

Tabla II. Vulnerabilidad cualitativa para los rangos de IVC.

IVC	Vulnerabilidad cualitativa
0-30	Baja
31-60	Mediana
61-90	Alta

2. Recopilación e integración de la información

Los datos necesarios para la realización de este trabajo se dividieron en las siguientes categorías:

- Imágenes satelitales
- Mapas digitales
- Revisión bibliográfica
- Datos de campo

Se utilizó el programa ArcGis 9.3 para analizar e integrar la información y obtener de manera gráfica los resultados tratados.

Imágenes satelitales y mapas digitales

Las imágenes de satélite utilizadas corresponden a una alta resolución espacial (1m por pixel), del año 2007 (IKONOS) banda pancromática, y se obtuvieron a partir de la aplicación Google Pro, versión 4.2. La escala aproximada a la que se extrajeron fue de 1:86,000. Con estas once imágenes se configuró un mosaico de figuras a través del programa ER Mapper 6.3.

Las cartas que se usaron para obtener información fueron: cartas topográficas, geológico-mineras y de oleaje.

Revisión bibliográfica

Fueron necesarias para obtener variables como el rango de marea, el estado morfodinámico de la costa y la altura promedio de la ola significativa.

Datos de campo

Se llevaron a cabo dos salidas de campo, los días 7 y 8 de mayo del año en curso. Con el fin de identificar rasgos y revisar los usos de suelo actuales pues no se encontró una fuente que contara con información reciente y completa acerca de los usos que se le dan al territorio costero en la bahía.

RESULTADOS

Zonificación

Después de la compilación de la información y el estudio de campo se obtuvieron nueve unidades de estudio (**Figura 3**). Cada una de ellas adopta el nombre de una región popular en la que se asienta (**Tabla III**).

Tabla III. Unidades de estudio y su nombre popular más común.

Unidad de estudio	Nombre popular	Unidad de estudio	Nombre popular
U1	El Sauzal	U6	Barra del estero
U2	Punta Morro	U7	Marisma del estero
U3	El Puerto	U8	La Joya
U4	El Ciprés	U9	Punta Banda
U5	Boca del estero		

Las unidades de estudio tienen un arreglo de norte a sur, en la que aquellas que pertenecen a los extremos (U1, U2, U8 y U9) son proporcionalmente menores que el resto. Mientras que la unidad de estudio U7 en el estero de Punta Banda presenta un tamaño mucho mayor. Esto es debido a que la zona intermareal en este cuerpo de agua es muy amplia y la pendiente es mínima, lo que genera un área de inundación mayor por efecto de la marea. Mientras que aquellas unidades ubicadas en los extremos se caracterizan principalmente por estar delimitadas por cantiles altos.

