



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL– INGENIERÍA DE COSTAS Y RÍOS

Estrategias de manejo del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar  
en la Península de Baja California

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA:  
ROSA MARÍA CARMONA ENRÍQUEZ

Director de Tesis;  
Dr. Rodolfo Silva Casarín  
Instituto de Ingeniería

Comité tutor  
Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin  
Instituto de Ingeniería  
Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal  
Universidad Autónoma de Baja California  
Dr. Oscar Arturo Fuentes Mariles  
Instituto de Ingeniería  
Dr. Ismael De Jesús Mariño Tapia  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

Ciudad de México, Enero de 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	5
INTRODUCCIÓN .....	6
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	11
I. MARCO CONCEPTUAL .....	12
II. ANÁLISIS CUALITATIVO DEL RIESGO ASOCIADO A VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR EN LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA .....	15
II.I. Introducción .....	15
II.II. Antecedentes .....	16
II.III. Métodos.....	16
II.IV. Resultados.....	17
II.V. Clasificación de los elementos clave identificados de acuerdo al modelo conceptual DPSIR-SPRC .....	23
III. EVALUACIÓN DE RIESGO .....	25
III.I. Regionalización.....	25
III.II. Índice de Peligrosidad.....	46
III.III. Índice de Vulnerabilidad .....	64
III.IV. Índice de Riesgo .....	67
IV. ESTRATEGIAS DE MANEJO .....	68
V. DISCUSIÓN .....	68
VI. CONCLUSIONES.....	69
REFERENCIAS.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.....	8
Figura 2. Esquema metodológico.....	11
Figura 3. Diagrama de círculos anidados aplicado al análisis de riesgos en zonas costeras. En cada círculo o subsistema se enlistan algunos de sus componentes.....	12
Figura 4. Propuesta de marco conceptual integrado “DPSIR-SPRC” para la evaluación del riesgo ambiental. 14	
Figura 5. Población por municipio en el Estado de Baja California de 1995 a 2010 (INEGI, 2014) y proyección de la población a 2030 (CONAPO, 2014).....	20
Figura 6. Población por municipio en el Estado de Baja California Sur (INEGI, 2014) y proyección de la población a 2030 (CONAPO, 2014).....	23
Figura 7. Análisis de riesgo asociado a variaciones del nivel del mar utilizando el marco conceptual integrado DPSIR-SPRC. ....	24
Figura 8. Unidades Climáticas del Estado de Baja California. Elaboración propia a partir de INEGI (2008). ....	28
Figura 9. Unidades Climáticas del Estado de Baja California Sur. Elaboración propia a partir de INEGI (2008). ....	29
Figura 10. Tipo de roca del Estado de Baja California. Elaboración propia a partir de INEGI (2005). ....	32
Figura 11. Tipo de roca del Estado de Baja California Sur. Elaboración propia a partir de INEGI (2005). ....	33
Figura 12. Proceso oceanográfico dominante. Elaboración propia a partir de información de Silva et al (2014). ....	35
Figura 13. Unidades ambientales costeras de Baja California. ....	37
Figura 14. Unidades ambientales costeras de Baja California Sur. ....	38
Figura 15. Áreas susceptibles a tsunamis. Elaboración propia a partir de información de CENAPRED (2006) y CICESE (Inédito). ....	49
Figura 16. Localización de las estaciones analizadas. ....	51
Figura 17. Altura de ola significativa (Hs) de los cuartiles a) 25%, b) 50% y c) 75%. ....	52
Figura 18. Rosas de oleaje de a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, f) estación 6, g) estación 7 y h) estación 8. ....	54
Figura 19. Rosas de oleaje de a) estación 9, b) estación 10, c) estación 11, d) estación 12, e) estación 13, f) estación 14, g) estación 15 y h) estación 16.....	55
Figura 20. Rosas de oleaje de a) estación 17, b) estación 18, c) estación 19 y d) estación 20. ....	56
Figura 21. Número de tormentas tropicales en la Península de Baja California entre los años de 1969 y 2014. Elaboración propia a partir de datos de United Nations Environmental Programme (2015). ....	57
Figura 22. Altura significativa (Hs) con periodo de retorno de a) 25 años, b) 50 años y c) 100 años.....	59
Figura 23. Pendiente promedio para cada región de la Península de Baja California. ....	61
Figura 24. Índice de peligrosidad en los cuales se consideran indicadores de peligro por tsunami, pendiente promedio de la playa y altura significativa bajo condiciones de huracán y frente frío para periodos de retorno de 25 (a), 50 (b) y 100 (c) años. ....	63
Figura 25. Índice de vulnerabilidad (a), Indicador del tipo de turismo (b), Indicador de población (c) e Indicador de infraestructura terrestre y marina (d). ....	66
Figura 26. Índice de riesgo asociado a variaciones del nivel del mar para el sector turismo existente en la actualidad en el litoral la península de Baja California. ....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de los distintos tipos de costa de acuerdo a su dinámica y su composición. (Elaboración propia a partir de Silva Casarín et al., 2011) .....	16
Tabla 2. Longitud de línea de costa de acuerdo a la clasificación por geoforma en la Península de Baja California (Elaboración propia).....	17
Tabla 3. Longitud de cada tipo de costa en la Península de Baja California (Elaboración propia).....	18
Tabla 4. Infraestructura náutica identificada en el Estado de Baja California.....	20
Tabla 5. Infraestructura náutica identificada en el Estado de Baja California Sur.....	23
Tabla 6. Criterios de regionalización para zonas costeras.....	26
Tabla 7. Sistema de regionalización para la zona costera de la Península de Baja California. ....	36
Tabla 8. Tsunamis registrados en la costa del Pacífico del Estado de Baja California.....	47
Tabla 9. Número de tormentas tropicales registradas por estación en la Península de Baja California.....	57
Tabla 10. Área total inundable por tsunami en la Península de Baja California en cada Unidad Ambiental. ..	62

## RESUMEN

Se realizó una evaluación de riesgo asociado a variaciones del nivel mar en la Península de Baja California (PBC). Para establecer la perspectiva y enfoque de la evaluación, así como los elementos a considerar, se diseñó un modelo conceptual que utiliza el modelo de riesgo Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia (SPRC) para complementar el modelo de evaluación ambiental Fuerza-Presión-Estado-Imparto-Respuesta (DPSIR). Utilizando el modelo conceptual integrado que se propone, se clasificaron todos los elementos identificados en el litoral de la PBC a través de la digitalización de la línea de costa y fotointerpretación del mosaico de imágenes de GoogleEarth a escala 1:10,000. Además, la digitalización de la línea de costa consistió en identificar todos los elementos presentes en cada compartimento de costa de acuerdo a su morfología. Con este análisis se determinó que la evaluación de riesgo se enfocaría a estudiar los efectos del peligro asociado a las variaciones del nivel del mar sobre el sector turístico existente en la PBC debido a su importancia económica en la región y el grado de impacto que ejerce sobre el litoral de la península. La evaluación del riesgo se aplicó en 23 unidades ambientales delimitadas por medio de un sistema de regionalización que considera seis niveles: vertiente, región hidrológica, clima, tipo de roca, tectónica y el proceso oceanográfico dominante. El peligro asociado a las variaciones del nivel del mar se determinó considerando los eventos históricos de tsunamis, el análisis de régimen medio y extremal producido por frentes fríos (en la región noroeste de la península) y por huracanes (en la región este y sureste) con periodos de retorno de 25, 50 y 100 años; además considera el efecto de la pendiente en playas como un factor que puede modificar la velocidad de inundación costera, la magnitud de las áreas inundables así como a los procesos de disipación de energía del oleaje. La evaluación de peligro arrojó niveles altos y muy altos de peligro para la región comprendida entre Punta Colonet y El Rosario (costa oeste del Estado de Baja California), para la zona entre Laguna Manuela y San Juanico (costa este del Estado de Baja California Sur) además de la zona de La Paz hasta el poblado de San Evaristo, que se encuentra protegido por la Isla San José. La vulnerabilidad del sector turístico que actualmente existe en el litoral de la península se evaluó considerando la infraestructura terrestre y marítima que se identificó en una franja de 20 m de la línea de costa hacia tierra; el tipo de turismo, ponderando los desarrollos de acuerdo a la clasificación como campo turístico o complejo turístico identificados y la población de acuerdo al censo de INEGI 2010 en la misma área que los desarrollos turísticos, para estos dos últimos se tomó en cuenta una franja de 10 km de la línea de costa hacia tierra. Se determinó que las áreas con mayor vulnerabilidad se ubican en la costa noroeste de del Estado de Baja California, la costa sur del municipio de Los Cabos así como la costa del municipio de Loreto y Bahía de Concepción en el Estado de Baja California Sur. La evaluación de riesgo se calculó como el producto de la suma de indicadores de peligro por la suma de los indicadores de vulnerabilidad. Las zonas con el mayor nivel de riesgo de acuerdo a la evaluación, se localizan en al noroeste del Estado de Baja California desde la ciudad de Tijuana hasta Punta Baja (riesgo medio y alto), la península de Vizcaíno hasta San Juanico, la costa sur del municipio de Los Cabos (riesgo muy alto) y la costa de Loreto y Bahía de Concepción. Se encontraron pocas medidas de manejo de riesgo en la Península de Baja California, las cuales se han publicado en los Atlas de Riesgo en los sitios que cuenta con uno. Las medidas de manejo que se proponen van orientadas a reforzar las medidas que actualmente se han aplicado con éxito, como la divulgación de información y sistemas de alerta, en especial para el caso de eventos de huracanes; además del desarrollo turístico sustentable enfocado aprovechar la oferta paisajística y ecológica de las amplias zonas naturales y con alto nivel de conservación de la PBC.

## INTRODUCCIÓN

La inclusión de la evaluación de riesgos de origen natural dentro del proceso de planeación territorial y de desarrollo económico sigue representando un reto a nivel conceptual y a nivel de implementación e instrumentación. El análisis y evaluación del riesgo actualmente se realiza bajo distintas visiones, marcos conceptuales y metodológicos; de acuerdo con las características biofísicas y socioeconómicas de cada caso de estudio. La aproximación que se propone en este estudio está compuesta de conceptos y elementos que pertenecen a distintas metodologías pero permite realizar un análisis coherente del riesgo que, a la vez, produce un resultado útil para los responsables de la planeación costera; en primera instancia en los ordenamientos territoriales y los planes y programas de manejo ambiental, dado que utilizan directamente unidades de gestión para organizar el territorio.

La Península de Baja California (PBC) representa aproximadamente el 27% de las costas de México y alberga una variedad de ambientes costeros que van desde acantilados, playas y plataformas rocosas, lagunas costeras, ambientes insulares, mantos de macroalgas y pastos marinos, hasta manglares; con composiciones de rocas magmáticas antiguas y volcánicas, depósitos de aluvión, médanos y salitrales, costas con dunas, promontorios y terrazas elevadas, así como islas en barrera (Ortiz Perez, 2005). Lo anterior se encuentra sobre más 5000 km de línea de costa que configuran la característica forma de “brazo” de la península que se extiende a lo largo de tres grados de latitud. Climáticamente se puede describir en tres gradientes: el primero de norte a sur, caracterizado por el clima templado y húmedo en el noroeste (de la Provincia Florística de California) y en el sur por bosques caducifolios de la Región del Cabo; el segundo de este a oeste gracias a la influencia del Océano Pacífico y el Golfo de California, cuyas masas de agua poseen temperaturas fría y cálida respectivamente, lo cual mantiene un clima frío y neblinoso en el lado del Pacífico y cálido en el lado del Golfo; el tercer gradiente se produce gracias a la cadena montañosa peninsular la cual induce un enfriamiento altitudinal (Garcillán, González-Abraham, & Ezcurra, 2010; González Abraham, Garcillán, Ezcurra, & Grupo de Trabajo de Ecorregiones, 2010). Las zonas urbanas y asentamientos humanos representan menos del 5% del uso de suelo, mientras que un 4.7% se destina a actividades agropecuarias y forestales y un 94.3% se clasifica como ecológico y florístico (INEGI, 2013). Existen además 16 áreas protegidas que suman más de 70 mil km<sup>2</sup> incluyendo zonas terrestres, marinas e insulares. Solo la superficie terrestre de estas áreas protegidas representa cerca del 40% del territorio peninsular (CONANP, 2015).

De acuerdo con el CENAPRED (2001), en la PBC se presentan procesos sísmicos e hidrometeorológicos que representan un riesgo para las poblaciones existentes. Debido a que la península se caracteriza por un sistema de fallas transformantes y zonas de expansión, se identifican tres regiones con alta y muy alta frecuencia de grandes temblores. Además casi la totalidad de la costa se clasifica como receptora de tsunamis con excepción de una porción del alto Golfo de California. Por su parte la zona costera localizada al oeste de la península está fuertemente influenciada por el oleaje, mientras que en la costa este es la marea astronómica el factor reinante. En el sur de la península dominan las condiciones ciclónicas, oleaje de largo periodo generado en el hemisferio sur y oleaje con periodos intermedios generados en los cuadrantes este y norte. Al norte de la península no se tiene la influencia de efectos de tipo ciclónico. En relación con los rasgos geológicos y los eventos hidrometeorológicos, existen zonas con potencial importante de ocurrencia de colapsos o deslizamientos en prácticamente toda la vertiente del Golfo de California, así como casi todo el municipio de Los Cabos en el extremo sur de la península. Existen también zonas con potencial para la generación de flujos, de las cuales la más extensa se ubica al noroeste y abarca toda la vertiente del Pacífico desde la frontera norte hasta Punta San Carlos. Con riesgo alto de escurrimientos súbitos y de inundación se puntualizan las zonas aledañas a las ciudades de Tijuana, La Paz y Cabo San Lucas.

## **OBJETIVOS**

### *General*

Diseñar recomendaciones de manejo para la zona costera de la Península de Baja California, con independencia del tipo de ecosistema y del desarrollo antropogénico que en él se tenga, en función del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar.

### *Particulares*

- Realizar un reconocimiento de todos los elementos potencialmente expuestos al impacto de las variaciones del nivel del mar en la zona costera de la Península de Baja California.
- Estimar el riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar en la Península de Baja California mediante el análisis de SPRC.
- Definir regiones costeras en función del riesgo y de su productividad potencial en términos de actividades económicas.
- Evaluar el riesgo y la vulnerabilidad de los receptores potencialmente impactados por las fuentes.
- Diseñar las estrategias de manejo en función del riesgo asociado a las variaciones del nivel del mar a nivel regional y a nivel local para las áreas que presenten mayor riesgo.

## ÁREA DE ESTUDIO

### Descripción física

La Península de Baja California abarca un área de 143,600 km<sup>2</sup> excluyendo sus islas, y posee aproximadamente 3,000 km de línea de costa. Se delimita al oeste y al sur por el Océano Pacífico y se separa del resto del territorio mexicano por el Golfo de California. De largo se extiende 1,200 km y entre 45 y 250 km de ancho, lo que le confiere su característica forma de “brazo”. Predomina como rasgo estructural una serie montañosa con dirección NW-SE en toda la longitud de la península. Al norte, las zonas más altas se ubican en las Sierra de Juárez y San Pedro Mártir, de las que surgen sierras secundarias que avanzan hacia el litoral del Pacífico. Al sur existen montañas que se proyectan hacia el oeste, formando cabos empinados (Gobierno de Baja California, 2011b; López de Llergo, 2003)

Las costas de la península cuentan con una variedad de ambientes que van desde extensiones rocosas en las costas del Pacífico hasta largas playas arenosas en la costa del Golfo de California. Estas costas poseen zonas productivas como bahías, esteros, lagunas costeras, islas, estuarios, humedales marismas, ventilas hidrotermales, zonas de surgencias, arrecifes coralinos y manglares, por lo que existe una gran riqueza de flora y fauna, además de un alto porcentaje de endemismos y gran cantidad de especies de alto valor comercial (Espinosa, 2004; Salazar Vallejo & González, 1993).

El clima predominante en la zona noroeste de la península es el mediterráneo, semiárido con inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos; en esta zona se asienta la mayor parte de la población. Mientras que la región oriental posee un clima extremoso semiárido y escasas lluvias durante todo el año. Debido a la falta de cuerpos de agua en esta última zona los asentamientos humanos son escasos y se asocian principalmente a actividades relacionadas al turismo (Gobierno de Baja California, 2011a; INECOL, 2004).

**Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.**

## **ESTADO DEL ARTE**

Manejo en zona costera, riesgo en zona costera, marcos conceptuales y metodologías.

### **Manejo de riesgo en la zona costera**

Con la intención de desarrollar la costa de manera sustentable, se ha utilizado el manejo integrado de la zona costera (ICZM por sus siglas en inglés) como un método holístico para incluir las perspectivas ambiental y socioeconómica en los procesos de planeación de esta zona. Sin embargo, es necesario darle mayor importancia al conocimiento científico dentro del ICZM, debido a que la zona costera es altamente dinámica a distintas escalas de tiempo y espacio, y posee procesos que aún no se han estudiado lo suficiente. Prueba de lo anterior son todos los acontecimientos de inundación costera, erosión, tsunamis, entre otros, que ocasionan impactos negativos a las poblaciones costeras (McFadden, 2007).

La experiencia de la Unión Europea (UE) en materia de ICZM ha arrojado que existe la necesidad de incluir el análisis de riesgo e incertidumbre de manera integral y espacial, y que además, debe permitir adaptaciones en el futuro (Breen & Hynes, 2014). En este sentido Escudero Castillo et al (2012) plantea que un componente importante en el marco del manejo integrado de la zona costera es el análisis y evaluación del riesgo, dentro de los cuales se toman en cuenta los daños que distintos fenómenos (especialmente hidrometeorológicos) pueden causar a la franja costera tanto en el sentido ecocéntrico como antropocéntrico.

El análisis y evaluación del riesgo implica la integración de una gran diversidad de factores, pertenecientes a distintas dimensiones, como la económica, social y ambiental. Es por ello que los estudios de riesgo se han abordado utilizando distintos enfoques y métodos, adaptándose al contexto en el que se aplique y no existe una definición única del concepto de riesgo (Sayers, Gouldby, Simm, Meadowcroft, & Hall, 2003). Escudero Castillo et al (op cit.) exponen distintas definiciones del concepto de riesgo así como algunas de las metodologías más representativas orientadas hacia el análisis del riesgo asociado a inundaciones en la zona costera, clasificándolas en primer instancia como cuantitativas y cualitativas. Estas dos aproximaciones, en muchos de los casos se pueden asociar a la visión de las ciencias naturales (metodologías cuantitativas) y a la visión de las ciencias sociales (metodologías cualitativas).