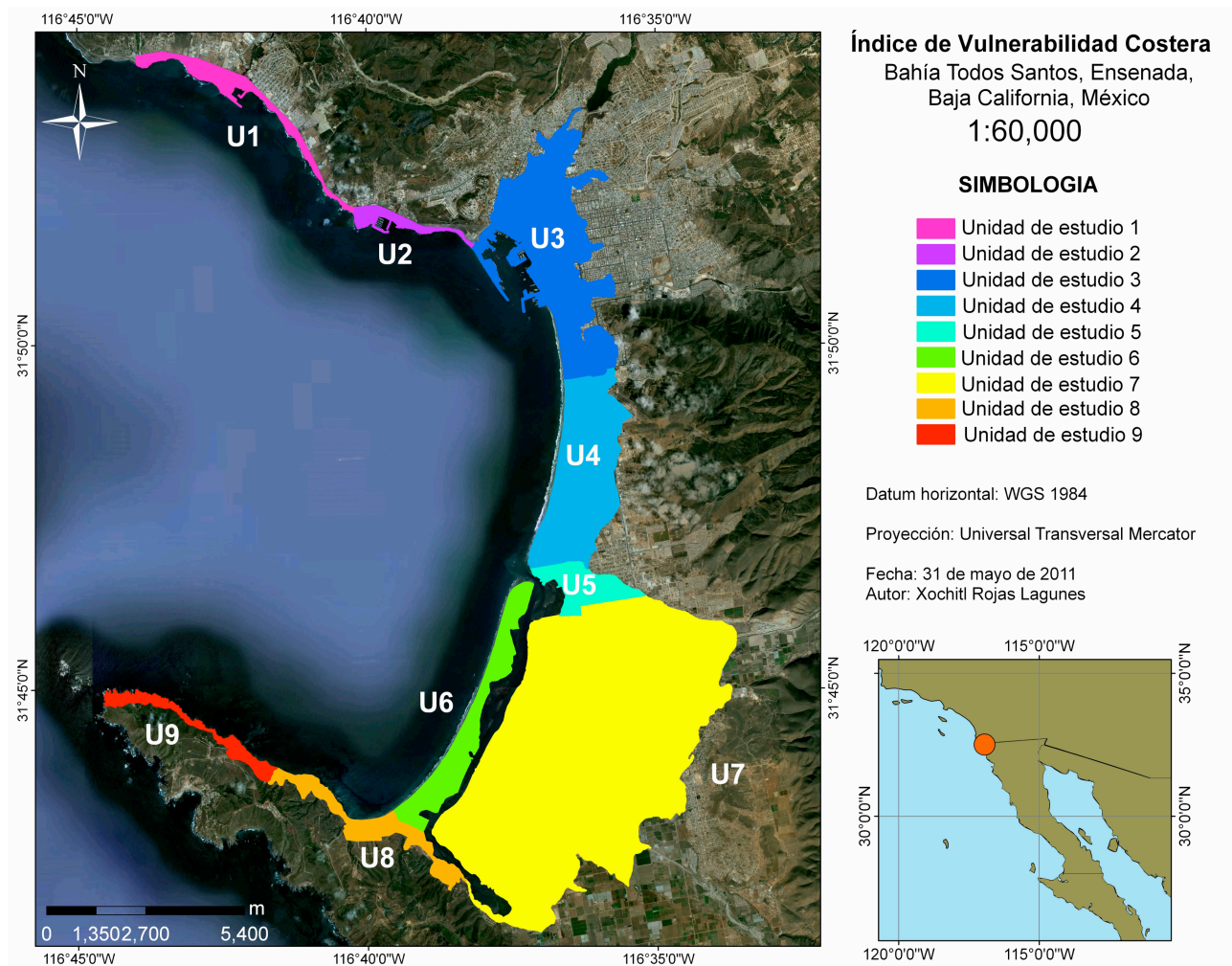


Figura 3. Zonificación del área de estudio. Cada color corresponde a una unidad de estudio distinta.

El análisis de la información concentrada arrojó una zonificación basada en factores tanto morfológicos como sociales. En la cual se incluyeron pequeños poblados que sobrepasaban la isolínea de los 20 metros pero que ejercían un impacto directo sobre la costa. Como es el caso de la unidad de estudio U8, la cual se modificó para incluir al ejido Esteban Cantú, aunque ésta se encontrara más allá del límite del camino de terracería (**Figura 3**).

Otro de los puntos a resaltar en la zonificación del área es la división de las unidades U3 y U4. La cual compartía los mismo aspectos geológicos, físicos y sociales. Sin embargo, se segmentó debido a rasgos como el Puerto Ensenada y el cuerpo costero conocido como La Lagunita, lo que ejercería un distinto comportamiento de la vulnerabilidad para estas dos unidades de estudio (**Figura 3**).

Cabe mencionar que la región que comprenden las unidades U5, U6 y U7 están sujetas a los continuos cambios morfológicos que sufre el Estero de Punta Banda debido al transporte litoral (**Figura 3**).

Modelo de Índice de vulnerabilidad costera

Una vez obtenido el Índice de vulnerabilidad costera para cada una de las unidades de estudio a través de Ecuación 1, se le agregó un valor cualitativo a cada una de ellas (**Tabla IV**). Los valores de IVC se distribuyen de 21 a 65.

En donde encontramos que las cifras más altas son presentadas por las unidades U1, U3, U4, U5, U6 y U7 (**Figura 4**), las cuales corresponden a la parte costera Norte y Este de la bahía, es decir, a los puntos de máxima concentración urbana: la localidad de El Sauzal y la mancha urbana de la ciudad de Ensenada; con valores de IVC que oscilan entre 52 y 65.

La única región que presentó un valor medio de vulnerabilidad costera fue la unidad de estudio U3 (Punta Banda) ubicada al norte, con un IVC igual a 38 (**Tabla IV**).

Mientras que la vulnerabilidad baja se distribuye con valores de IVC entre 21 y 24; y se localiza principalmente en las unidades de estudio La Joya y Punta Banda (U8 y U9, respectivamente).

Para poder lograr una mejor comprensión se exponen los subíndices de IVC (CC, PC, FS) en gráficas de pastel (**Figura 4**). En éstas se observan patrones muy

característicos de proporción para cada región de vulnerabilidad. En el Norte, los factores que influyen directamente sobre el IVC de las unidades de estudio U1 y U2 son los socioeconómicos, los cuales representan mucho más del 50 % del IVC. Dejando el otro 50% a las características de la costa y a las presiones sobre ella (**Figura 4**).