En los últimos años, los expertos en riesgo se encuentran buscando nuevas formas de complementar o unificar ambas visiones, pues sugieren que el conocimiento generado por las ciencias sociales, en lo que a vulnerabilidad se refiere, debe incluirse de una manera cuantificable. A pesar de que existen marcos teóricos sobre el análisis de la vulnerabilidad Birkmann (2006) presenta una extensa descripción de éstos no es fácil incorporarlos al paradigma de las ciencias exactas debido a que la información que se maneja es de naturaleza cualitativa (Carmona Enríquez, 2013).

### **Método Source-Path-Receptor-Consequence**

El análisis del riesgo es inherentemente espacial, por lo que es importante tomar en cuenta las relaciones espaciales entre los elementos que conforman el área de estudio. En este sentido, el método conocido como Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia (SPRC por sus siglas en inglés) plantea un buen punto de partida, pues permite incluir en el sistema todos los posibles componentes, tomando en cuenta únicamente la forma en que se relacionan y la función que desempeñan dentro del sistema.

Particularmente para el riesgo de inundación costera, Narayan et al. (2012) desarrolló el método de SPRC como una técnica para realizar un análisis previo a la modelación numérica, pues permite identificar una mayor cantidad de componentes del sistema de inundación, a la vez que facilita la comprensión de sus interrelaciones. El método de SPRC de acuerdo con Narayan et al (op cit.) consiste en realizar una proyección de la elevación máxima posible del agua, sin tomar en cuenta la existencia de estructuras de protección costera; de manera que se establezca la extensión natural de la inundación y se considere todo el espacio en posible riesgo y bajo cualquier escenario. Posteriormente se procede a identificar y localizar los elementos que pueden resultar impactados por la inundación (receptores) y se clasifican de acuerdo al uso de suelo correspondiente. Una vez definidos los receptores, se establecen los vínculos existentes entre los elementos que sean geográficamente adyacentes mediante un mapa de sistemas. Por último, se definen y esquematizan todas las fuentes de inundación, así como sus vínculos con los distintos elementos del sistema.

## ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La tesis está organizada en 7 capítulos en los cuales se desarrollan los métodos y resultados obtenidos para alcanzar los objetivos establecidos:

- I. Marco conceptual**

Se establece el marco conceptual que define la perspectiva de evaluación de riesgos en el presente estudio.
- II. Regionalización de la línea costera en función de rasgos físicos.**

Se generó una regionalización de la línea de costa utilizando características físicas del territorio que en su conjunto, podrían generar estados de riesgo para el subsistema socioeconómico.
- III. Análisis de riesgo mediante DPSIR-SPRC.**

Consistió en la descripción de los subsistemas socioeconómico y ambiental mediante investigación documental y un análisis geomorfológico de la línea de costa respectivamente. Se analizaron las relaciones entre elementos clave identificados en esta etapa mediante el marco conceptual DPSIR-SPRC.
- IV. Evaluación del riesgo en unidades ambientales.**

Se evaluó el peligro, vulnerabilidad y riesgo de los elementos seleccionados en el análisis DPSIR-SPRC. Tal evaluación se llevó a cabo a nivel de unidad ambiental utilizando la regionalización elaborada previamente en el paso 2.
- V. Estrategias de manejo de riesgo en la zona costera de la PBC.**

De acuerdo con los resultados encontrados en el análisis y evaluación de riesgo, se elaboraron estrategias de manejo de riesgo.
- VI. Discusión**
- VII. Conclusión**

La organización de capítulos obedece a la estructura general metodológica que se presenta en la siguiente figura:

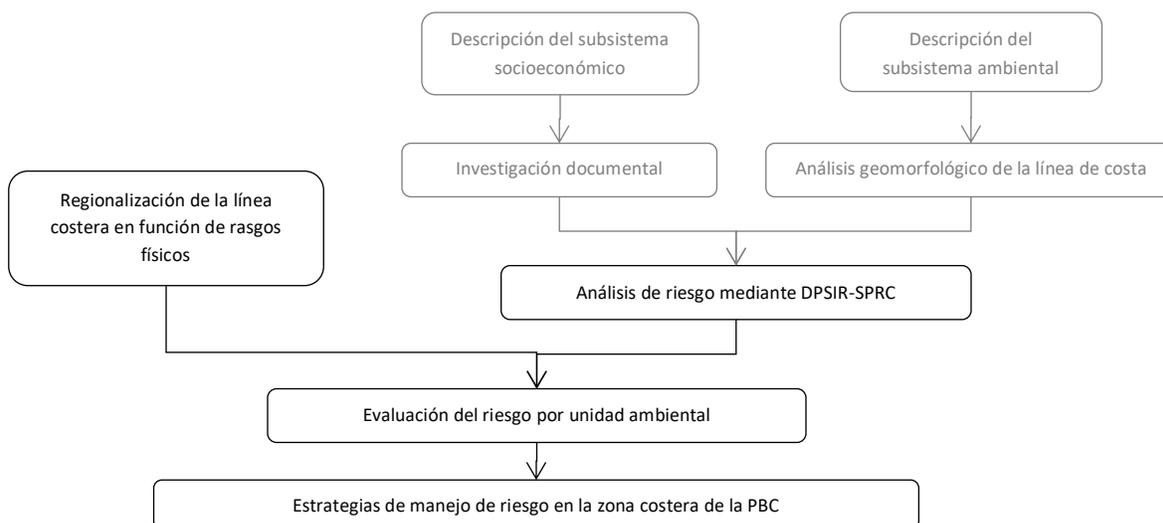


Figura 2. Esquema metodológico.

## I. MARCO CONCEPTUAL

Es necesario utilizar un marco conceptual sólido que representa el riesgo en sus múltiples dimensiones, para lo cual se utilizó la teoría de sistemas desarrollada por Haimés (2009) quien propone que el riesgo es función de los estados del sistema a analizar. Esta perspectiva no solo permite organizar los componentes del sistema de manera jerárquica y traducir sus relaciones en términos matemáticos; si no que también es compatible con la integración de múltiples marcos conceptuales que representen, de manera satisfactoria, distintos aspectos del sistema (Andretta, 2014; Haimés, 2009). Siguiendo esta lógica, la Península de Baja California como objeto de estudio es visto como un sistema compuesto por los subsistemas socioeconómico y ambiental, cuyos componentes interactúan construyendo distintos estados de riesgo (en el sentido antropocéntrico).

Las relaciones entre los componentes de los subsistemas socioeconómico y ambiental se definen en esta tesis de acuerdo con la teoría de círculos anidados del desarrollo sustentable (Figura 3) (Guijt & Moiseev, 2001; Lozano, 2008). Dicha teoría establece que el subsistema socioeconómico está contenido dentro del subsistema ambiental y éstos se relacionan en ambas direcciones.

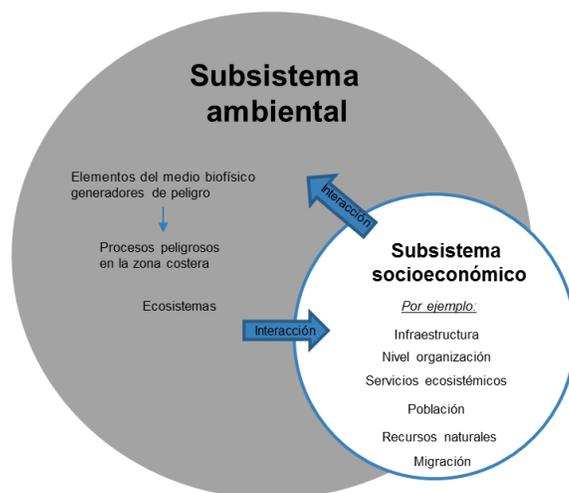


Figura 3. Diagrama de círculos anidados aplicado al análisis de riesgos en zonas costeras. En cada círculo o subsistema se enlistan algunos de sus componentes.

El análisis y evaluación de riesgo, así como las estrategias de manejo que se proponen en la presente tesis, están dirigidos hacia el desarrollo socioeconómico sustentable y por tal motivo, se adoptó una perspectiva de riesgo antropocéntrica. De esta forma, se asume que el riesgo puede generarse tanto por procesos naturales (por ejemplo: procesos climatológicos, sísmicos, oceanográficos, entre otros) como por procesos socioeconómicos (por ejemplo: contaminación ambiental, sobreexplotación de recursos naturales, migraciones, generación de residuos peligrosos, entre otros); sin embargo, el presente estudio se limita a considerar los impactos que se expresan en la sociedad. Tales impactos pueden ser la pérdida y daños en vidas humanas, depresión de los sectores económicos, pérdida de infraestructura, entre otros.

Las interacciones de los componentes que contribuyen a la construcción del riesgo se analizaron a través de un nuevo marco conceptual integrado. Dicho marco es una propuesta original que se desarrolló en colaboración con la Dipl.-math Christine Schöttmüller del Institut für Geodäsie und Photogrammetrie de la Technische Universität Braunschweig durante una estancia de investigación de tres meses (Junio-Agosto de 2017) financiada por el programa "EXCEED SWINDON – Excellence Center for Exchange and Development –

Sustainable Water Management in Developing Countries”. Dicho marco se constituye por dos modelos causales y deterministas: Fuerza-Presión-Estado-Impacto-Respuesta y Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia. Ambos modelos se explican a continuación:

***Marco conceptual: Fuerza-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (Driver-Pressure-State-Impact-Response)***

Este modelo conocido como DPSIR por sus siglas en inglés, se presentó en 1995 por la Agencia Ambiental Europea (EEA, 1995) como un marco para el análisis de problemas ambientales con una perspectiva de sistemas. De acuerdo con sus autores, este marco se puede explicar de la siguiente manera: las fuerzas motrices (entendidas como el desarrollo social y económico) ejercen presión sobre el ambiente induciendo un cambio en su estado. A esto le siguen los impactos que requieren una respuesta de la sociedad para influir en las fuerzas motrices, en el estado o en los mismos impactos. Se trata de un modelo flexible que fue creado para el análisis del sistema socio-ambiental que permite al mismo tiempo, generar indicadores que sirvan de apoyo al manejo adaptativo y a tomadores de decisiones (Gari, Newton, & Icely, 2015).

***Marco conceptual Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia (Source-Pathway-State-Consequence)***

Este modelo conocido como SPRC por sus siglas en inglés es un marco conceptual diseñado para identificar y organizar los componentes de la evaluación de riesgos. Se ha utilizado para evaluar los riesgos asociados a contaminantes y a inundación costera (Villatoro et al., 2013; Zanuttigh, 2011). Existen variaciones de este modelo, tales como Fuente-Trayectoria-Receptor-Impacto (SPRI) (DETR, 2000) o Fuente-Trayectoria-Receptor (SPR) (Narayan et al., 2012) los cuales se han utilizado para evaluar el riesgo de inundación costera y riesgo ambiental respectivamente. En cualquier caso, este modelo considera las relaciones topológicas así como la función de cada elemento del sistema. En este sentido, un elemento puede ser clasificado como una fuente de peligro, como una trayectoria, como un receptor o como consecuencia, dependiendo del objetivo del estudio y de la perspectiva de investigación.

Una fuente se define como el peligro que amenaza al ambiente; una trayectoria es un elemento a través del cual, la fuente de peligro se conecta con el receptor (en un sentido espacial y físico); un receptor es un elemento que podría ser afectado por la fuente de peligro; finalmente, una consecuencia es el resultado de las interacciones entre fuente-trayectoria-receptor, las cuales pueden ser físicas o socio-económicas.

Con este análisis conceptual como una primera etapa en la evaluación del riesgo, es posible considerar todos los elementos de una manera cuantitativa y construir un modelo más completo, sin limitarse a la disponibilidad y procesamiento de datos. Con base en este marco conceptual, los elementos clave y las relaciones topológicas se puede modelar posteriormente usando métodos numéricos. (Narayan et al., 2012).

Evans et al (2004) combinaron los marcos conceptuales DPSIR y SPRI (desarrollado por DETR, 2000) para analizar la inundación y defensa costera en el Reino Unido. En su estudio Evans et al (2004) establecieron que el concepto de “Estado” se puede evaluar en términos de riesgo utilizando el modelo SPRI.

***Modelo integrado DPSIR-SPRC***

El marco conceptual DPSIR está diseñado para analizar la causalidad de distintos tipos de problemas ambientales. Permite la inclusión de un amplio rango de elementos (p.e. económicos, culturales, políticos y naturales). Por su parte, el marco SPRC también analiza la causalidad, pero fue creado para modelar el riesgo asociado a procesos naturales, bienes y actividades desde un punto de vista físico y cuantitativo. Ambos se pueden integrar usando al marco SPRC como modelador de la componente natural del marco

DPSIR. Como se observa en la Figura 4, el nuevo marco integrado denominado “DPSIR-SPRC”, incorpora los conceptos de “Receptor” y “Consecuencias” del modelo SPRC. El concepto “Receptor” ayuda a focalizar el modelo DPSIR en un elemento específico con el cual se puede medir el estado de sistema; el concepto de “Consecuencias” incluye las componentes de “Impacto y “Respuesta” del modelo DPSIR, las cuales se considera que ocurren secuencialmente.

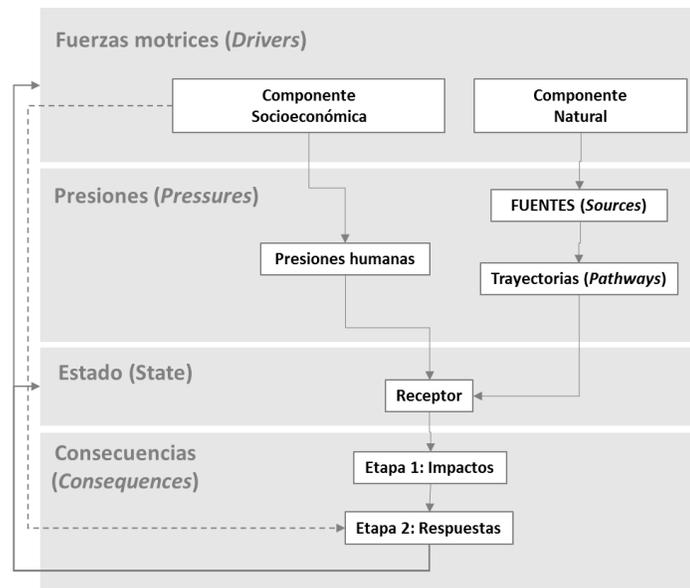


Figura 4. Propuesta de marco conceptual integrado “DPSIR-SPRC” para la evaluación del riesgo ambiental.

El objetivo del nuevo marco conceptual “DPSIR-SPRC” es el de dirigir el análisis de riesgo, previo a su evaluación. De esta manera, se puede conservar una visión amplia del riesgo que ayude a comprender el mecanismo de generación de los estados de riesgo de un sistema.

## II. ANÁLISIS CUALITATIVO DEL RIESGO ASOCIADO A VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR EN LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA

### II.1. INTRODUCCIÓN

En el Estado de Baja California Sur a la fecha existen atlas de riesgo para los municipios de Los Cabos, Mulegé, La Paz y Comondú (C, 2011; Grupo Espinoza Constructores, 2011; Municipium, 2011; Solucionera Arquitectura y Construcción, 2012). Referente a sus zonas costeras, dichos documentos analizan los riesgos asociados a tormentas tropicales y huracanes así como a tsunamis; en ninguno se detecta el riesgo asociado a erosión costera a excepción del municipio de Los Cabos en el que se identifica un proceso recurrente de deslizamiento de sedimentos en la bahía de Los Frailes.

El principal riesgo que se identifica en las zonas costeras dentro de los atlas de Baja California Sur es por tormentas tropicales y huracanes. Estos estudios presentan velocidades de viento, trayectoria y en los casos de Los Cabos y La Paz se incluyen cotas de inundación costera asociadas a huracán y periodos de retorno de las mismas; en ningún caso se incluyó análisis de *run up* para el cálculo de riesgo de inundación costera.

En el Municipio de Los Cabos se evaluó una altura de marea de tormenta de 5.5m teóricamente asociada a un huracán categoría 5, mientras que en el Municipio de La Paz las cotas de inundación que se presentan en los mapas de peligro dependen tanto de la categoría de huracán como del su periodo de retorno y éstas varían entre 1.85m y 13.32m. Destaca el riesgo encontrado en ciudades y localidades turísticas como Cabo San Lucas, San José del Cabo, Cabo Pulmo, La Paz y la zona de Pichilingue, Todos Santos, El Pescadero, Los Barriles, El Sargento y La Ventana. En cuanto a vulnerabilidad, se destaca el alto nivel de conocimiento de la población ante el peligro asociado a huracanes así como el sistema de alerta oportuna por parte de las autoridades. En general, las propuestas de mitigación y prevención van enfocadas al incremento de regulaciones para construcciones en las zonas expuestas y a la divulgación y educación ambiental.

En cuanto a peligro por tsunami, se desarrolla ampliamente en el Atlas de Riesgos del Municipio de Los Cabos, en el cual se analiza la incidencia de tsunamis locales generados en la trinchera Mesoamericana siguiendo la metodología propuesta por el sistema regional de alerta de tsunamis en el cual se usan funciones de Green o tsunamis sintéticos en varios puntos de la costa. La cota de inundación de mayor magnitud encontrada es de aproximadamente 2m, como resultado de un tsunami generado en las costas de Colima con un periodo de retorno de 1000 años; dicha modelación es comparable con el tsunami registrado por sismo del año 1995. El resto de las cotas de inundación no supera 1m. En el Municipio de La Paz se considera el peligro por tsunami como muy bajo y se justifica por el desplazamiento lateral que presentan las placas tectónicas en la zona sur del Golfo de California el cual no genera movimientos de masa de agua por lo tanto no generan grandes olas. En el Municipio de Mulegé se descarta el peligro por tsunami por carecer de registros históricos de éste fenómeno.