Lo contrario sucede en las unidades de la costa Este (U3, U4, U5, U6 y U7), que presentaron una alta vulnerabilidad. El IVC estuvo influenciado mayormente por las características de la costa, la presión sobre ella, y en menor medida, los factores socioeconómicos (**Figura 4**).

El Sur de la bahía que se caracterizó por tener un IVC bajo (U8 y U9). Debe su comportamiento, en mayor medida, a los factores socioeconómicos, ignorando por completo lo referido a los las características de la costa que solo abarcan una pequeña porción (**Figura 4**).

Tabla IV. Índices y Clasificación cualitativa de vulnerabilidad costera para las unidades de estudio, de acuerdo a los subíndices CC, PC, FS.

Unidades de estudio	CC	PC	FS	IVC	
U1	45	35	75	52	Alta
U2	20	30	65	38	Media
U3	70	70	55	65	Alta
U4	75	75	55	68	Alta
U5	80	75	70	75	Alta
U6	85	85	40	70	Alta
U7	80	65	50	65	Alta
U8	0	20	40	21	Baja
U9	0	20	50	23	Baja

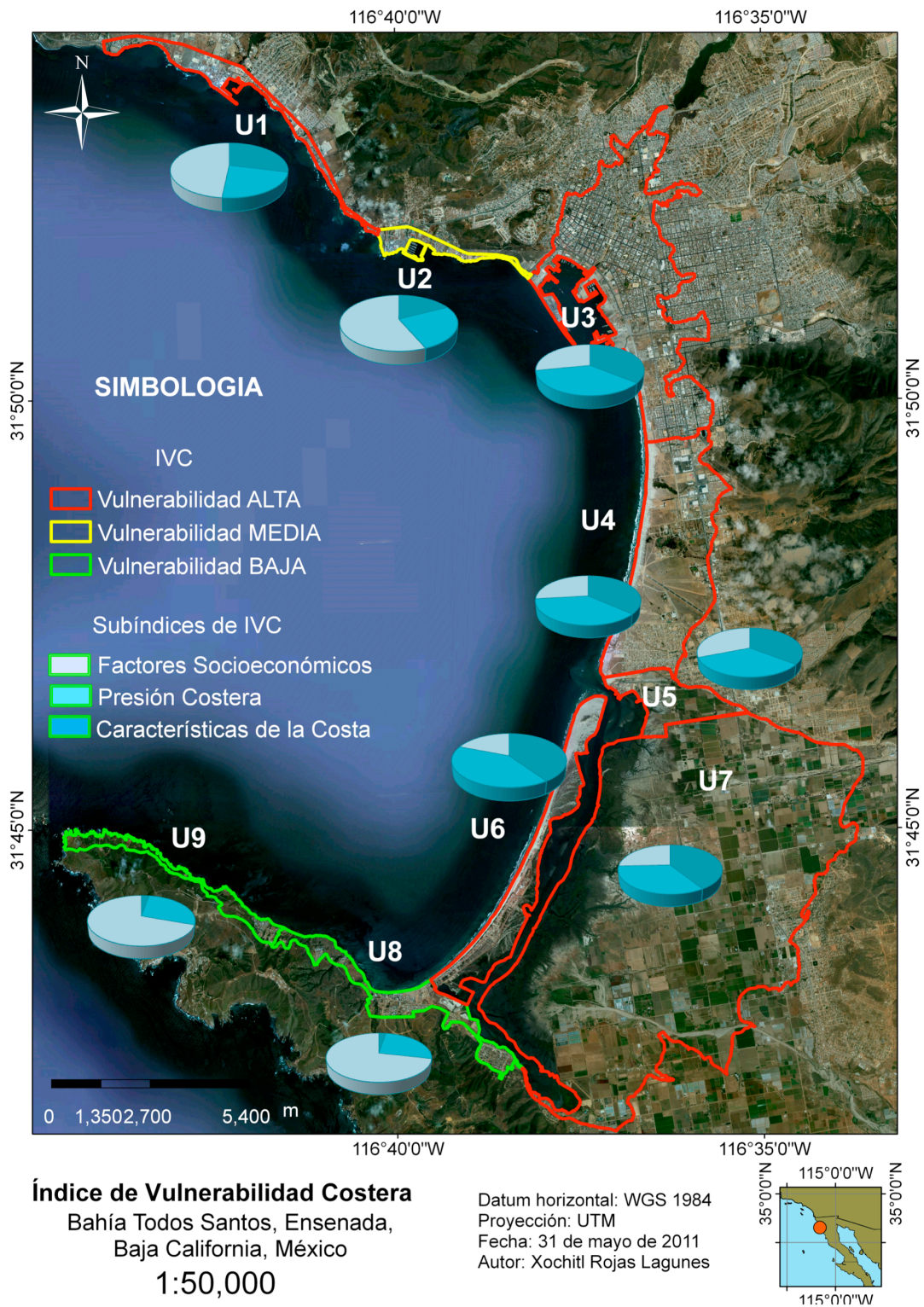


Figura 4. Índice de vulnerabilidad costera para la bahía Todos Santos, Baja California de acuerdo a unidades de estudio previamente definidas.

DISCUSIÓN

De los indicadores involucrados

De acuerdo a Monti (2001), debido a la tendencia natural de las amenazas a ser incontrolables, gran parte del trabajo de mitigación se centra en la reducción de la vulnerabilidad, para esto es importante tener ciertos medios para decidir cual es el nivel de protección correcto y para escoger entre medios alternativos que permitan orientar el gasto de los recursos limitados con el objeto de mejorar la capacidad protectora (Matteotti, 2006).

Los análisis realizados por medio de indicadores geológicos, físicos y sociales permiten visualizar los diferentes tipos de vulnerabilidad de una manera integrada (Ramírez-Chávez, 2010). Asimismo, es posible identificar y visualizar espacialmente las fuerzas que directamente califican la vulnerabilidad costera.

Las unidades de estudio con un **alto IVC** deben su caracterización tanto a las características de la costa como a la presión costera, principalmente.

En cuanto a la *naturaleza de la costa* se refiere, el indicador de mayor coacción fueron la geología del sustrato y la estratigrafía, obteniendo el máximo valor de 5 en la tabla de clasificación (**Tabla I**). Esto se debe a que estas playas están formadas en su totalidad por sustratos sedimentarios finos que van desde arenas medias en el caso de U3, U4 y U7; hasta aluvión y de tipo palustre en el interior el Estero de Punta Banda (U5 y U6). En menor medida pero no menos importante se encontró el factor pendiente que afecta específicamente a las unidades correspondientes al Estero de Punta Banda (U5, U6, U7) que por su morfología presenta pendientes menores a 5% por lo que el área de inundación por mareas es mucho más amplia que el resto de las unidades. Lo que significa que estas playas son más susceptibles a las presiones costeras y cualquier modificación en su composición tendrá una repercusión más notoria que se verá reflejada en el IVC.