En el Estado de Baja California existen a la fecha atlas de riesgos de los Municipios de Tijuana, Playas de Rosarito, Ensenada y Mexicali (CICESE, 2014; Instituto de Investigaciones Oceanológicas, 2012; Instituto de Investigaciones Sociales, 2011). Para zonas costeras se identifican peligros asociados a tormentas invernales en la cuenca del Pacífico y no se consideran peligros por huracanes o tormentas tropicales. En cuanto a riesgo asociado a tsunami, no se desarrollan modelos para evaluar el peligro por tsunamis lejanos y se determina un riesgo bajo para las costas del Pacífico. Por su parte, el Municipio de Mexicali evalúa una cota de inundación por tsunami de 10m debido al registro histórico de un tsunami local originado en el Alto Golfo de California en el año de 1852 generado por un sismo y consecuente deslizamiento de sedimentos. Aunque

sí se identifica un peligro asociado a erosión costera en el Municipio de Ensenada, no se presenta evaluación del mismo.

## II.II. ANTECEDENTES

Silva Casarín et al. (2014) realizaron una caracterización de la costa de México en la cual entre otros aspectos, clasifican la línea de costa de acuerdo a distintos criterios (tipo de costa, proceso de formación, geodinámica e hidrodinámica). En la Tabla 1 se muestra la longitud de cada tipo de costa en la península de acuerdo a su dinámica y al tipo de costa, así como su proporción respecto de su longitud total, incluyendo Isla de Cedros y las principales islas e islas en barrera presentes en el litoral. De acuerdo con esta información, poco más de la mitad de las costas de la península (54.6%) se encuentran en proceso erosivo o de retroceso, mientras el 33.55% presenta acreción o avance. Si se comparan las costas del Pacífico y del Golfo de California, se puede observar que en el Pacífico más de la mitad de las costas (67.07%) se encuentran en retroceso mientras que en el Golfo de California casi la misma proporción (62.2%) presenta el proceso contrario (de avance); en ninguno de los casos las costas estables rebasan el 15% del total. Se debe destacar que esta información representa el resultado de distintos procesos, los cuales producen tasas de erosión/acreción de distinta magnitud. Antes de considerar estos datos para fines de manejo y planeación, es necesario analizar la magnitud de las tasas de cambio que se consideren relevantes.

Tabla 1. Longitud de los distintos tipos de costa de acuerdo a su dinámica y su composición. (Elaboración propia a partir de Silva Casarín et al., 2011)

	<i>Costa del Pacífico (km)</i>	<i>%</i>	<i>Costa del Golfo de California (km)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL (km)</i>	<i>%</i>
<i>Dinámica</i>						
<i>Avance</i>	1034.68	21.70	1226.80	62.20	2261.48	33.55
<i>Estable</i>	535.32	11.23	262.93	13.33	798.25	11.84
<i>Retroceso</i>	3197.71	67.07	482.64	24.47	3680.35	54.60
<i>TOTAL</i>	4767.71	100.00	1972.38	100.00	6740.09	100.00
<i>Tipo de costa</i>						
<i>Rocosa</i>	4125.95	88.86	241.36	12.43	4367.31	66.32
<i>Baja arenosa</i>	56.00	1.21	242.28	12.47	298.29	4.53
<i>Mixta</i>	461.42	9.94	1458.53	75.10	1919.94	29.15
<i>TOTAL</i>	4643.37	100.00	1942.17	100.00	6585.54	100.00

## II.III. MÉTODOS

El análisis de riesgo se llevó a cabo en dos etapas: 1) descripción la componente natural y descripción de la componente social; 2) clasificación de los elementos clave identificados de acuerdo al modelo conceptual DPSIR-SPRC descrito en el Capítulo I del presente documento.

La descripción de la componente natural se llevó a cabo a través de la digitalización de la línea de costa a escala 1:10,000 utilizando fotointerpretación. La digitalización se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS y el mosaico de imágenes de satélite (de distintos sensores) "World Imagery" (ESRI, 2015). Se definió como línea de costa el límite más cercano a tierra definido por el frente de la marea visible o bien, la berma en zonas con playa arenosa.

La línea de costa se digitalizó en formato *shapefile* con el fin de obtener una base de datos espacial robusta. Para realizar la caracterización de la línea de costa, se dividió en compartimentos, los cuales se definen como un segmento delimitado por obstáculos mayores, que pueden existir de manera intermitente a lo largo de la línea de costa y que podrían interrumpir el transporte litoral de sedimentos.

A cada compartimento se le asignaron los siguientes atributos:

- ✓ Tipo de geomorfología
- ✓ Tipo de infraestructura costera (si la hubiese)
- ✓ Número de ríos
- ✓ Población
- ✓ Distancia de la población a la línea de costa
- ✓ Presencia/Ausencia de vegetación
- ✓ Tipo de playa
- ✓ Otras características
- ✓ Presencia/Ausencia de dunas

El tipo de playa como atributo en cada compartimento se determinó de acuerdo a fotointerpretación cuando la imagen proporcionó una resolución espacial que permitiera determinar a nivel básico el tipo de material presente (arena o sustrato rocoso), en algunos casos fue posible utilizar la capa de fotografías panorámicas disponibles en el software Google Earth. Este último recurso se utilizó únicamente cuando fue posible corroborar la correspondencia de las fotografías con el sitio.

La descripción de la componente socioeconómica se elaboró complementando las características antropogénicas detectadas durante el proceso de digitalización de la costa (población e infraestructura costera) con investigación documental, la cual se orientó hacia la historia y desarrollo de las actividades económicas de la península. La descripción de la componente socioeconómica se organiza por Estado.

## II.IV. RESULTADOS

### II.IV.I. DESCRIPCIÓN DE LA COMPONENTE NATURAL

Se digitalizó un total de 5,568.67 km y en la Tabla 2 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se enlistan los tipos de geoformas encontrados, así como su longitud total. Esta línea de costa se conformó de 1085 segmentos que poseen atributos homogéneos en cuanto a geoforma y en algunos casos tipo de costa.

La costa se clasificó en 9 geoformas, de las cuales la que posee mayor longitud es la de tipo “laguna costera” pues representa 32.1% del total. Si bien este tipo de geoforma significa casi la tercera parte de la longitud total digitalizada, esto no significa que espacialmente sea el rasgo predominante en la zona costera de la península. La siguiente geoforma que predomina es la “playa abierta” que representa un 29.6% del total de la línea de costa, seguida por la costa tipo “rada” con un 18.7%. Con longitudes que no rebasan el 10% del total se encontraron las costas tipo “bahía”, “barra”, “delta”, “punta” y “tómbolo” (Tabla 2).

El tipo de geoforma en la cual se clasificó la costa no siempre representa la forma que se puede apreciar en la escala de representación de los mapas (1:1,100,000). La clasificación asignada a cada uno de los compartimentos que configuran la línea de costa responde a la interpretación de los rasgos que se pueden visualizar a la escala detallada (1:10,000).

**Tabla 2. Longitud de línea de costa de acuerdo a la clasificación por geoforma en la Península de Baja California (Elaboración propia).**

<b>Geoforma</b>	<b>Longitud (km)</b>
<b>Bahía</b>	354.92
<b>Barra</b>	327.13
<b>Delta</b>	199.64
<b>Laguna costera</b>	1787.37
<b>Playa abierta</b>	1650.26
<b>Playa de bolsillo</b>	8.45
<b>Punta</b>	192.26
<b>Rada</b>	1044.12
<b>Tómbolo</b>	4.52
<b>Total</b>	<b>5568.67</b>

En la Tabla 3 se presenta la longitud de línea de costa que posee cada uno de los tipos de playa encontrado en la península. El tipo de playa más frecuentemente identificado fue “playa arenosa” con un 54% del total. Le siguen “cantil” con 19% y “humedal/marisma” con 16.7%; el resto de las playas se identificaron como una combinación de cantil, playa y puntas rocosas y ninguna sobrepasa el 10% del total.

Por otra parte, se detectó presencia dunas en 34% de los compartimentos. Es necesario analizar con mayor profundidad este último dato, pues el porcentaje de compartimentos con presencia de dunas no refleja necesariamente la misma proporción en relación al total de la longitud de la línea de costa de la península. La longitud de los compartimentos es ampliamente variable, por lo cual es posible que parte de los compartimentos que presenten dunas sean de longitud pequeña.

Tabla 3. Longitud de cada tipo de costa en la Península de Baja California (Elaboración propia)

<b>Tipo de costa</b>	<b>Longitud (km)</b>
<b>Cantil</b>	1059.62
<b>Playa</b>	3007.30
<b>Cantil y playa</b>	511.56
<b>Cantil y puntas rocosas</b>	28.35
<b>Humedal/ marisma</b>	928.19
<b>Playa y puntas rocosas</b>	33.66
<b>Total</b>	<b>5568.67</b>

#### II.IV.II. DESCRIPCIÓN DE LA COMPONENTE SOCIAL

##### BAJA CALIFORNIA

##### HISTORIA SOCIOECONÓMICA:

El poblamiento y el desarrollo territorio de lo que hoy corresponde al Estado de Baja California ha sido relativamente lento comparado con otras partes de México y con el colindante Estado de California en Estados Unidos. La población se incrementó después del tratado de Guadalupe-Hidalgo en 1848 y posteriormente la expansión económica de Estados Unidos contribuyó al surgimiento y desarrollo de las poblaciones de Ensenada, Tijuana y Mexicali a principios del siglo XX. Sin embargo, la escasa infraestructura vial mantuvo al entonces territorio federal de Baja California con poca población y prácticamente en

aislamiento del resto del país a pesar de las políticas de “poblamiento” del gobierno federal. Lo anterior explica por qué en la primera mitad del siglo XX el crecimiento económico y demográfico del territorio se debe a su relación con California (Piñera-Ramírez, Jaimes-Martínez, & Espinoza-Meléndez, 2012).

Los principales sectores que impulsaron el desarrollo durante la primera mitad del siglo XX fueron el turismo y la industria bélica. El primer sector se desarrolló gracias a la promulgación de la denominada Ley Seca en Estados Unidos la cual propició que en Baja California se ofertaran bienes y servicios prohibidos en ese país, tales como bebidas alcohólicas y juegos de azar. A su vez, la industria bélica de Estados Unidos durante la Primera Guerra Mundial requería mano de obra proporcionada por los territorios fronterizos como Baja California, dicho servicio se formalizó a través del llamado “Programa Bracero”; por otra parte se incrementó la demanda de bienes y servicios por parte de soldados, marinos y trabajadores estadounidenses, destacando la demanda de algodón cultivado en Mexicali. Lo anterior permitió al territorio federal de Baja California cumplir con los requisitos necesarios y favoreció las condiciones políticas para que en el año de 1952 se decretara como Estado. Posteriormente durante la segunda mitad del siglo XX el crecimiento demográfico en el Estado y la disminución de la demanda de bienes y servicios por parte de Estados Unidos, generó distintos problemas socioeconómicos (Piñera-Ramírez et al., 2012).

Pese a las dificultades económicas, actualmente se considera que existe una fuerte relación socioeconómica entre ambos Estados fronterizos. Baja California es el tercer socio comercial de California, después de México y Canadá; además su comercio exterior representa 2.8 veces el tamaño de su PIB (Piñera-Ramírez & Carrillo, 2011). Las principales vocaciones económicas en el Estado de acuerdo con el Plan Estratégico del Estado de Baja California (2013) son: producción de vino, manufacturas, servicios médicos, artesanal, turístico, agrícola, centro logístico entre México, Estados Unidos y países de oriente, producción y abastecimiento de energía para California.

#### ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LA ACTUALIDAD

##### TURISMO

La actividad turística del Estado se puede describir en tres espacios: Mexicali, el Corredor Costero San Felipe – Puertecitos – Bahía de Los Ángeles (COCOSFBA) y el Corredor Costero Tijuana-Rosarito-Ensenada (COCOTREN).

El turismo que existe actualmente en el municipio de Mexicali responde a la creciente demanda por servicios médicos por parte de ciudadanos estadounidenses que han encontrado una oferta de calidad a menores costos que los existentes en Estados Unidos. Por su parte el COCOSFBA es una región que comprende la zona urbana de San Felipe y los poblados de Puertecitos, San Luis Gonzaga y Bahía de los Ángeles. Por su ubicación, esta región colinda con la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado y a su vez está a aproximadamente 200 km de la frontera con Estados Unidos. Lo anterior le confiere a dicho corredor, condiciones ideales para el desarrollo de la actividad turística, por cual en el año 2000 fue decretada como Zona de Desarrollo Turístico Prioritario. La infraestructura turística se concentra en la zona urbana de San Felipe que cuenta con un puerto y oferta hotelera. Hacia el sur de esta zona urbana existen campos turísticos (espacios rústicos acondicionados para recibir vehículos recreativos y tiendas de campaña) con frente de playa que se encuentran dispersos entre los poblados. Las principales actividades que se ofertan son festivales culturales y deportivos (ciclismo, regata, entre otros) así como la pesca deportiva. El perfil de los turistas en esta zona son visitantes de fin de semana y visitantes estacionales que ocupan principalmente los campos turísticos. Pese a su gran potencial, el COCOSFBA presenta un estancamiento tanto en oferta como en demanda turística en la última década (SIDUE, 2010).

El COCOTREN configuran un espacio socioeconómico de especial relevancia para el Estado y en el cual las actividades turísticas son un gran atractivo para visitantes residentes del Estado de California. Este corredor se ubica en una franja litoral de asentamientos humanos cuya anchura varía entre los 2 y 10 km desde la línea de costa, ocupando un área de 594.7km<sup>2</sup>. Las actividades turísticas en el corredor han prosperado durante el siglo XX gracias a una combinación de oferta de paisajes, clima y cultura, y se han favorecido por la infraestructura de comunicación terrestre, la cual facilita la movilidad urbana, regional, estatal y local, principalmente para automóviles privados (Rodríguez, 2015).

La oferta turística en el COCOTREN ha evolucionado desde los casinos en la década de 1920 con tres principales hoteles (Casino de Tijuana, Hotel Playas de Rosarito y Hotel Riviera del Pacífico en Ensenada) los cuales contribuyeron a la urbanización a su alrededor. En las siguientes décadas el territorio con frente costero fue dando lugar a más hoteles, viviendas turísticas, *trailer park* y segundas residencias de jubilados norteamericanos. En década de 1990 se consolidó el modelo de turismo de masas, atrayendo turistas principalmente por la vía terrestre en busca de estadías cortas. Durante la década de 2000, las actividades turísticas presentaron un decaimiento en cuanto a hospedajes y un mayor crecimiento en la industria inmobiliaria en el litoral del corredor. Sin embargo, en la actualidad existe una reducción en la industria inmobiliaria debido a que la capacidad adquisitiva de los compradores estadounidenses se ha visto afectada por la crisis inmobiliaria de Estados Unidos, por percepción de inseguridad en México por parte de los turistas y debido a los grandes tiempos de espera en los cruces fronterizos (Rodríguez, 2015).

A continuación se presenta la población de cada municipio de acuerdo con los conteos realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía cada cinco años.

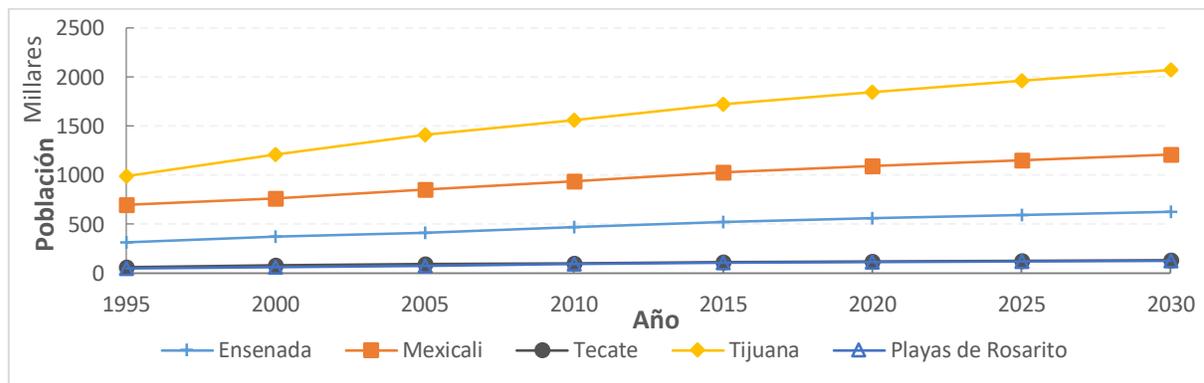


Figura 5. Población por municipio en el Estado de Baja California de 1995 a 2010 (INEGI, 2014) y proyección de la población a 2030 (CONAPO, 2014)

Tabla 4. Infraestructura náutica identificada en el Estado de Baja California.

Marinas	Puertos	Terminales
<ul style="list-style-type: none"> <li>Marina Coral (Ensenada)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensenada (Ensenada)</li> <li>Santa Rosalíita (Ensenada)</li> <li>San Felipe (Mexicali)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Playas de Rosarito – Termoeléctrica (Playas de Rosarito)</li> <li>SEMPRA Energy – Regasificadora (Ensenada)</li> </ul>

## BAJA CALIFORNIA SUR

### HISTORIA SOCIOECONÓMICA:

La economía en Baja California Sur se ve impulsada a partir de la década de 1940, con las políticas nacionales para consolidar el sector agrícola y colocar al país como generador de alimentos en la situación de

postguerra. El Valle de Santo Domingo fue la primera región en desarrollar la actividad agropecuaria aunque en las siguientes décadas se presentarían altibajos relacionados con la sequía. Durante la década de 1970 una serie de eventos sentarían las bases para la construcción del Estado: en 1974 por Decreto Presidencial el Territorio Sur se convirtió en Estado Libre y Soberano conformado por los Municipios de La Paz, Comondú y Mulegé. Esa misma década se construyó la carretera transpeninsular que conectaría al Estado con el resto de la península, así como los aeropuertos de Loreto y San José del Cabo, favoreciendo así las comunicaciones y el transporte de carga y personas. Por otra parte, se abrieron nuevas rutas marítimas para sumarse a las ya existentes que comunicaban al territorio con el macizo continental. Lo anterior también favoreció el desarrollo de las actividades comerciales y el turismo; además se crearon los primeros centros de educación superior. En las siguientes dos décadas se conformaron los Municipios de Loreto y Los Cabos bajo el nuevo esquema económico basado en la actividad turística del Estado. Los altibajos económicos a nivel nacional obligaron a Baja California Sur a diversificar sus actividades económicas, por ejemplo, recobró importancia el sector minero no metálico y el sector agrícola cambió su patrón de cultivos al añadir la producción de granos, hortalizas, frutales, sorgo y alfalfa; algunos de estos productos dirigidos al mercado de exportación. (Gobierno del Estado de Baja California Sur, 2012).

#### ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LA ACTUALIDAD

##### TURISMO

Actualmente la actividad turística más importante se concentra alrededor de los Centros Integralmente Planeados (CIP) los cuales contaron desde su inicio con financiamiento del Estado y en menor medida con inversiones privadas. Dichos espacios corresponden al Corredor Turístico de Los Cabos y al Corredor Turístico Loreto-Nopoló-Puerto Escondido, ambos fueron planeados con una perspectiva de turismo de masas, orientado a recibir turistas con alto poder adquisitivo y con acceso exclusivo (De Sicilia Muñoz, 2000; López-López & Sánchez-Crispín, 2002b, 2002a).

El Corredor Turístico de Los Cabos (CTLC) se localiza al extremo sur de la península de Baja California y recorre más de 40 km sobre la línea de costa. El CTLC presenta un patrón de migración bien definido, en el cual la principal procedencia de los visitantes pertenece a Norteamérica (52% Estados Unidos y 26% Canadá). En menor medida existe turismo procedente de México (17%), sin embargo este último se caracteriza por un poder adquisitivo menor y por lo tanto por estadías mucho menores a las del turismo extranjero (López-López & Sánchez-Crispín, 2002).

El Corredor Turístico Loreto – Nopoló – Puerto Escondido (CTLNP) se localiza en el municipio de Loreto, a poco más de 300 km al norte de la ciudad de La Paz. El plan maestro de desarrollo fue creado simultáneamente al CTLC, sin embargo su construcción comenzó a mediados de los años ochenta. Desde sus inicios, el CTLNP contempló tres áreas principales: la zona urbana en la localidad de Loreto, zona turística en Nopoló y la zona portuaria en Puerto Escondido. Este corredor tuvo en sus inicios una fuerte inversión, el apoyo de varias rutas aeronáuticas así como la organización de festivales de tenis. Sin embargo, en la década de 1990, el corredor sufre una reducción de presupuesto por parte de FONATUR, disminución de rutas aeronáuticas y de los festivales de tenis, lo cual en conjunto provocó el estancamiento del desarrollo turístico en esta zona (De Sicilia Muñoz, 2000).

Esta industria en particular posee una fuerte dependencia hacia proveedores de bienes y servicios provenientes principalmente de Estados Unidos, por lo cual no aportan significativamente a la economía regional. La desvinculación de los desarrollos turísticos en Baja California Sur a lo largo de los últimos 50 años ha traído como consecuencia la aparición de desarrollos inmobiliarios que promueven la especulación y el bloqueo al acceso a espacios públicos como lo son las playas. Por otra parte, el modelo de centro

turístico favorece a los visitantes que utilizan vías directas de arribo a los corredores (rutas aéreas directas, vuelos *charter* y yates privados con pocas escalas a lo largo de costa oeste de la península), por lo cual la derrama económica tiene pocas ramificaciones y conexiones espaciales con el territorio fuera de los corredores (De Sicilia Muñoz, 2000; López-López & Sánchez-Crispín, 2002b, 2002a).

### **AGRICULTURA**

El modelo tradicional de agricultura de México ha sido el que se sustenta de subsidios y promoción del cultivo de granos (incremento artificial de la rentabilidad). Esta situación es volátil y hace vulnerable al sector agrícola debido a que los subsidios pueden desaparecer en cualquier momento (como ya sucedió en 1994). Por otra parte, los granos son el principal cultivo de B.C.S., sin embargo el excedente no se puede exportar, y no es competitivo en el mercado interno debido a que se produce en Jalisco, Nayarit y Sinaloa con costos mucho más bajos (pues son cultivos de temporal y hay menor costo de almacenamiento y traslado). Por otra parte, existen las nuevas condiciones del artículo 27 Constitucional que permiten la renta de parcelas a empresas privadas y legaliza la coinversión ejido-propiedad privada en toda la cadena productiva. Esta situación favorece a la empresa multinacional y le da ventajas competitivas muy superiores. Las empresas multinacionales han basado su modelo tecnológico en la dependencia a los insumos agrícolas, mano de obra barata (empleos mal remunerados y dirigido a migrantes) y comercialización altamente internacionalizada; cuyas ganancias no se reinvierten en el sector ni en la región además de que se caracteriza por agotar los recursos naturales (Urciaga-García, 2003)

Este sector presentó problemas de sequía desde los años 50, específicamente en el Valle de Santo Domingo, tiempo en el que se estableció la primera veda de perforación de pozos. En este valle se encuentra la única fuente de abastecimiento de agua en la región del Municipio de Comondú, la cual representa el principal centro productivo del Estado. Finalmente en la década de los noventa se logró disminuir el consumo de agua a través de acuerdos y medidas de capacitación e implementación de tecnologías de riego, proceso durante el cual se crearon los COTAS (Comité Técnico de Aguas Subterráneas). Pese a lo anterior aún existe descontrol en cuanto al aumento de pozos de extracción y regiones agrícolas críticas (Troyo-Diéguez et al., 2010).

### **PESCA**

Baja California Sur posee una industria pesquera importante que se posiciona entre las primeras cinco a nivel nacional en cuanto a su capacidad instalada y en cuanto al número de plantas dedicadas a la transformación de las especies y productos pesqueros. Se pueden distinguir cuatro regiones pesqueras: Zona Pacífico Norte, Zona Pacífico Centro, Zona Los Cabos y Zona Golfo. Estas cuatro regiones se caracterizan por la extracción de especies que representan distinto valor comercial y volumen (Ponce Díaz, Sánchez Hernández, & Ramírez Gomez, 2002).

De las 650 especies susceptibles a explotación, actualmente se aprovechan 122, entre ellas destacan por su volumen de producción la sardina, los túnidos y las almejas (en la Zona Pacífico Centro). Con alto valor comercial se explotan el abulón, la sardina y el camarón (en la zona Pacífico Norte). La Zona Los Cabos se distingue por la pesca deportiva asociada a las actividades turísticas y la Zona Golfo se caracteriza por recibir y distribuir la producción, así como por la captura de algunas especies de escama, de pesca deportiva y de calamar (Cortés-Ortiz, Ponce-Díaz, & Villa, 2006; Ponce Díaz et al., 2002).

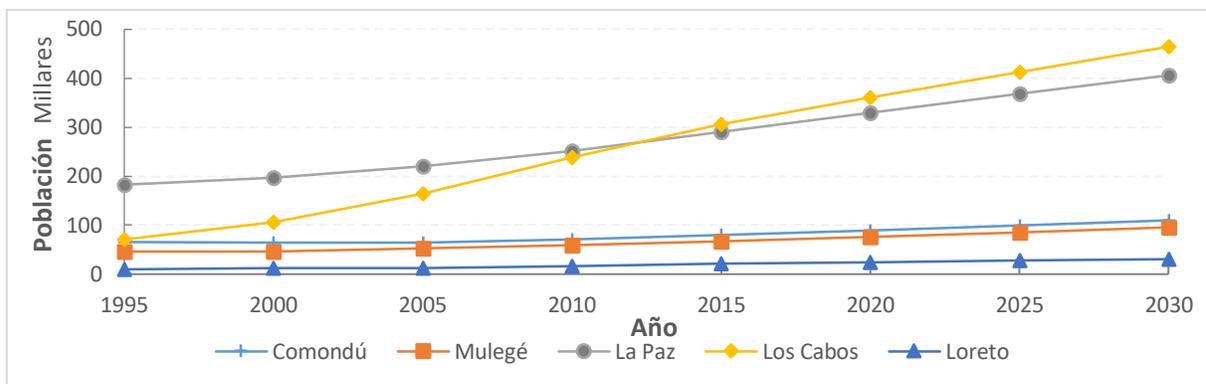


Figura 6. Población por municipio en el Estado de Baja California Sur (INEGI, 2014) y proyección de la población a 2030 (CONAPO, 2014)

Tabla 5. Infraestructura náutica identificada en el Estado de Baja California Sur.

Marinas	Puertos	Terminales	Otros
<ul style="list-style-type: none"> <li>Costa Baja (La Paz)</li> <li>San José del Cabo (Los Cabos)</li> <li>La Ribera (Los Cabos)</li> <li>San Bruno (La Salina, Mulegé)</li> <li>Nopoló (Loreto)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La Paz (La Paz)</li> <li>Pichilingue (La Paz)</li> <li>Puerto Escondido (Loreto)</li> <li>Cabo San Lucas (Los Cabos)</li> <li>Santa Rosal� (Mulegé)</li> <li>San Carlos (Comondú)</li> <li>Adolfo López Mateos (Comondú)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muelle Punta Prieta – Termoeléctrica (La Paz)</li> <li>Muelle San Juan de la Costa – Mina fosf�rica (La Paz)</li> <li>Muelle Mina El Boleo (Mulegé)</li> <li>Muelle Santa Mar� – de Transición, Mina El Boleo (Mulegé)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salina Guerrero Negro (Mulegé)</li> </ul>

## II.V. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS CLAVE IDENTIFICADOS DE ACUERDO AL MODELO CONCEPTUAL DPSIR-SPRC

Los elementos clave identificados gracias al análisis geomorfológico se detectaron elementos clave a considerar en el subsistema ambiental, éstos se presentan junto a los elementos clave del subsistema socioeconómico en la Figura 7.

Por su parte, la investigación documental arrojó que las principales actividades económicas de la zona costera de la PBC son el turismo, la pesca, la agricultura, la miner  y la industria maquiladora. Todos estos elementos antropogénicos que se identificaron en la zona costera se consideraron receptores potenciales dentro del modelo DPSIR-SPRC. Se determinó considerar el sector turístico existente en la pen sula como receptor en el análisis de riesgo en la zona costera, dada su importancia como motor para la econom  nacional y el crecimiento que ha presentado en los últimos 10 años en la región peninsular.

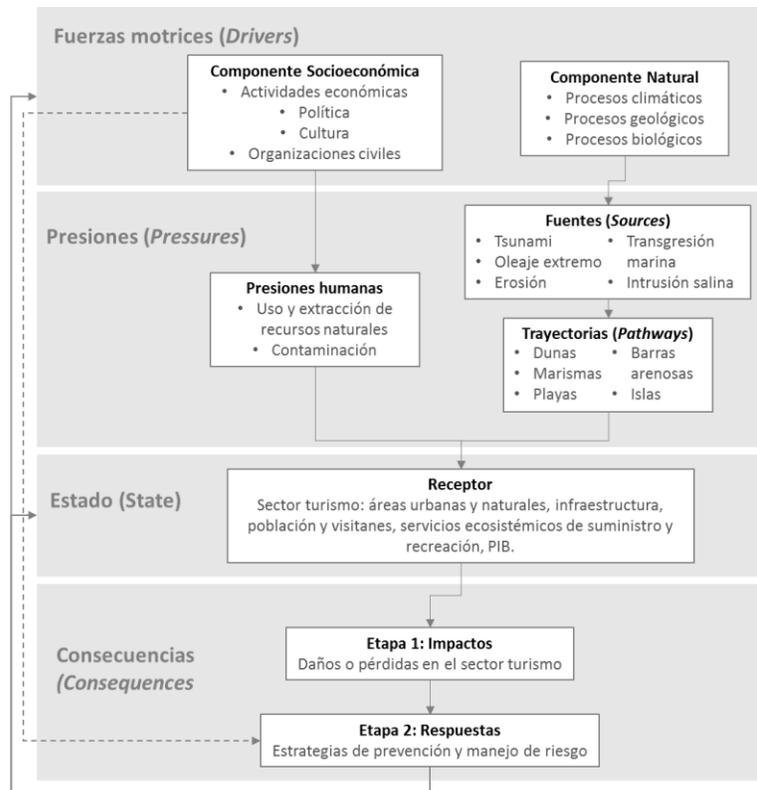


Figura 7. Análisis de riesgo asociado a variaciones del nivel del mar utilizando el marco conceptual integrado DPSIR-SPRC.

### III. EVALUACIÓN DE RIESGO

#### III.I. REGIONALIZACIÓN

##### III.I.I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Espejel & Bermúdez (2006) y Ortiz-Pérez & de la Lanza-Espino (2006) una regionalización se puede definir como la clasificación, descomposición o división territorial realizada en función de una homogeneidad genética, atributos geomorfológicos o características físicas permanentes. La regionalización tiene como resultado una composición de unidades espaciales equivalentes. El enfoque seguido para la presente regionalización es la que sugiere Ortiz & de la Lanza Espino (2006) la cual establece que ésta debe tener un carácter tipológico, referente a los arreglos y rasgos que se presentan repetidamente en una determinada región, de manera que se identifican espacios que guardan una homogeneidad interna relativa. Dicho enfoque coincide con lo planteado por el método de regionalización de Silva Casarín (2011) el cual se aplicó en la presente tesis.

##### III.I.II. ANTECEDENTES.

Existen algunas caracterizaciones de la línea costa a nivel nacional, entre ellas se encuentra la realizada por Silva Casarín et al. (2011) quienes toman como base la información generada por (Ortiz-Pérez & de la Lanza-Espino, 2006). A escala media, existen algunas regionalizaciones que se han diseñado para distintos programas planeación y de ordenamiento ecológico. Como estos últimos se encuentran las regionalizaciones creadas para el Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor Costero Tijuana-Rosarito-Ensenada, el Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California, el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California, el Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Pacífico Norte.

##### III.I.III. MÉTODOS

La regionalización se llevó a cabo siguiendo los lineamientos descritos por Silva Casarín et al. (2011) para escala regional, para generar un sistema de jerárquico en el cual se incluyan rasgos geomorfológicos y procesos. La información utilizada proviene de distintas fuentes como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), artículos científicos, libros sobre geomorfología de México, atlas, manuales, programas de planeación, entre otros. El análisis espacial se realizó a escala regional mediante el software ArcGIS 10.2.

##### III.I.IV. RESULTADOS

El enfoque desde el cual se abordó la regionalización, utiliza atributos geomorfológicos y permanentes del territorio, pero al estar orientado hacia la gestión de riesgos, integra los componentes del sistema que bajo determinadas circunstancias generan estados de peligro. Una forma de organizar dichos componentes se presenta la Tabla 6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la cual se establece una jerarquía dentro del sistema ambiental. Los criterios de la primera columna determinan las características físicas más importantes del territorio, como son la geología, el clima, las cuencas hidrográficas y la topografía en la costa. En segundo orden se encuentran los procesos que actúan sobre el territorio de acuerdo a las características de primer orden y que bajo ciertas circunstancias pueden generar peligros. Por ejemplo, el clima determina qué procesos hidrometeorológicos existen en una región, la geología y la topografía determinarán los lugares donde se presentará la mayor cantidad de sismos así como su intensidad, etcétera.

Tabla 6. Criterios de regionalización para zonas costeras.

Características físicas del territorio	Fuentes de peligro
<b>Geología</b>	<b>Procesos hidrometeorológicos</b>
<b>Clima</b>	Huracanes
<b>Cuencas hidrográficas</b>	Frentes fríos
<b>Topografía y batimetría</b>	<b>Procesos geológicos</b>
	Sismos
	Tsunami
	<b>Procesos oceanográficos</b>
	Oleaje
	Marea

De acuerdo con algunos de los criterios de la Tabla 6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se regionalizó la costa de la península utilizando cinco criterios de primer orden (vertiente, región hidrológica, clima, tipo de roca y procesos tectónicos) y uno de segundo orden (proceso oceanográfico dominante) a partir de información documental disponible. A continuación se presenta una descripción a detalle de los cinco criterios elegidos para regionalizar la PBC.

#### a. DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS DE REGIONALIZACIÓN EN LA PBC

##### VERTIENTES Y REGIONES HIDROLÓGICAS

##### CLIMAS

Las regiones climáticas descritas en Vidal Zepeda (2005) son las que se publicaron en el Atlas Nacional de México (1989), en el cual se reconocen 11 regiones geográficas en el país de acuerdo a las características fisiográficas que actúan como barreras climáticas. Se utilizó el sistema de clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García en 1964 para adaptarlo a México. De acuerdo con este trabajo, en la Península de Baja California existen tres regiones climáticas: 1) Noroeste (en la vertiente oeste), 2) Golfo de California (en la vertiente este) y 3) Pacífico Central (en el extremo sureste).

La información contenida en la Figura 8 y Figura 9 es la publicada por INEGI y está basada en la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García para adaptarlo a México. Al igual que la regionalización de Vidal (2005) toma en cuenta la presencia de fenómenos como la canícula, sequía interestival, heladas y vientos dominantes, déficit de agua, evapotranspiración real media anual, y balance de agua por cuenca, por lo tanto es equivalente a nivel general pero presenta mayor detalle espacial. A continuación se describen las unidades climáticas definidas por INEGI (2008) en cada una de las regiones climáticas de acuerdo con Vidal (2005):

### REGIÓN NOROESTE

Se delimita al norte por la frontera con Estados Unidos, al sur por el paralelo 26°30' N y al este por la cadena montañosa de la península. El clima de esta región se encuentra influenciado por el centro subtropical de alta presión Pacífico Septentrional del Océano Pacífico y de manera indirecta por el centro de alta presión Bermuda-Azores del Océano Atlántico (ambos ubicados a una latitud aproximada de 30°N). La mayor parte del año la precipitación es escasa y se debe a que dominan vientos del noroeste (continentales y secos) que descienden por las laderas de las sierras y se calientan adiabáticamente; además la corriente marina fría de California estabiliza el aire cerca de la costa provocando veranos muy secos (con precipitación menor a los 4mm o nula) aunque los ciclones tropicales originados en el Pacífico introducen humedad que provocan un aumento en la precipitación en las sierras. A partir de octubre los centros de baja presión se desplazan hacia el sur y comienzan a dominar los vientos del oeste con dirección O-E o bien SO-NE, a lo cual se asocian algunas tormentas ciclónicas extratropicales provenientes del Pacífico Norte. Los vientos del oeste ascienden por las laderas occidentales de la cadena montañosa enfriándose adiabáticamente y provocando nieve. Por otra parte, existe influencia de las vaguadas polares que se extienden hacia el sur y cuya inestabilidad origina precipitación al final del invierno. La temporada lluviosa comienza en noviembre, las partes bajas reciben entre 4 y 8 mm de lluvia, mientras que las sierras (de Juárez y San Pedro Mártir) reciben más de 32mm. En diciembre estos números aumentan a 16mm para las zonas bajas y a más de 64mm para las sierras. La precipitación va disminuyendo en los siguientes meses hasta marzo, momento en que la parte norte de la región presenta su menor precipitación.

### REGIÓN GOLFO DE CALIFORNIA:

La parte de esta región que correspondiente a la PBC se extiende desde las laderas orientales de la cadena montañosa en el extremo norte hasta la parte suroeste de la misma. Al igual que la región Noroeste, esta zona se ve influenciada por los centros subtropicales de alta presión y dominan corrientes de aire descendentes y estables. Durante el verano existe la influencia del monzón mexicano o monzón de Norteamérica que introduce humedad en esta zona. En invierno la zona subtropical de alta presión se desplaza hacia el sur y dominan los vientos del oeste que propicia la entrada de los ciclones extratropicales más fuertes provenientes del Pacífico norte. La precipitación anual es escasa en la mayor parte de la península (no alcanza los 400mm), sin embargo existen zonas al noreste de la península como el Valle de Mexicali, en donde se registra menos de 50mm al año; la temporada de lluvias se presenta de septiembre a marzo. Los tipos de climas en esta región se deben tanto al relieve como a la circulación atmosférica y es muy seco cálido (BW(h')h) en las zonas adyacentes a la costa del Golfo de California. Al aumentar la altitud, los climas pasan a semicálidos (BW h) y templados (BWk) en las laderas occidentales de las sierras. Un gradiente similar se presenta en las laderas y llanuras hacia el Océano Pacífico.

### REGIÓN PACÍFICO CENTRAL

En la península, esta región comprende únicamente el extremo sureste donde se localizan las sierras de San Lázaro, La Laguna y La Trinidad, y la llanura costera que existe desde Bahía de la Paz hasta San José del Cabo. La temporada de lluvias se presenta en esta zona en agosto y septiembre lo cual coincide con las temperaturas más altas del año, al año se perciben alrededor de 250mm. Los vientos alisios que llegan a esta zona se han estabilizado al cruzar el Golfo de California y por lo tanto introducen poca humedad a la costa de la península. El clima varía entre muy seco, seco y cálido y semicálido (BW(h')hw(x'), BW h w, BS0 h w, BS0(h') h w, BS0 h w(w)) hasta una altitud de 300 o 400m y semiseco en las laderas de las sierras (BS1 h w); además existe una franja angosta en la llanura costera en el extremo sur con clima muy seco y muy cálido (BW(h')w). En las zonas más altas de las sierras, se registra clima templado subhúmedo (C(w0) y C(w1)).

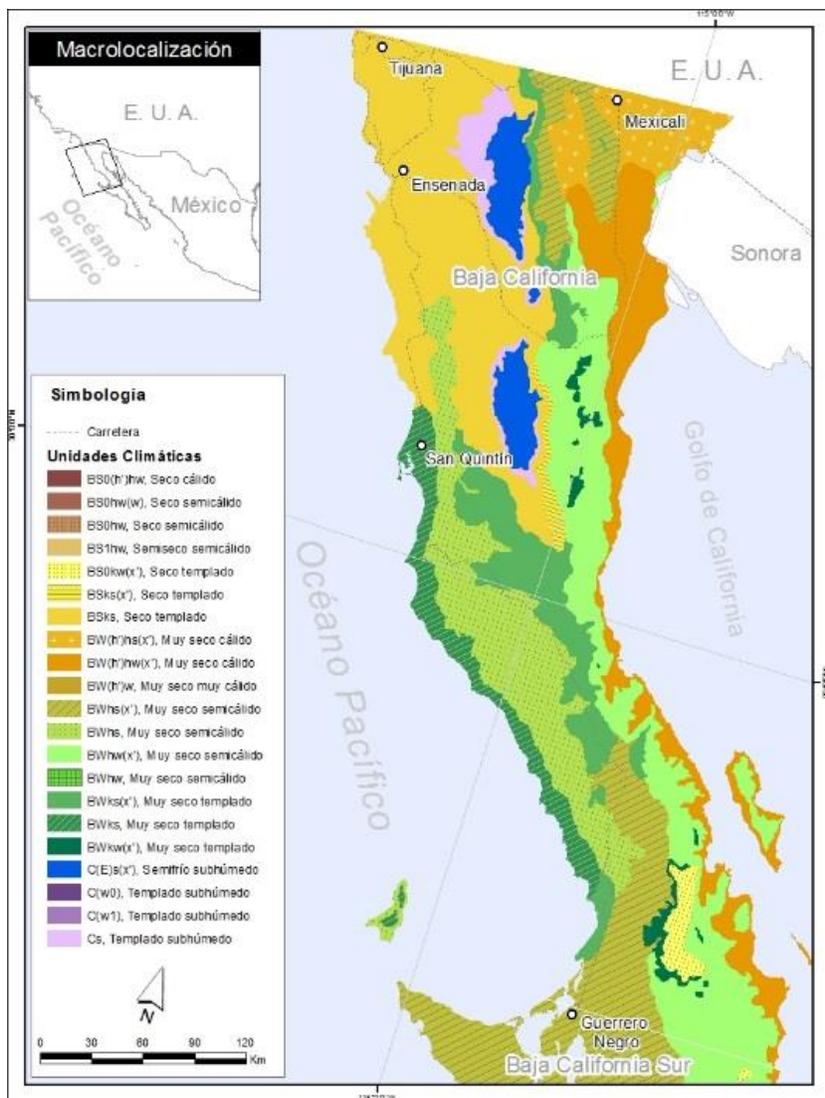


Figura 8. Unidades Climáticas del Estado de Baja California. Elaboración propia a partir de INEGI (2008).

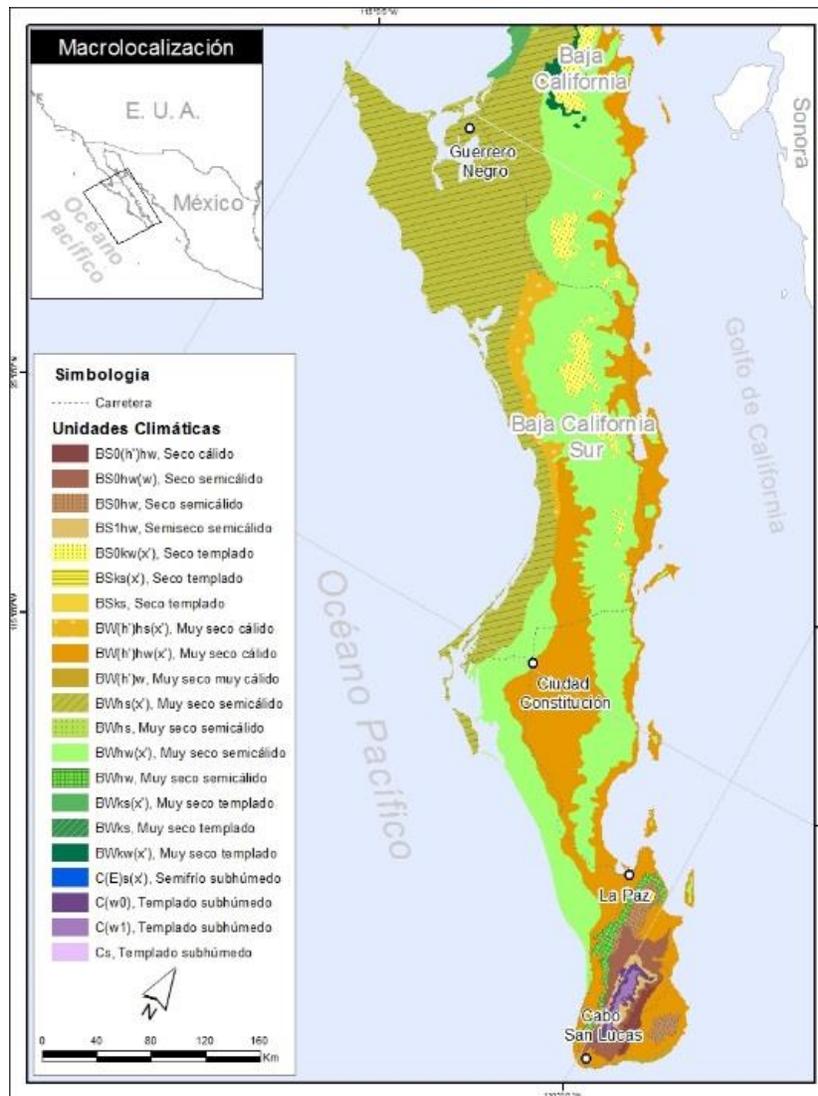


Figura 9. Unidades Climáticas del Estado de Baja California Sur. Elaboración propia a partir de INEGI (2008).

#### TIPO DE ROCA Y PROCESOS TECTÓNICOS

##### HISTORIA GEOLÓGICO-TECTÓNICA DE LA PENÍNSULA Y SU ZONA COSTERA

El origen y evolución de la Península de Baja California se explica mediante diversas teorías que se fundamentan en los procesos tectónicos que se remontan a aproximadamente 200 Ma. Evidencia de lo anterior existe en distintas regiones del territorio peninsular, que de acuerdo a Morán-Zenteno (1985) se pueden clasificar o delimitar por tres cinturones preterciarios orientados paralelamente a la forma elongada de la península. Estos cinturones presentan características que indican que aún durante el Terciario tardío, el Golfo de California todavía no existía y la península formaba parte del bloque continental (Helenes & Carreño, 1999). Si bien existen distintas hipótesis en cuanto a la forma en que los procesos dieron origen a la actual península, a continuación se presenta un resumen de la historia geológica a grandes rasgos; una discusión más profunda acerca de las teorías que existen la realiza Seldok (2003).

Se cree que una vez que la placa de Norteamérica se disgregó del supercontinente denominado Pangea a principios del Mesozoico, comenzó a desplazarse hacia el oeste a la vez que en su margen occidental

persistía una unión triple entre las placas de Kula, Pacífico y Farallón. Lo anterior pudo haber generado una zona de subducción y un arco magmático que a su vez producía volcanes y plutones; durante este proceso, la placa de Farallón fue subducida bajo la placa Norteamericana (Flores, 1998; Valencia-Moreno & Ortega-Rivera, 2011).

Cerca del Cretácico Temprano el arco magmático se cree que evolucionó a un complejo de dos arcos denominado complejo San Andrés-Cedros. Uno de estos arcos se asocia a una trinchera intraoceánica y el otro a una trinchera del borde del cratón. Posteriormente, la presión ejercida por la zona de subducción ocasionó que una porción del magma del complejo de arcos se elevara mientras que otra parte se enfriara a profundidad, dando origen a grandes intrusiones graníticas que conformarían un batolito de roca ígnea intrusiva. El cinturón volcánico asociado al borde del cratón formaba una profunda trinchera que se mantuvo con actividad hacia finales del Cretácico, mientras que la erosión y el transporte de litoral, así como los procesos de subducción y plegamiento convirtieron el material volcánico en grandes cuencas sedimentarias y afloramientos (Flores, 1998; Morán-Zenteno, 1985).

Es probable que hace 70 a 50 Ma, esta zona de subducción se movilizara hacia el este, provocando su hundimiento y al mismo tiempo una mayor convergencia entre las placas de Farallón y Norteamericana. Esto podría haber disminuido el ángulo de descenso de la placa de Farallón y el levantamiento de la región de Vizcaíno. Más tarde durante el Paleoceno hasta el Oligoceno, la porción continental oeste sufrió cambios gracias a las lluvias tropicales que transformaron las montañas volcánicas en extensas llanuras. En este tiempo fluían grandes ríos desde Arizona que depositaban su carga sobre la plataforma continental que posteriormente conformaría la península (Flores, 1998).

Se calcula que hace aproximadamente 30 Ma, la colisión de la dorsal Pacífico-Farallón con la zona de subducción dio origen a las placas menores de Cocos y de San Juan de Fuca, a la vez que se inducía un cambio en la dirección de desplazamiento de la placa del Pacífico. Dicho cambio pudo haber continuado durante unos 6 Ma hasta adquirir una dirección paralela a la de la placa Norteamericana. Es posible que lo anterior generara una falla de desplazamiento de rumbo dextral en el continente, con una orientación noroeste-sureste. A esta falla se le denomina Falla de San Andrés, la cual posteriormente se expandió en su porción norte, transformando la zona convergente en una margen pasiva y dando lugar al sistema de fallas del mismo nombre. A finales del Oligoceno existió un arco volcánico en la Sierra Madre Occidental que probablemente migró hacia el oeste, hasta llegar al este del actual territorio de Baja California Sur hace alrededor de 24 Ma. Dicho vulcanismo dio origen a las formaciones de Isidro y Comondú. A su vez se produjo un calentamiento en la corteza y un levantamiento del oeste de México, incluyendo la plataforma de la península (Flores, 1998; Morán-Zenteno, 1985).

Cuando cesó la actividad volcánica y el proceso de subducción (hace aproximadamente 12.5 Ma), la placa del Pacífico rotó en dirección paralela a la península produciendo una falla entre ambas placas. A esta última se le conoce como Falla Tosco-Abreojos. Posteriormente, el movimiento de la placa del Pacífico en dirección noroeste posiblemente generó una zona de grabens en la actual zona del Golfo de California, creándose así un proto-golfo. Hace 5 Ma la unión triple de placas se desplazó hacia el este, obligando a la península a moverse sobre la placa del Pacífico. Aproximadamente 2 Ma después, la mayor parte de los movimientos entre las placas del Pacífico y Norteamérica se transfirieron de la Falla Tosco-Abreojos al centro del proto-Golfo, por lo que la Falla de San Andrés empezó a actuar como frontera continental. Lo anterior provocó la ruptura del continente y la apertura del Golfo de California, así como la orientación suroeste de bloques fallados que conforman actualmente a las principales cordilleras de la península. Por otra parte, los ríos

ubicados en el continente que anteriormente desembocaban en el Pacífico ahora se dirigieron hacia el Golfo de California (Flores, 1998).

Actualmente el límite oriental de la placa del Pacífico se ha desplazado hacia el oeste y se manifiesta de forma latitudinalmente heterogénea; al norte se manifiesta con fallas transformantes con orientación noroeste que se comunican con la Falla de San Andrés en la parte continental (Flores, 1998). Dichas fallas provocan un efecto denominado “pull-apart”, el cual genera estructuras geológicas conocidas como “cuencas de tracción” que se pueden encontrar en las costas adyacentes al delta del Río Colorado. En la zona central y sur del Golfo de California, las condiciones tectónicas responden al proceso de apertura del golfo. Las fallas transcurrentes y la generación de piso oceánico provocan una deformación de la costa oriental de la PBC (en algunas áreas hay levantamientos y en otras subsidencia) propiciando su geomorfología escarpada e irregular (evidencia de ello es la presencia de las Islas del Golfo). Por su parte, en la costa noroccidental de la PBC se observa levantamiento a través de las terrazas marinas generadas recientemente durante el Cuaternario; estas estructuras geológicas cambian a partir de la Falla de Agua Blanca, lo cual sugiere condiciones tectónicas distintas hacia el sur de la misma (M.A. Ortiz, comunicación personal, 24 de septiembre de 2015). La costa suroccidental se caracteriza por subsidencia como resultado de un proceso de basculamiento tectónico, pues el bloque de la formación litoestratigráfica Comondú se encuentra inclinado hacia su margen occidental (en la costa del Pacífico) la cual actualmente se hunde. Este comportamiento se presenta en casi toda la costa suroccidental a excepción de la porción correspondiente al Bloque Tectónico de Cabo San Lucas. Las largas y extensas islas en barrera de playas bajas, planicies de inundación, campos de dunas y salitrales de relieve bajo son evidencia del proceso de subsidencia de esta porción de la costa (Ortíz-Pérez & de la Lanza-Espino, 2006).

Además de los procesos geológicos, existen fenómenos climáticos y oceanográficos que dan forma a la costa, los cuales interactúan en una escala de tiempo muy amplia que va desde horas hasta miles de años (Davidson-Arnott, 2005; de la Lanza-Espino & Cáceres-Martínez, 1994).

#### **NIVEL MEDIO DEL MAR**

Al igual que en el resto del mundo, las costas de la península han sido influenciadas por los cambios en el volumen de las capas de hielo desde el Cuaternario. En la etapa interglacial más cálida el nivel del mar se encontraba entre 2 y 3 m por encima del nivel actual; mientras que en el punto máximo de la última glaciación (Wisconsiniana) el nivel del mar oscilaba entre los 110 y 130 m debajo del nivel actual. Posteriormente, durante el Holoceno el nivel del mar empezó a aumentar rápidamente, pero el ritmo de ascenso se desaceleró hace 4 000 a 6 000 años, momento en el que se calcula que el nivel se incrementó en menos de 5 m. Hoy el nivel del mar continúa en ascenso aunque a una tasa menor, por lo cual las costas actuales se consideran relativamente jóvenes y presentan un proceso de ajuste a la transgresión asociada a dicho aumento (Davidson-Arnott, 2005; de la Lanza-Espino & Cáceres-Martínez, 1994).