Con respecto a la *presión costera*, de los indicadores que más influenciaron el IVC se encontró la dirección probable del oleaje de tormenta, ya que esta variable se obtuvo en relación a la orientación de la línea de costa. Para toda esta zona la dirección predominante del oleaje fue Este, o sea, completamente perpendicular a la costa, lo que le confiere el máximo valor en la tabla de clasificación (**Tabla I**). Tomando en cuenta que la energía de las olas rompe directamente sobre la orilla, afectando todo tipo de infraestructura y, por consiguiente, a la población.

El siguiente indicador de gran influencia para el IVC fue el estado morfodinámico de la playa. Cuatro de las cinco unidades en cuestión (U3, U4, U5 y U6), migran de una playa disipativa a una reflectiva y viceversa de acuerdo a la estación del año (verano e invierno), lo cual genera inestabilidad en la misma y por lo tanto un alto IVC.

La U1 (El Sauzal), fue separada de la anterior comparación ya que debe su alta vulnerabilidad a los indicadores de tipo *socio-económicos* más que a las características de la costa o a la presión costera (**Figura 4**). La existencia de un camino de orden federal como la carretera Transpeninsular Tijuana-Ensenada aporta una presión vehicular sobre esta unidad de estudio lo que genera una mayor cantidad de asentamientos comerciales a lo largo de la misma que aprovecha la derrama económica. Aunado a ello, la facilidad de transporte y la cercanía con Tijuana, generan un uso de suelo habitacional y turístico que refleja un alto nivel de vulnerabilidad. Tal y como lo menciona Matteotti (2006), quien obtuvo una vulnerabilidad muy alta y alta para usos de suelo habitacionales y de servicios, y media para usos de suelo turísticos y parques.

Otro de los indicadores que generó un alto IVC para la U1 fue el estado de las obras de protección costera. Las cuales son muy necesarias en esta zona debido a su estado morfológico por lo que estas medidas son abundantes y diversas. A través del trabajo de campo se pudo corroborar el deterioro y parcial destrucción de algunas obras de protección que menciona Rivera-Huerta (2004) a lo largo del cantil; en donde se

asienta gran parte de la infraestructura habitacional y turística de las localidades El Sauzal de Rodríguez.