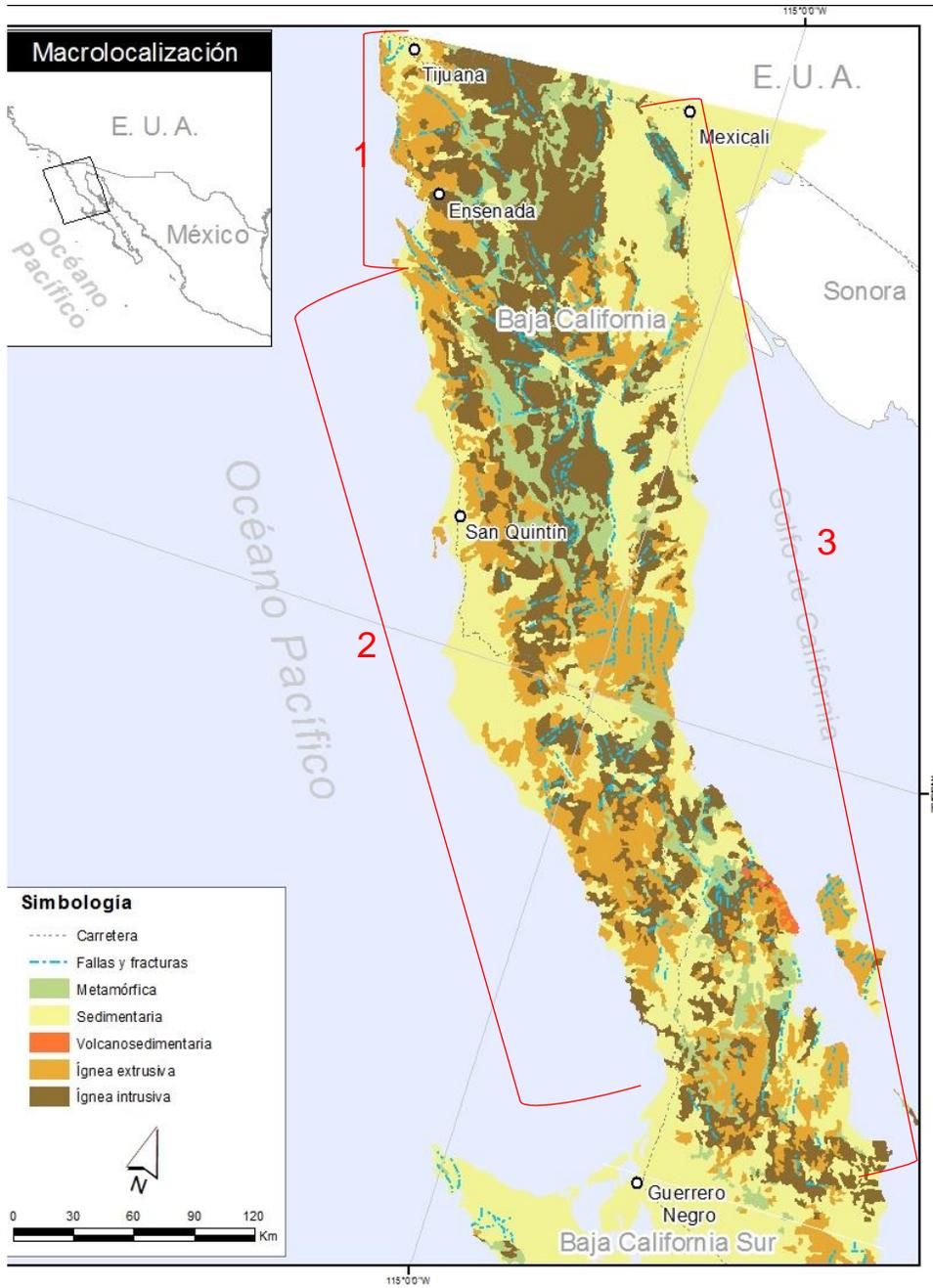


Figura 10. Tipo de roca del Estado de Baja California. Elaboración propia a partir de INEGI (2005).

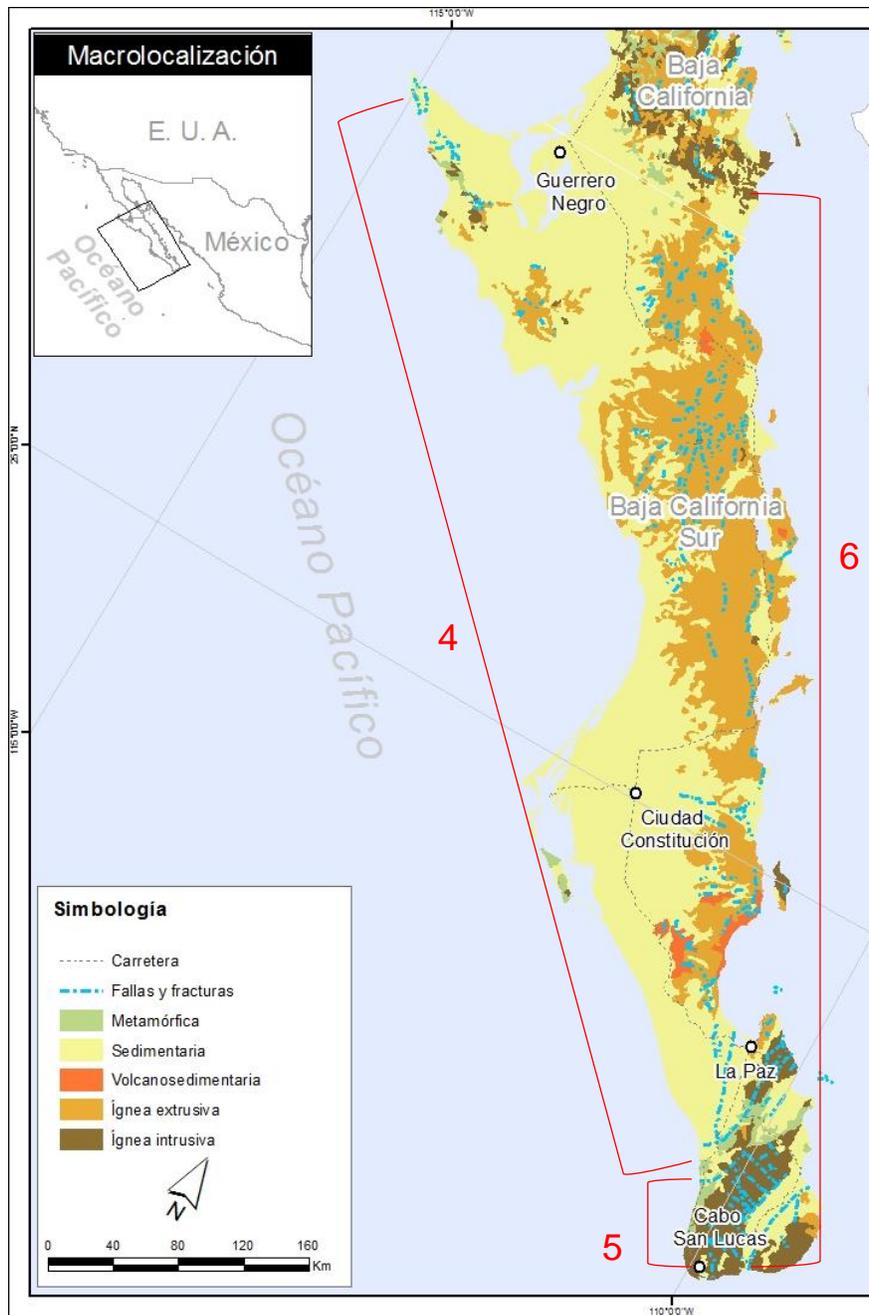


Figura 11. Tipo de roca del Estado de Baja California Sur. Elaboración propia a partir de INEGI (2005).

#### DESCRIPCIÓN DEL RÉGIMEN OCEANOGRÁFICO

##### PACÍFICO SUD-CALIFORNIANO

En las costas del Pacífico predominan rocas magmáticas antiguas y volcánicas, hacia el sur existen depósitos de aluvión, médanos y salitrales; también se encuentran costas con dunas debido a la acumulación, promontorios y terrazas elevadas erosionadas por el oleaje así como islas de barrera (Ortiz Perez, 2005). En la Figura 12 se muestra la clasificación de rocas que conforman la PBC.

Se localizan distintos tipos de hábitats como acantilados, playas y plataformas rocosas, lagunas costeras, ambientes insulares, mantos de macroalgas y pastos marinos, además de algunos manglares en el extremo sur.

Esta es una zona importante para la reproducción, alimentación y crianza de aves migratorias, tortugas marinas, ballena gris, sardina, langosta, abulón, entre otros, pues además de mantener ecosistemas de macroalgas, posee surgencias marinas que hacen de esta zona una de las más ricas del país en producción primaria.

La hidrodinámica de la costa del Pacífico está dominada por el Sistema de la Corriente de California (SCC) el cual consiste en un sistema de corrientes limítrofe al este del Océano Pacífico. Se alimenta de la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (The West Wind Drift), que al llegar a la costa (a los 45°N) se bifurca dando lugar al Sistema de Corrientes de Alaska y al SCC (CICESE, 2011). Por lo tanto, el SCC transporta Agua Subártica (ASA) hacia el sur, a la vez que cerca de la superficie confluye con el Agua Tropical Superficial (ATS) y el Agua Subtropical Superficial (ASTS) provenientes del sur y suroeste de la península. Como parte de este sistema de corrientes existe la Contracorriente de California (CCC) debajo de la superficie (de 100 a 400 m de profundidad) llevando un flujo de Agua Ecuatorial Subsuperficial con dirección hacia el polo; mientras que a más de 500 m de profundidad se encuentra Agua Intermedia del Pacífico (AIP) que se hunde en el Pacífico norte (Gaxiola-Castro and Durazo 2010). Estacionalmente, existen cambios en el flujo superficial cercano a la costa, presentando contracorrientes con dirección al polo y surgencias de amplitud variable (Lluch-Belda, Lluch-Cota, & Lluch-Cota, 2003).

#### **GOLFO DE CALIFORNIA**

La costa del Golfo de California se caracteriza por una plataforma continental estrecha o ausente, rocas ígneas intrusivas y extrusivas a excepción de la zona norte, donde hay una gran acumulación de sedimentos provenientes del delta del Río Colorado, los cuales generan extensos campos de dunas (Ortiz Perez, 2005) (ver Figura 1).

El Golfo de California es un mar marginal de aproximadamente 180 km de ancho y 1,100 km de largo, con una profundidad máxima de 3,600 m en la boca. (García Silva & Marinone, 2000). Presenta una compleja topografía del fondo marino, configurada por valles, cañones submarinos y ventilas hidrotermales, (INECOL, 2004).

En las costas del Golfo de California la dinámica está asociada a los vientos, mareas y radiación solar. El viento fluye del NW durante el invierno y de SE en verano e induce una circulación superficial y a gran escala. La marea por su parte puede generar corrientes de gran magnitud en algunas regiones, su amplitud puede alcanzar hasta 2 m, sin embargo en combinación con otros componentes puede elevarse hasta 5 m (Figura 12).

En conjunto, el régimen de vientos, mareas y las características topográficas juegan un papel importante en la circulación y surgencias del Golfo de California (García Silva & Marinone, 2000; Vázquez Figueroa *et al.*, 2009).

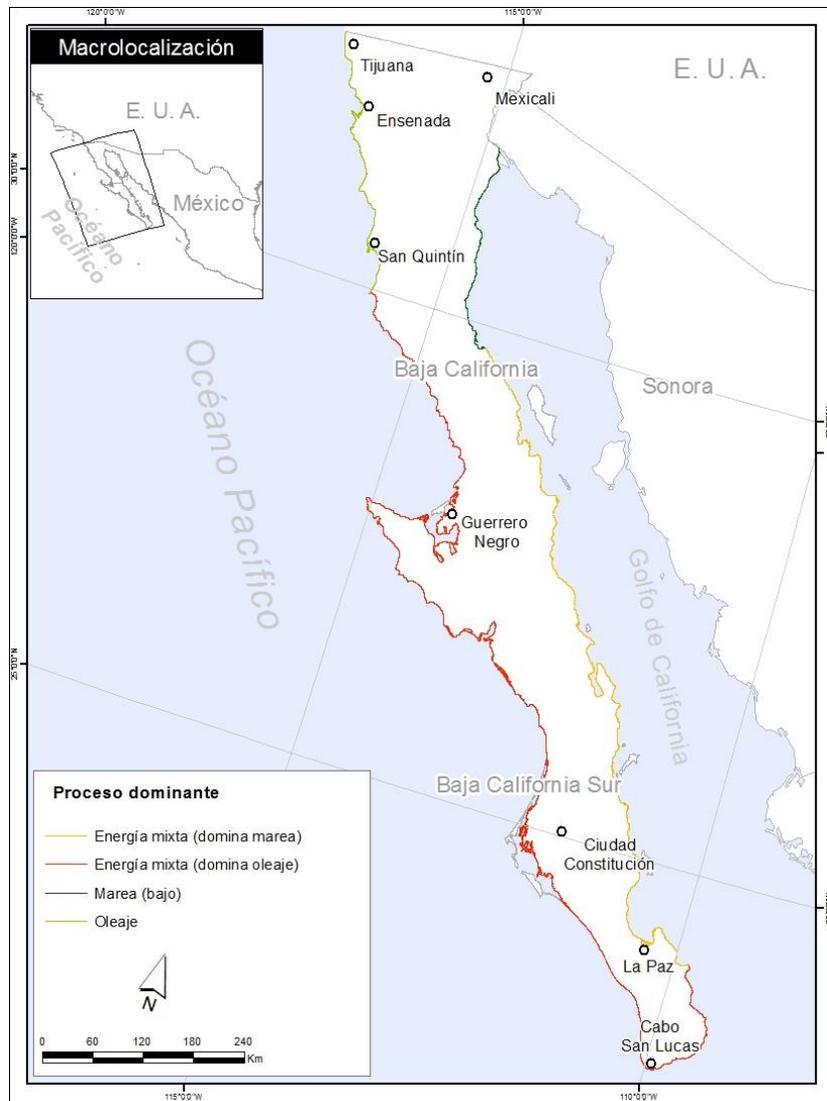


Figura 12. Proceso oceanográfico dominante. Elaboración propia a partir de información de Silva et al (2014).

### b. REGIONALIZACIÓN

Los primeros tres niveles del sistema permiten identificar en la zona costera dos de los gradientes que caracterizan a la PBC. De este a oeste se divide por sus vertientes y cuencas hidrológicas que drenan hacia el Océano Pacífico, hacia el Golfo de California, o hacia la zona de transición entre ambas. El clima (cuyas variaciones longitudinales se rigen por el relieve), marca también variaciones latitudinales que van desde el clima seco templado al norte hasta muy seco muy cálido en el extremo sur (ver Tabla 7).

Tabla 7. Sistema de regionalización para la zona costera de la Península de Baja California.

Vertiente	Región hidrológica	Clima	Tipo de roca	Tectónica	Proceso oceanográfico dominante
<b>1.Pacífico</b>	1.RH01	1.Seco templado	1.Sedimentaria	1.Zona de levantamientos	1.Oleaje
<b>2.Transición</b>	2.RH02	2.Muy seco templado	2.Ígnea extrusiva	2.Zona de subsidencia	2.Marea
<b>3.Golfo de California</b>	3.RH03	3.Muy seco semicálido	3.Ígnea intrusiva	3.Bloque tectónico de Cabo San Lucas	3.Energía mixta (domina oleaje)
	4.RH04	4.Muy seco cálido	4.Mixta (ígnea extrusiva y sedimentaria)	4.Zona de fallas transcurrentes	4.Energía mixta (domina marea)
	5.RH05	5.Muy seco muy cálido	5.Mixta (ígnea intrusiva y sedimentaria)	5.Zona de fallas transformantes	
	6.RH06		6.Mixta (volcánica, ígnea y sedimentaria) 7.Mixta (ígnea y metamórfica)		

En cuanto al tipo de roca, se pueden encontrar siete tipos: sedimentaria, ígnea extrusiva, ígnea intrusiva, mixta (ígnea extrusiva y sedimentaria), mixta (ígnea intrusiva y sedimentaria), mixta (volcánica, ígnea y sedimentaria) y mixta (ígnea y metamórfica).

El siguiente nivel en el sistema corresponde a las características tectónicas las cuales responden al proceso de apertura del Golfo de California y al sistema de fallas que existen entre la placa del Pacífico y la placa de Norteamérica; de manera que se pueden identificar 5 zonas: de levantamientos, de subsidencia, el bloque tectónico de Cabo San Lucas, de fallas transcurrentes y de fallas transformantes. Finalmente, el proceso oceanográfico dominante es el único criterio de segundo orden que se incluye en el presente sistema y divide la costa de acuerdo al tipo de energía que actúa sobre ella (oleaje, marea o mixto).

La combinación de estos cinco niveles de clasificación da como resultado una línea de costa dividida en 23 unidades (Figura 13 y Figura 14). La nomenclatura de las unidades permite identificar los atributos del sistema de clasificación (Tabla 7). Esta división de la línea de costa permite delimitar las áreas que si bien presentan tipos de costa y procesos más específicos, poseen atributos que rigen dichas singularidades y que posteriormente se pueden añadir al sistema de clasificación a modo de niveles (lo cual aumentaría consecuentemente el número de unidades ambientales).

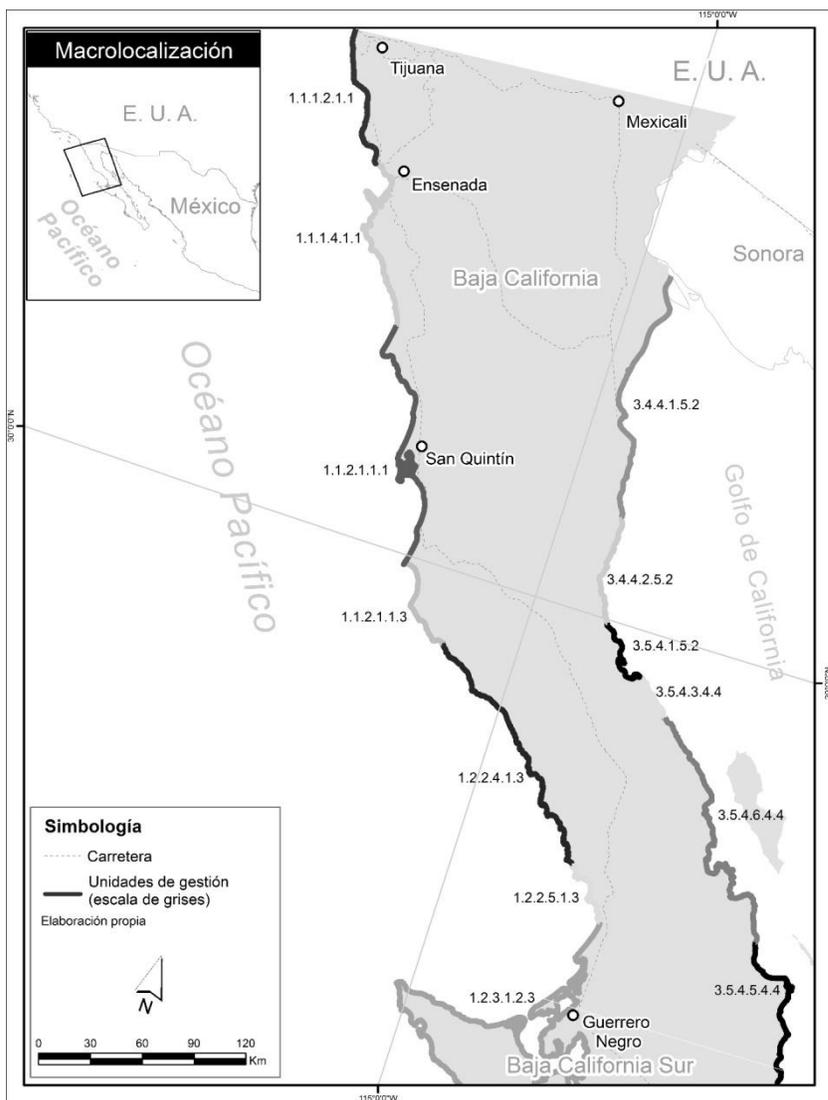


Figura 13. Unidades ambientales costeras de Baja California.

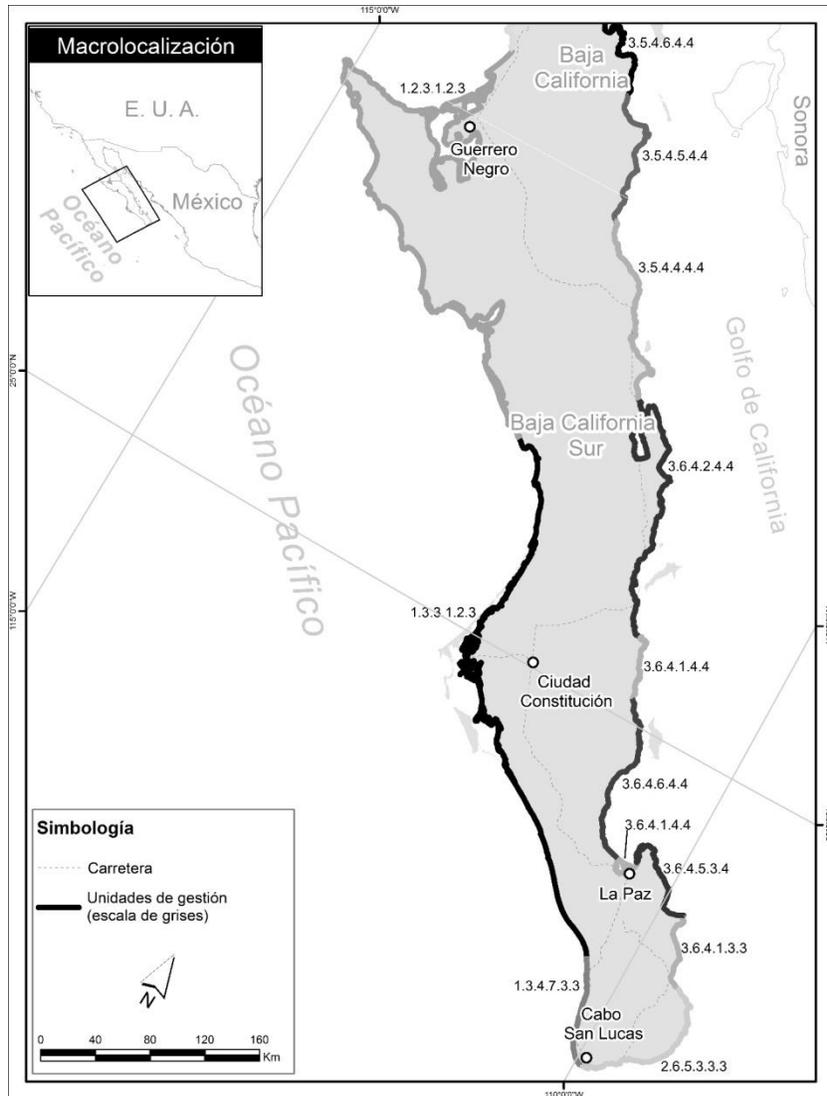


Figura 14. Unidades ambientales costeras de Baja California Sur.

### C. DESCRIPCIÓN UNIDADES AMBIENTALES

#### UNIDAD 1.1.1.2.1.1

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 01 (1), Clima Seco Templado (1), Roca ígnea extrusiva (2), Zona de levantamientos tectónicos (1), Proceso dominante: Oleaje (1).

Esta unidad abarca la zona costera de los Municipios de Tijuana (con más de 1.5 millones de habitantes) y Playas de Rosarito (con menos de 100 mil habitantes), así como la porción norte de Ensenada en el Estado de Baja California. Posee 42 compartimentos que en su mayoría conforman playas abiertas y algunas puntas. Predominan los cantiles, aunque en algunas secciones existen playas arenosas como en el Municipio de Rosarito en el cual también se encuentra un campo de dunas transgresivas de aproximadamente 2km de longitud. Sobre la línea de costa se ubican las localidades urbanas de Playas de Tijuana en la cual se encuentran pequeñas obras de protección costera y Playas de Rosarito en la cual se ubica una planta termoeléctrica sobre la línea de costa, así como una marina.

#### UNIDAD 1.1.1.4.1.1

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 01 (1), Clima Seco Templado (1), Roca Mixta (ígnea extrusiva y sedimentaria) (4), Zona de levantamientos tectónicos (1), Proceso dominante: Oleaje (1).

Se ubica en la costa noroeste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Posee 47 compartimentos que configuran una variedad de geoformas que van desde una bahía, playas abiertas, puntas y pequeñas radas. El rasgo más importante de esta unidad es Punta Banda, la cual da forma a la Bahía de Todos Santos, así como a la laguna costera denominada Estero de Punta Banda. Predominan los cantiles y las playas de canto rodado, con porciones de playa dentro de la Bahía de Todos Santos y playas de bolsillo hacia el sur de la misma. Dentro de la bahía se encuentran campos de dunas transgresivas de una longitud aproximada de 6 km pero limitadas por el desarrollo urbano, mientras que en la porción sur de esta unidad existen pequeñas dunas estrechas y un campo de dunas parabólicas que no exceden los 2 km de longitud. Sobre la línea de costa se ubican la localidad urbana de Ensenada en la cual se encuentra un puerto de altura y distintas estructuras de protección costera, y las localidades rurales de Maneadero y Eréndira hacia el sur.

#### UNIDAD 1.1.2.1.1.1

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 01 (1), Clima Muy Seco Templado (2), Roca Sedimentaria (1), Zona de levantamientos tectónicos (1), Proceso dominante: Oleaje (1).

Se ubica al noroeste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. La componen 51 compartimentos que en gran parte de la costa configuran playas abiertas, a excepción de las dos mayores puntas que delimitan esta unidad, y la Bahía de San Quintín al centro de la misma. La Bahía de San Quintín presenta formas sinuosas en su interior y un largo cordón litoral que la resguarda. Dentro de la bahía y en las playas adyacentes predominan playas arenosas, con campos de dunas de tipo parabólica y transgresivas, mientras que en el resto de la costa existen cantiles (en Punta Colonet, al norte) y playas mixtas al sur de San Quintín (rocosas, cantos rodados y playas de bolsillo). Las localidades que se encuentran en esta unidad son Camalú, Colonet y San Quintín; todas son de tipo rural y con una gran actividad agrícola.

#### UNIDAD 1.1.2.1.1.3

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 01 (1), Clima Muy Seco Templado (2), Roca Sedimentaria (1), Zona de levantamientos tectónicos (1), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Se localiza en la porción media, en la costa oeste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Se compone de 12 compartimentos que forman playas abiertas con cantiles. En esta unidad no se encontraron asentamientos importantes sobre la línea de costa, sin embargo las localidades más cercanas son El Rosario, San Fernando, San Antonio y San Carlos.

#### UNIDAD 1.2.2.4.1.3

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 02 (2), Clima Muy Seco Templado (2), Roca mixta (ígneas intrusiva y sedimentaria) (4), Zona de levantamientos tectónicos (1), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Esta unidad se ubica al sur de la costa oeste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. La conforman 58 compartimentos que dibujan una costa heterogénea con playas abiertas, puntas, radas, y una laguna costera y un delta en la desembocadura del arroyo San José. En la mitad norte de la unidad, predominan los cantiles y puntas rocosas aunque también existe una cantidad limitada de pequeñas dunas transgresivas, mientras en la mitad sur abundan las playas arenosas y las dunas transgresivas. Existe una población muy limitada en las localidades de El Cardón, Puerto Faro San José y Puerto Canoas.

#### UNIDAD 1.2.2.5.1.3

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 02 (2), Clima Muy Seco Templado (2), Roca mixta (ígneas intrusiva y sedimentaria) (5), Zona de levantamientos tectónicos (1), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Se localiza al sur de la costa oeste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Se conforma de 6 compartimentos que configuran playas abiertas y una rada delimitada por Punta Santa Rosalíita al norte y Punta Rosarito al sur. Al norte de la rada se hallan cantiles y campo de dunas transgresivas de aproximadamente 6 km de longitud, mientras que en el resto de la costa existen playas de cantos rodados exceptuando la porción protegida de Punta Santa Rosalíita que presenta playas arenosas. En la localidad de Santa Rosalíita habita una población menos a 200 personas y posee un puerto que se encuentra en desuso debido a un intenso azolve.

#### UNIDAD 1.2.3.1.2.3

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 02 (2), Clima Muy Seco Semicálido (3), Roca Sedimentaria (1), Zona de subsidencia tectónica (2), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Esta unidad se ubica en la costa oeste el Municipio de Mulegé (con menos de 60 mil habitantes) y la porción norte del Municipio de Comondú (con cerca de 75 mil habitantes), Baja California Sur. La costa configura la península de Vizcaíno, la cual en su porción norte protege a la Bahía Ojo de Liebre (con una superficie cercana a 80 mil hectáreas), mientras que al sur presenta extensiones de playas abiertas, una segunda bahía (Bahía San Ignacio) de menores proporciones que la primera y finalmente pequeñas lagunas costeras adyacentes a esta bahía. Esta línea de costa se puede segmentar en 110 compartimentos, los cuales en su mayoría presentan playas arenosas, solo en las playas al sur de Punta Eugenia hasta Punta Asunción existen cantiles y puntas rocosas. En todas las playas arenosas se presentan extensos campos de dunas de diversos tipos (transgresivas, cordones de dunas, barcanes y dunas frontales). Las principales localidades son Laguna

Manuela, Guerrero Negro (en el cual se ubica una importante industria salina), Bahía Tortugas, Punta Abreojos, Laguna San Ignacio, El Dátil y Bahía Asunción.

#### UNIDAD 1.3.3.1.2.3

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 03 (3), Clima Muy Seco Semicálido (3), Roca sedimentaria (1), Zona de subsidencia tectónica (2), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Se ubica en el Municipio de Comondú y parte de la costa oeste del municipio de La Paz (con alrededor de 250 mil habitantes), Baja California Sur. La costa está configurada por 74 compartimentos que describen un sistema de lagunas costeras y barras arenosas en casi toda la mitad norte de la unidad (Bahía Magdalena, Bahía Almejas), en donde también existe un pequeño delta en la desembocadura del Arroyo San Gregorio; mientras que en la zona sur existen grandes extensiones de playas arenosas. En toda la línea de costa existen importantes sistemas de dunas de tipo transgresiva, parabólica y frontal que se extienden en más de 100 km de barras arenosas y segmentos de hasta 80 km en playas. Las principales localidades son Bahía Magdalena, Puerto San Carlos, Puerto Adolfo López Mateos, San Juanico, y Las Barrancas.

#### UNIDAD 1.3.4.7.3.3

Vertiente del Pacífico (1), Región Hidrológica 03 (3), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca mixta (ínea intrusiva y metamórfica) (7), Bloque Tectónico de Cabo (3), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Se ubica al suroeste del Municipio de La Paz (con alrededor de 250 mil habitantes), Baja California Sur. Esta es una pequeña unidad compuesta por dos compartimentos que describen playas abiertas de material arenoso en el que también se encuentra un campo de dunas transgresivas que comparte con la unidad adyacente en la parte norte (de aproximadamente 20 km de longitud) y en el extremo sur de la unidad comparte otro campo de dunas transgresivas de menor longitud (10 km) con la unidad vecina. La localidad principal es Ejido Plutarco Elías Calles.

#### UNIDAD 2.6.5.3.3.3

Zona de transición (2), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Muy Cálido (5), Roca ínea intrusiva (3), Bloque Tectónico de Cabo (3), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Se ubica en el extremo sur de la costa del Pacífico del Municipio de La Paz (con alrededor de 250 mil habitantes) y en el Municipio de Los Cabos (con cerca de 240 mil habitantes), Baja California Sur. Esta unidad se encuentra la zona de transición entre el Océano Pacífico y el Golfo de California y está constituida por 64 compartimentos los cuales en su mayoría forman playas abiertas y pequeñas bahías (Bahía San Lucas, Bahía San José del Cabo, entre otras). En cuanto al tipo de playa predominan las de material arenoso pero también existen porciones de playa con material rocoso en el extremo oeste de la unidad. Existen dunas frontales y transgresivas distribuidas en dos segmentos (cada uno con una longitud no mayor a 25 km) en la porción de la costa frente al Golfo de California y un cordón estrecho de dunas dentro de Bahía San Lucas (de aproximadamente 4 km) y fuera de la misma, de cara al Océano Pacífico. Las principales localidades son de tipo urbano y son: San José del Cabo, Cabo San Lucas, Costa Brava, Colina Blanca, entre otras.

#### UNIDAD 3.6.4.1.3.3

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca sedimentaria (1), Bloque Tectónico de Cabo (3), Proceso dominante: Energía mixta (domina oleaje) (3).

Se ubica en la costa este del Municipio de La Paz (con alrededor de 250 mil habitantes), Baja California Sur. Se compone de 24 compartimentos que dibujan dos bahías ligeramente abiertas (Bahía de los Muertos al

norte y Bahía Las Palmas al sur de la unidad); el norte se delimita por una punta denominada Península de los Sueños. Las playas se caracterizan por ser de material arenoso en toda la unidad a excepción de la porción norte, en la cual se encuentran cantiles, puntas rocosas y playas de grava con secciones de canto rodado. Existe un pequeño campo de dunas frontales de menos de 2 km de longitud al sur de la Península de los Sueños.

#### UNIDAD 3.6.4.5.3.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca mixta (ígneas intrusiva y sedimentaria) (5), Bloque Tectónico de Cabo (3), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se ubica en la costa este del Municipio de La Paz (con cerca de 250 mil habitantes), Baja California Sur. Se constituye por 38 compartimentos, que configuran a grandes rasgos una bahía (Bahía La Ventana) y una península denominada Punta Coyote. Esta última es el resultado de la falla que delimita el Bloque Tectónico de Cabo en su frontera norte. En Bahía La Ventana existen múltiples arroyos que desembocan al mar, dando lugar a playas bajas de material arenoso, principalmente en su porción sur. Hacia el norte, la costa va dando lugar a cantiles y playas de material mixto, hasta llegar a Punta Coyote, donde la geomorfología es más heterogénea pues hay presencia de puntas rocosas, cantiles y pequeñas playas de bolsillo. En Bahía La Ventana localiza también un campo de dunas transgresivas de poco más de 16km de longitud, hacia el norte existen otros tres cordones de dunas frontales de no más de 2 km de longitud cada uno, mientras que en Punta Coyote se localiza un campo de dunas transgresivas con una longitud aproximada de 8 km. La principal localidad en esta zona es Bahía La Ventana.

#### UNIDAD 3.6.4.1.4.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca sedimentaria (1), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se ubica en la costa este del Municipio de La Paz (con cerca de 250 mil habitantes), Baja California Sur. Se compone de 7 compartimentos que configuran Ensenada de La Paz, la cual se encuentra protegida por una gran barra arenosa denominada El Mogote. Entre El Mogote y el continente se encuentra el Canal de San Lorenzo, el cual comunica a la bahía con el Golfo de California (al sur de la bahía). La costa presenta playas de material arenoso, mientras que en la barra arenosa se localizan grandes campos de dunas frontales y transgresivas de más de 12 km de longitud. En la porción continental del Canal de San Lorenzo hay presencia de estructuras de protección costera que conforman el Puerto de Pichilingue (al sur) y el Puerto de La Paz. Hacia el norte de la ensenada existe otro puerto denominado San Juan de la Costa, además existen otras estructuras costeras menores distribuidas en la ensenada. Las localidades más importantes son de carácter urbano y son: La Paz y El Centenario.

#### UNIDAD 3.6.4.6.4.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca mixta (volcánica, ígneas y sedimentaria) (6), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se ubica en la costa este del Municipio de La Paz (con cerca de 250 mil habitantes) y abarca la toda la porción de costa este del Municipio de Comondú (aproximadamente 11 km de costa) en Baja California Sur. Se compone de 34 compartimentos que dan forma grandes rasgos a Bahía de La Paz y Bahía El Coyote, las cuales se encuentran protegidas por las islas La Partida y Espíritu Santo. Hacia el norte de Bahía El Coyote se

encuentra una sección de playas que configuran pequeñas radas, las cuales se encuentran protegidas por la Isla San José. En la región de las bahías, predominan las playas de material arenoso, mientras que al norte las playas son heterogéneas y se componen de cantiles y playas de bolsillo. Al norte de Bahía Coyote existen algunos deltas que se han formado de los arroyos que desembocan en la subcuenca Bahía de La Paz. Existe un cordón estrecho de dunas frontales en la porción sur de la unidad ambiental, el cual se comunica con la barra arenosa El Mogote (correspondiente a la unidad ambiental adyacente), en Bahía Coyote se ubica un campo de dunas transgresivas y dunas frontales de aproximadamente 20 km de longitud, en toda la unidad se distribuyen también pequeños cordones de dunas estrechas con menos de 2 km de longitud. La principal localidad en esta unidad es San Juan de la Costa.