En relación a la unidad que presentó una **vulnerabilidad media** (U2) podemos mencionar que los participantes fueron en su mayoría aspectos socioeconómicos como el uso de suelo y los caminos. Punta Morro se encuentra fuertemente influenciada por la U1. De hecho, presenta valores similares a la misma; ya que comparten características de caminos, tipo de costa, pendiente, factores oceanográficos y sociales. Sólo difieren en el tipo de roca que subyace, pues la U2 está formada completamente por andesita (roca volcánica) y basaltos intercalados, lo que le adjudica una mayor resistencia al asalto del oleaje y el ciclo de mareas.

En contraste, La Joya (U8) y Punta Banda (U9) mostraron valores **bajos de IVC**, resultado de un gran dominio por parte de los indicadores socioeconómicos (**Figura 4**).

Su baja vulnerabilidad se debe a los valores casi nulos que resultan de sus características de la costa. El hecho de ser una playa formada por cantiles de roca volcánica, pendientes mayores al 30% y la ausencia de cuerpos de agua le otorga un equilibrio natural a la zona. Esto crea a su vez que la presión de los factores físicos como el oleaje y las mareas no sea directa ni significativa como en el resto de la zona de estudio. Asimismo, la armonía se mantiene gracias a los asentamientos humanos relativamente pequeños y aislados (Matteotii, 2006), los caminos de terracería y senderos que no impactan tanto ni ofrecen un gran tránsito .

De la metodología utilizada

La vulnerabilidad entendida como un problema que pone en riesgo la integridad del medio ambiente puede modificar en diferentes escalas espaciales y temporales la capacidad de la zona costera de desarrollar sus funciones inherentes: proveer servicios ecológicos, mitigar de desastres naturales y permitir que la sociedad la use y la disfrute

(Isobe, 1998). De aquí que se desarrollen modelos e índices que ayuden a diagnosticar el estado en que se encuentra la franja costera desde diferentes puntos de vista.

Esta primera valoración comienza por la delimitación de una región, la cual incluye la integración de diversos criterios en un solo espacio. Aunque al final sólo se observe un conjunto de polígonos (**Figura 3**), para llegar a ellos fue necesario tomar en cuenta los componentes de los cuales depende el IVC. Es decir, el área de estudio obedece criterios como el rango de marea, el cual varía de acuerdo a la pendiente, de modo que no podríamos sólo trazar una línea paralela a la línea de costa para encuadrar una superficie, sino que es imprescindible tomar en cuenta las variables embebidas en el IVC para establecer una extensión adecuada que cumpla abarque todos los aspectos del algoritmo.

Estos resultados muestran que la escala a la que se realiza el estudio determina el producto final, ya que un área puede ser caracterizada con una vulnerabilidad a una escala y cambiar de acuerdo a ella. En un mundo ideal, los índices estarían basados en información de tipo local que se generalizara a escalas menores.

De las limitantes

La metodología aplicada en la obtención del Índice de Vulnerabilidad Costera tiene una serie de limitantes lo cual restringe su aplicación de forma original. De tal forma que fue necesaria, la adaptación del modelo a las características específicas y multidisciplinarias de la costa Ensenadense.

De los inconvenientes más sobresalientes destaca el referente a la disponibilidad de la información. Aunque el área de interés ha sido ampliamente estudiada por la comunidad científica, la accesibilidad de los datos no siempre se encuentra en el tiempo y forma requeridos, es decir, para la aplicación de este método fue necesario un estudio a una gran escala para poder definir con mayor certeza el IVC correspondiente. Sin embargo, los documentos existentes varían en escala y especificación.

Como lo menciona Boruff et al. (2005), es de suma importancia incorporar información sobre las personas expuestas a la vulnerabilidad (factores sociales). Una vez identificados los sitios con cierto nivel de vulnerabilidad será posible implementar medidas para proteger los intereses de la sociedad.

CONCLUSIONES

El presente estudio fue llevado a cabo con el objeto de identificar el nivel de vulnerabilidad costera a lo largo de la bahía Todos Santos, a través de un análisis de datos convencionales y de sensores remotos. Las conclusiones del mismo son las siguientes.

- El análisis de un área organizada en subunidades provee un contexto manejable para analizar las situaciones actuales y modelar las futuras, ya que son unidades con ambientes físicos homogéneos en los que se pueden contrastar las diferentes formas de modificación del estado natural y sus consecuencias ambientales.
- De las nueve unidades de estudio, El Sauzal de Rodríguez, El Puerto, El Ciprés, La boca, la barra y la marisma del Estero de Punta Banda presentaron Alta Vulnerabilidad, Punta Morro estimó Vulnerabilidad de tipo Medio y las zonas de La Joya y Punta Banda, presentaron Baja Vulnerabilidad.
- La fase de caracterización y diagnóstico del presente estudio nos muestra que la zona costera de la bahía Todos Santos se encuentra bajo una fuerte presión de la costa por efectos del oleaje, la marea y su estado morfodinámico. Esto es corroborado por el análisis de diagramas de pastel en donde la sección “presión costera” está presentes para todas las unidades de estudio y aumenta considerablemente en aquellas en donde el IVC es mayor.

- Un índice de vulnerabilidad simplifica parámetros complejos e interactivos, representados por varios tipos de datos, a una forma mucho más comprensible. Por consiguiente, tiene mayor utilidad como una herramienta del manejo costero.
- Este modelo tiene como ventaja el ser completamente perfeccionable y adaptable según el área de estudio y los factores que sobre ella incidan. De hecho, Dal Cin y Simeoni (1989) sugieren que entre más variables se tomen en consideración, más acertada será la zonación del lugar en cuestión. Sin embargo, el deseo de incluir datos que reflejen un parámetro encuentra una limitante en la disponibilidad de los mismos.
- La importancia de este estudio radica en que la metodología incorpora datos sociales a un modelo matemático para representar no solo variables físicas si no también sociales, que sobre quien recaen los efectos directamente.
- En un mundo ideal, los índices estarían basados en información de tipo local que se generalizara a escalas menores. Sin embargo, no es posible debido a la disponibilidad de la información y el tiempo necesario para llevarlo a cabo.
- El IVC ofrece una herramienta para un primer acercamiento en el estudio de la vulnerabilidad relativa que permite priorizar aquellas zonas en donde la sociedad esté expuesta a un mayor peligro.

BIBLIOGRAFÍA

- Abuodha, P.A. y Woodroffe, C.D. 2006. Assessing vulnerability of the coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian Coast. Final Report submission to Australian Greenhouse Office in response to RFQ 116/2005DEH. 69 pp.
- Appendini, C.M. y Lizárraga-Arciniega, R. 1998. Development of a Shoreline Preservation Strategy. Proceedings of the California and the World Ocean 1997, Mar. 1494-1498 pp.
- Boori, M. S., V. E. Amaro y H. Vital. 2010. Coastal ecological sensitivity and risk assessment: A case study of sea level change in Apodi river (Atlantic Ocean) Northeast, Brazil. World Academy of Science, Engineering and Technology, 71:866-875.
- Boruff, B. J., Emrich, C., and Cutter, S. L. (2005), Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5): 932- 943.
- Bringas, N. 1995. "Turismo, municipio y desarrollo regional en la frontera norte: el caso del corredor turístico Tijuana-Ensenada", en Tonatiuh Guillén 374 López y Gerardo M. Ordóñez Barba (coords.). *El municipio y el desarrollo social de la frontera norte*. México: Colef/Fundación Friedrich Ebert, 93-129 pp.
- Bringas, N. 1997. Inventario de centros turísticos del corredor costero Tijuana-Ensenada. Tijuana, Baja California: El Colegio de la Frontera Norte. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Bringas, N. 1999. Políticas de desarrollo turístico en dos zonas costeras del Pacífico mexicano. Sonora: El Colegio de Sonora. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Brunn, P. 1962. Sea level rise: A cause of shore erosion. Journal of the Waterways and Harbor Division, 9: 117-130 pp. En: Montoya-Turrillas, F.J., L., Morín-Fuentes. 1991. Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México, Ciencias Marinas, 17:25-36.

Cabrera, J.A., J. Alcántara-Carrió, I. Correa, R. Pérez de los Reyes, B. Moya, y M. Morales. 2009. Gestión de Playas. In Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral, edited by J. Alcántara Carrió, I. Correa Arango, F. Isla Mendy, M. Alvarado Ortega, A. Klein, A. Cabrera Hernández and R. Sandoval Barlow. Madrid, España: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Carmona-Mares, R y O. Correa-Miranda. 2008. Estructura territorial del turismo en el corredor Tijuana-Rosarito-Ensenada. Teoría y Praxis 5:359-375.

Cendrero, A. 1997. Riesgos naturales e impacto ambiental. En fundación Universidad Empresa (ed): La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II. Madrid, 23-84 pp. En: Rivera-Huerta, H. 2004. Aplicación de un modelo para evaluar el riesgo geomorfológico en la zona costera norte de la bahía Todos Santos, Ensenada. Tesina de Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

Cotuco (Comité de Turismo y Convenciones de Tijuana). 2002. Manual para convenciones y eventos especiales. Tijuana: H. Ayuntamiento de Tijuana.

Cruz-Castillo, M. y Delgado-Argote, L.A., 1999, Descripción geológica y estructural de la zona de deslizamientos Salsipuedes-Cíbola del Mar, Ensenada, Baja California, GEOS, 19(3):159-174.

Cruz-Collín, M.E. y L.A. Cupul-Magaña. 1997. Erosión y aporte de sedimentos de los cantiles de la bahía de Todos Santos, Baja California, en el periodo de 1970 a 1991. Ciencias Marinas 23(3):303-315.

Dal Cin, R. Y Simeoni, U. 1989. Coastal zoning and vulnerability: application to the Middle Adriatic (Italy). Coastal Zone '89, 98-110.

Dale, V.H., y S. Beyeler. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. Elsevier, Ecological Indicators 1:3-10.

Dolan R. y Hayden, B. 1981. Templates of change: storms and shore line hazards. Oceanus, 23(4): 32-37. En: Montoya-Turrillas, F.J., L., Morín-Fuentes. 1991. Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México, Ciencias Marinas, 17:25-36.

Eguiarte, A. X. 2000. El espacio litoral como alternativa de uso recreativo: Playas de Tijuana, Baja California, Tesis de Maestría en administración integral del Ambiente El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

FAO-UNESCO. 1988. Soil map of the world. Revised Legend. World Soil Resources Report 60. 119 pp.

García-

Gastelum, A. 2006. Modelo regional de vulnerabilidad costera, Facultad de Ciencias Marinas, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, Ensenada, B. C.

Gasca, J. 2000. Organización e integración del espacio binacional: el caso de la frontera México-Estados Unidos. Disertación doctoral. México: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.

Garrido-Cumbrera, M. y López-Lara, E. 2010. Consecuencias del turismo de masas en el litoral de Andalucía (España). Cuaderno Virtual de Turismo [en línea] 2010, vol. 10.

Dir URL:

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=115412537010>.

Greeve, C.A., P.J. Cowell y B.G. Thom. 2000. Application of a Geographical Information System for risk assessment to open ocean beaches: Colaroy/Narrabeen Beach, Sydney, Australia-An example. Environmental Geosciences, 7(3):149-161. En: Mendoza-Ponce, E.T. 2001. Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: caso estudio Playas de Rosarito, Baja California, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 89 pp.

Gornitz, V., 1009. Vulnerability of the East Coast, USA to future sea level rise. Journal of Coastal Research, 1(9): 201-237.

Griggs, G.B., J.E. Pepper y M.E. Jordan, 1991. California's Coastal Hazard Policies: A Critique. En: The California Coastal Zone Experience. Eds. Domurat, G.W. y T.H. Wakeman, 89-107 pp.

Hinrichsen, D. 1995. The coastal population explosion. In Trends and Future challenges for U.S. National Ocean and Coastal Policy, edited by B. Cicin-Sain, R. Knecht and N. Foster. Washington D.C.: NOAA, CSMP, the Ocean Governance Study

Group, Sea Grant. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

INE. 2000. Ordenamiento Ecológico General del Territorio México D.F: Instituto Nacional de Ecología. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

INEGI 2005. Cartografía Escala 1:1000 000. Edited by I. N. d. E. G. e. Informática. México, D.F.: INEGI.

INEGI 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Información nacional, por entidad federativa y municipios. Ensenada, Baja California. Dir URL: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=02>

Isobe, M., 1998. Toward Integrated Coastal Zone Management in Japan. ESENA Workshop: Energy-Related Marine Issues in the sea of Japan, Tokyo, Japan, 1-10 pp. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Kaly, U. , L. Briguglio, H. Mc Leod, S. Schmall, C. Pratt y R. Pal. 1999. Environmental Vulnerability Index (EVI) to Summarise National Environmental Vulnerability Profiles. (Rep. No. SOPAC Technical Report 275). New Zealand: South Pacific Applied Geoscience Commission. En: Rivera-Huerta, H. 2004. Aplicación de un modelo para evaluar el riesgo geomorfológico en la zona costera norte de la bahía

Todos Santos, Ensenada. Tesina de Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

Lizárraga-Arcíniega, R., C. Appendini-Albrechtsen y D. Fischer. 1998. Planificación para el manejo de la erosión de playa en Playas de Rosarito, B.C., un prototipo para México. Parte I: Vulnerabilidad a la erosión. Gaceta Ecológica, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, 49:33-40.

Mclaughlin, S. y J.A.G. Cooper, 2010. A multi-scale coastal vulnerability index: a tool for coastal managers. Environmental Hazards, 9:1-16.

Matteotti-Sánchez, B. 2006. Modelo de riesgo por inundación en la mancha urbana de Ensenada, B.C. (NW de México). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 69 pp.

Monti-Jaureguiberry, A.J.A. 2000. Evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera basada en indicadores ambientales. Tesina de Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 80 pp.

Mora-Chavarría, J.M. y Silva-Casarín R. 1998. Método simplificado para la predicción del cambio en la línea de costa. Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México. En: Mendoza-Ponce, E.T. 2001. Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: caso estudio Playas de Rosarito, Baja California, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 89 pp.

Orrin, H. y William J. 1981. Barrier island hazard mapping. Oceanus, 23(4): 38-46. En: Montoya-Turrillas, F.J., L., Morín-Fuentes. 1991. Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México, Ciencias Marinas, 17:25-36.

Hinrichsen, D. 1995. The coastal population explosion. In Trends and Future challenges for U.S. National Ocean and Coastal Policy, edited by B. Cicin- Sain, R. Knecht and N. Foster. Washington D.C.: NOAA, CSMP, the Ocean Governance Study Group, Sea Grant. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Pérez-Morga, N. 2004. Características de la circulación y dispersión de contaminantes frente al arroyo El Gallo , en la Bahía de Todos Santos, B.C. , México, Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B. C., 128 pp.

Pethick, J.S. y Crooks, S. 2000. Development of coastal vulnerability index: a geomorphological perspective. Environmental Conservation. Vol. 27, Num. 4, pp 359-367. En: Mendoza-Ponce, E.T. 2001. Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: caso estudio Playas de Rosarito, Baja California, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 89 pp.

Propin, E., A. Sánchez y A. López (1997). "Situación geográfico-económica del turismo en el extremo norte de América Latina: el corredor Tijuana-Rosarito-Ensenada". Revista de Geografía Norte Grande, Santiago de Chile, Universidad Católica de Chile, 24:257-261.

Quellenec, R.E. 1989. The Corine (Coastal Erosion Project): identification of coastal erosion problems and data base on the litoral environment of european countries. Coastal Zone, pp 45-4601. En: Mendoza-Ponce, E.T. 2001. Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: caso estudio Playas de Rosarito, Baja

California, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 89 pp.

Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Rivera-Huerta, H. 2004. Aplicación de un modelo para evaluar el riesgo geomorfológico en la zona costera norte de la bahía Todos Santos, Ensenada. Tesina de Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, --- pp.

Rodríguez-Esteves, J. M. 2007. La construcción social del riesgo de desastre en el noroeste de México: ENSO (El Niño/Southern oscillation) en la cuenca del río Tijuana, Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Guadalajara. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Seingier G., I. Espejel, J.L. Fermán, y O. Delgado, 2010. Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. p. 669-688. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetyx-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Política Nacional Ambiental de Océanos y Costas. México D. F.

SEMARNAT. 2007. Estrategia Nacional para el ordenamiento ecológico del Territorio en Mares y Costas.

Silva-Casarín, R. 1997. Apuntes de clase "Morfodinámica de playas". DEP FI Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 80 pp. En: Mendoza-Ponce, E.T. 2001. Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: caso estudio Playas de Rosarito, Baja California, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 89 pp.

Sorensen, J.C., S.T. Mc Creary, y A. Brandani. 1992. Costas: Arreglos institucionales para manejar ambientes y recursos costeros. United State Agency for International Development. International Coastal Resource Center. University of Rhode Island, 185 pp. En: Mendoza-Ponce, E.T. 2001. Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta: caso estudio Playas de Rosarito, Baja California, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 89 pp.

Weggel, R. 1979. A method for estimating long-term erosion rates from long-term rise in water level. CERC Technical Aid, 79-2:1-13. En: Montoya-Turrillas, F.J., L., Morín-Fuentes. 1991. Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México, Ciencias Marinas, 17:25-36.

Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. In Los desastres no son naturales, edited by A. Maskrey. Bogotá, Colombia. En: Ramírez-Chávez, E.J. 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada, Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 101 pp.

Woodroffe, C. D. y D. M. Kennedy. 2002. Fringing reef growth and morphology: a review. *Earth Science Reviews* 57:255-277.