#### UNIDAD 3.6.4.1.4.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca sedimentaria (1), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Esta unidad abarca toda la costa este del Municipio de Loreto (con menos de 20 mil habitantes), Baja California Sur. Se compone de 25 compartimentos que configuran una costa sinuosa de pequeñas bahías y puntas rocosas.

Los rasgos más sobresalientes son Punta La Ballena al norte y Punta La Botella al sur de la unidad. Las playas son mixtas y alternan entre cantiles, puntas rocosas y playas de bolsillo. Al frente esta porción de costa se encuentran las Isla Catalina y la Isla Santa Cruz. Existen campos de dunas transgresivas y cordones estrechos de dunas distribuidos en toda la unidad, los cuales no rebasan una longitud de 4 km. La localidad rural más sobresaliente es Puerto Agua Verde.

#### UNIDAD 3.6.4.2.4.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 06 (6), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca ígnea extrusiva (2), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Esta unidad comparte la costa este del Municipio de Loreto (con menos de 20 mil habitantes) y una porción de la costa de Mulegé (con menos de 60 mil habitantes) en Baja California Sur. Se compone de 138 compartimentos que configuran una costa heterogénea de playas abiertas y pequeñas bahías. El rasgo geomorfológico más importante es Bahía Concepción con una superficie de más de 10 hectáreas, y se encuentra protegida por una península del mismo nombre. Otros rasgos importantes pero de menores dimensiones geográficas son la Bahía de Loreto que se encuentra protegida por las Islas Coronados, El Carmen, Danzante y Monserrat; y Bahía San Juanico y Bahía San Nicolás que se separan por Punta San Antonio. Al sur de la Península Concepción las playas alternan material arenoso, rocoso y cantiles, mientras en la costa expuesta de esta península existen cantiles y playas rocosas con abundantes puntas. Al interior de la Bahía de Concepción existen playas arenosas y algunas playas mixtas. Hay presencia de campos de dunas transgresivas y cordones estrechos con longitudes máximas de 5 km que en algunos casos se encuentran asociados con pequeños deltas. La principal localidad urbana es Loreto, en donde existe infraestructura portuaria y se asienta en las orillas del Arroyo La Palma, y las localidades rurales de La Danzante y Ligui.

#### UNIDAD 3.5.4.4.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 05 (5), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca ígnea mixta (ígnea extrusiva y sedimentaria) (4), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se ubica en la costa este del Municipio de Mulegé (con menos de 60 mil habitantes), Baja California Sur. Se conforma por 76 compartimentos que dan forma a una serie de bahías ligeramente abiertas. Los principales rasgos geomorfológicos son Bahía Santa Inés la cual está delimitada al sur por Punta Concepción y al norte por Punta Chivato, le sigue al norte Bahía San Marcos la cual presenta al frente una isla con el mismo nombre e Isla Tortuga, Bahía Santa Ana. Predominan las playas de material arenoso, aunque se observan segmentos de playas mixtas. Existen campos de dunas transgresivas que se ubican adyacentes a Punta Chivato que se extienden alrededor de 16 km. Las localidades urbanas en esta unidad son Heroica Mulegé y Santa Rosalía, y las principales localidades rurales son San Bruno, La Salina y Ejido San Lucas.

#### UNIDAD 3.5.4.5.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 05 (5), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca mixta (ígnea intrusiva y sedimentaria) (5), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se ubica en la costa este del Municipio de Mulegé (con menos de 60 mil habitantes), Baja California Sur y comparte la frontera con el Municipio de Ensenada, Baja California. Se compone de 46 compartimentos que configura bahías y puntas; los principales rasgos geomorfológicos son: Bahía San Carlos, Bahía San Juan Bautista y Bahía San Rafael la cual se delimita al sur por Punta Ballena y presenta al frente la Isla San Lorenzo. Las bahías hacia el sur de la unidad se caracterizan principalmente por playas de material arenoso, mientras que al norte se alternan segmentos de playas con cantiles y materiales mixtos. En el interior de la Bahía de San Juan Bautista hay presencia de cordones estrechos de aproximadamente 4 km, y adyacente a Punta Ballena existen campos de dunas transgresivas y cordones de dunas. No hay localidades en la costa correspondiente a esta unidad.

#### UNIDAD 3.5.4.6.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 05 (5), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca mixta (volcánica, ígnea y sedimentaria) (6), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se encuentra en el sureste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Se compone de 114 compartimentos que dibujan playas abiertas, bahías y puntas que en algunas porciones presentan formas sinuosas. Los principales rasgos geomorfológicos son: playas abiertas en el extremo sur de la unidad que se encuentran protegidas por las islas Partida, Rasa, Salsipuedes y Las ánimas; Punta Las Ánimas y Bahía Las Ánimas, Punta el Pescador, Bahía de Los Ángeles (protegida por las islas La Ventana, El Piojo y Cabeza de Caballo); Bahía Guadalupe (protegida por las islas Las Ballenas y Angel de la Guarda). Predominan los cantiles, entre los cuales se encuentran segmentos de playa arenosa. Existen pequeños campos de dunas transgresivas y cordones estrechos que se distribuyen entre Bahía Guadalupe y Bahía de las Ánimas. La principal localidad rural es Bahía de Los Ángeles.

#### UNIDAD 3.5.4.3.4

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 05 (5), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca ígnea intrusiva (3), Zona de Fallas Transcurrentes (4), Proceso dominante: Energía mixta (domina marea) (4).

Se encuentra en el sureste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Se compone 17 compartimentos en los cuales se observan principalmente playas abiertas. Los principales rasgos son Ensenada Blanca y Punta Camalajué. Predominan las playas de cantil y pequeños segmentos de playa con material arenoso. No hay presencia de dunas ni de poblaciones sobre la línea de costa.

#### UNIDAD 3.5.4.1.5.2

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 05 (5), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca sedimentaria (1), Zona de Fallas Transformantes (5), Proceso dominante: Marea (bajo) (2).

Se encuentra en el sureste del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Se compone 28 compartimentos en los cuales se observan principalmente bahías y algunas puntas. Los principales rasgos son Bahía San Fransiquito, delimitada al sur por Punta Final y al norte por Punta Willard, Punta Bufe y dos pequeñas bahías al norte de esta punta. Los cantiles predominan en la zona de las puntas, mientras que en las bahías se aprecian playas de material arenoso en las que también existen campos de dunas transgresivas con longitud máxima de 6 km. Las localidades rurales presentes en esta unidad presentan poblaciones menores de 20 habitantes.

#### UNIDAD 3.4.4.2.5.2

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 04 (4), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca ígnea extrusiva (2), Zona de Fallas Transformantes (5), Proceso dominante: Marea (bajo) (2).

Se encuentra en la parte central de la costa este del Municipio de Ensenada (con menos de 500 mil habitantes), Baja California. Se compone 17 compartimentos que configuran a grandes rasgos playas abiertas en su mayoría compuestas por material arenoso. Existe un cordón de dunas asociado al delta de la desembocadura del Arroyo San Fernando. En esta unidad existen pequeñas poblaciones menores asociadas a campos turísticos.

#### UNIDAD 3.4.4.1.5.2

Vertiente del Golfo de California (3), Región Hidrológica 04 (4), Clima Muy Seco Cálido (4), Roca sedimentaria (1), Zona de Fallas Transformantes (5), Proceso dominante: Marea (bajo) (2).

Esta unidad abarca toda la costa del Municipio de Mexicali (cerca de 1 millón de habitantes) y la porción norte de la costa este del Municipio de Ensenada, ambos en el Estado de Baja California. Se compone de 13 compartimentos que configuran playas abiertas y dos bahías (Bahía de San Felipe y Bahía de Santa María). Las playas son en totalidad de material arenoso a excepción de Punta El Machorro (cantil de materia rocoso) que delimita al norte la Bahía de San Felipe. Al sur de esta última bahía, se encuentra un sistema de dunas transgresivas y cordones estrechos que se extiende a lo largo de aproximadamente 33 km, existen otros cordones de dunas al norte y sur de la misma que no exceden los 5 km. La localidad urbana más cercana es San Felipe, aunque también existen algunos poblados rurales aledaños.

## III.II. ÍNDICE DE PELIGROSIDAD

### III.II.I. PELIGRO DE TSUNAMI

#### a. INTRODUCCIÓN

Los tsunamis son una serie de olas provocadas por el desplazamiento vertical de un gran volumen de agua, usualmente un océano. El término japonés *tsunami* significa puerto (*tsu*) ola (*nami*) debido a que las olas frecuentemente producen un efecto de resonancia dentro de los puertos, a consecuencia de un sismo en el océano (Bryant, 2008).

Comúnmente, los tsunamis se originan como consecuencia de un sismo (en tierra o mar), deslizamientos terrestres o submarinos, flujos turbulentos, erupciones volcánicas, condiciones meteorológicas específicas, impacto de meteoritos, entre otros. El mecanismo de generación de un tsunami es capaz de producir un disturbio abrupto y extenso a un gran volumen de agua contenida en un océano, mar o grandes lagos (Mambretti, 2013).

En teoría, todas las zonas costeras en el mundo poseen cierto grado de peligro de experimentar un tsunami. Evidentemente, aquellas áreas donde existe una mayor actividad sísmica y volcánica son las que poseen mayores posibilidades de ser impactadas por un tsunami. El llamado Cinturón de Fuego o Cinturón Circumpacífico ubicado en la franja que rodea al del Océano Pacífico es la zona con mayor actividad sísmica en el mundo, y por lo tanto es la que se conoce la mayor cantidad de impactos por tsunami. Sin embargo los tsunamis no solo son ocasionados por sismos; de hecho, el alcance máximo registrado por un tsunami (525m por encima del nivel del mar) ocurrió en Alaska en 1958, y fue ocasionado por un deslizamiento en una falla localizada en la ladera de una montaña (Mambretti, 2013)

A grandes rasgos los tsunamis se clasifican de acuerdo a la distancia que existe entre su lugar de origen y el sitio de arribo, así como por el tiempo que tarda en desplazarse entre estos dos puntos. Se les llama tsunamis locales, a aquellos cuyo lugar de arribo es muy cercano a la zona de generación y que su tiempo de desplazamiento es menor a una hora. Los tsunamis regionales son aquellos que tardan pocas horas en trasladarse de su zona de generación a la costa, y la distancia recorrida es menor a 1000 km. Por último, los tsunamis lejanos, también conocidos como remotos, transoceánicos o teletsunamis, se generan a más de 1,000 km de su lugar de arribo y tardan aproximadamente 12 horas en llegar a la costa (CENAPRED, 2005).

La ola de un tsunami se caracteriza por tener periodos (tiempo que tardan dos crestas de ola en pasar por un mismo punto) de 100 a 2,000 segundos y pueden viajar a una velocidad de 600 a 900 km/h en las partes más profundas del océano. Al acercarse a la costa, la ola disminuye su velocidad a aproximadamente 30 km/h; generalmente las olas de tsunami no rompen, por cual traen una enorme cantidad de energía a la costa. Las olas de tsunami se trasladan “sintiendo” en fondo marino, por lo cual los obstáculos batimétricos como las islas en cadena o los montes submarinos pueden desviar la trayectoria del tsunami, provocando que su energía se concentre o bien se disipe. Es importante tomar en cuenta la configuración del fondo marino, pues puede contribuir a que el tsunami se propague hasta alcanzar costas lejanas o por el contrario, puede proteger las costas cercanas a la zona de generación del tsunami (Bryant, 2008).

#### b. ANTECEDENTES

##### LOS TSUNAMIS EN MÉXICO Y LAS COSTAS DE BAJA CALIFORNIA

El CENAPRED clasifica las costas del Pacífico mexicano como zonas generadoras y/o receptoras de tsunamis. Las zonas generadoras de tsunamis locales y receptoras de lejanos se ubican a lo largo de la porción costera

que va desde Nayarit hasta Chiapas, esta zona se encuentra sujeta al proceso de subducción de las placas de Cocos y Rivera debajo de la placa Norteamericana. Las zonas receptoras de tsunamis lejanos se ubican a lo largo de toda la costa de la península de Baja California y los estados de Sonora y Sinaloa. Solo se considera la zona del Alto Golfo de California como generadora de tsunamis, debido a que en el año de 1852 se registró un tsunami que provocó alturas de ola de 3 m; el epicentro del sismo que generó el tsunami se localizó en Cerro Prieto, se cree que este sismo fue producto de un gran deslizamiento de sedimentos (CENAPRED, 2001).

En el documento “Peligros Naturales y Tecnológicos relevantes durante el periodo 1810-2020” del (CENAPRED, 2010) no se identifican eventos de tsunami en el Estado de Baja California, sin embargo existen registros de tsunamis de origen lejano, los cuales se enlistan en la Tabla 8 y se obtuvieron del “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México” publicado por el CENAPRED en 2001 así como del Atlas de Riesgo del Estado de Baja California (inédito).

**Tabla 8. Tsunamis registrados en la costa del Pacífico del Estado de Baja California.**

Fecha del evento	Ubicación del sismo generado	Magnitud del sismo	Tiempo de arribo	Altura de ola
<b>9 – Mar – 1957</b>	Islas Aleutianas	8.3	-	1 m
<b>22 – May – 1960</b>	Chile	9.5	13 a 14 horas	1m sobre la marea
<b>27 – Mar – 1964</b>	Alaska	9.2	5 a 6 horas	Menos de 1 metro sobre la marea
<b>16 – May – 1968</b>	Japón	8.0	-	0.3 m
<b>29 – Nov – 1975</b>	Hawaii	7.2	-	0.5 m
<b>27 –Feb – 2010</b>	Chile	8.8	12 a 13 horas	0.5 m sobre el nivel del mar
<b>11 – Mar – 2011</b>	Japón	9	10 a 11 horas	Contenido entre los niveles de pleamar y bajamar

Delgadillo (2016) analizó el peligro de tsunami en las costas del Pacífico mexicano a través la modelación de eventos de tsunami generados en la Trinchera Mesoamericana; particularmente en la zona de subducción de la Placa de Cocos y Norteamérica debido a que históricamente es la que presenta mayor actividad. Los datos para el cálculo de tsunami se seleccionaron de la base de datos de sismos de la agencia norteamericana U.S. Geological Service. Se consideraron únicamente los sismos principales en el periodo de 1950 a 2015 con magnitud igual o superior a 5. Con estos datos Delgadillo (2016) generó simulaciones de sismos mediante métodos estadísticos (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment y Montecarlo), de la serie sintética se consideraron solamente aquellos sismos que producen sobreelevaciones por arriba de 10cm. Se determinó que no existe riesgo asociado tsunami local originado en dicha trinchera, solamente se identificó la influencia de tsunamis de origen lejano.

### c. METODOLOGÍA

La altura máxima esperada para olas que impacten la franja inmediata a la línea de costa en la zona receptora de tsunamis lejanos es de 3 m (CENAPRED, 2006). La metodología del CENAPRED indica que se debe realizar una búsqueda de registros históricos de sismos que hayan ocasionado tsunamis, sin embargo, para el caso de la Península de Baja California se conoce que los tsunamis que pueden impactar se originan en otros lugares del mundo, tales como Japón, Islas Aleutianas, Alaska y Chile.

En el estudio realizado en el Atlas de Riesgo del Estado de Baja California (CICESE, Inédito), se modelan los tsunamis que han impactado en el pasado al estado de Baja California y se validan con la información recabada en los mareógrafos disponibles tanto en el Estado como en el resto de las costas mexicanas pertenecientes a la cuenca del Pacífico. Con los modelos se determinó la hora de arribo y la altura de la ola de los tsunamis.

A pesar de que no se tienen registros de otros tsunamis que se hayan producido en distintos sitios a lo largo del llamado Cinturón de Fuego, en el Atlas Estatal (op. cit.) se presentan modelaciones en las que se generan sismos que pudieran afectar a la región. En estas modelaciones se incluyen sismos en la Fosa de las Islas Kuriles al norte de Japón, en la Fosa de Tonga y en la Fosa de las Islas Marianas. En estos sitios no se tienen todavía registros de grandes sismos que hayan provocado tsunamis en el pasado, sin embargo se trata de lugares en los que hay actividad sísmica y por lo tanto existe la posibilidad de que ocurran.

La modelación que arrojó el peor escenario para el Estado de Baja California, es la del sismo hipotético de magnitud 9 que se originaría en la Fosa de las Islas Marianas. Como consecuencia de un sismo de tal magnitud en esta zona, las costas de Baja California recibirían una ola de 4.5 m con un tiempo de arribo entre 11 y 12 horas. Si bien el CENAPRED plantea que la altura máxima de ola que se espera es de 3 m, se tomará la modelación realizada en el Atlas Estatal como base para construir el *peor escenario esperable de desastre*.

#### d. RESULTADOS

##### TSUNAMIS PBC RUN UP DE 5M

De acuerdo con los registros históricos, la península se puede considerar como receptora de tsunamis lejanos. El CENAPRED (2006) recomienda que en este tipo de costas debe considerarse una altura de *run up* de 3 m. De acuerdo con el Atlas de Riesgos del Estado de Baja California (CICESE, Inédito) se calcula una altura de *run up* de 5 m sobre el nivel de pleamar en un escenario hipotético en el cual se generaría el tsunami de mayor magnitud posible en las costas de la vertiente del Pacífico de la Península de Baja California. En la Figura 15 se representa la información anterior y se puede observar que las áreas más susceptibles ante estos escenarios se ubican en zonas aledañas a las poblaciones de Ensenada, San Quintín y San Felipe en el Estado de Baja California y en las zonas de Guerrero Negro, San Ignacio, Bahía Magdalena y Bahía Concepción. Se debe tener en cuenta que en estos escenarios de inundación no se ha considerado el nivel de pleamar.

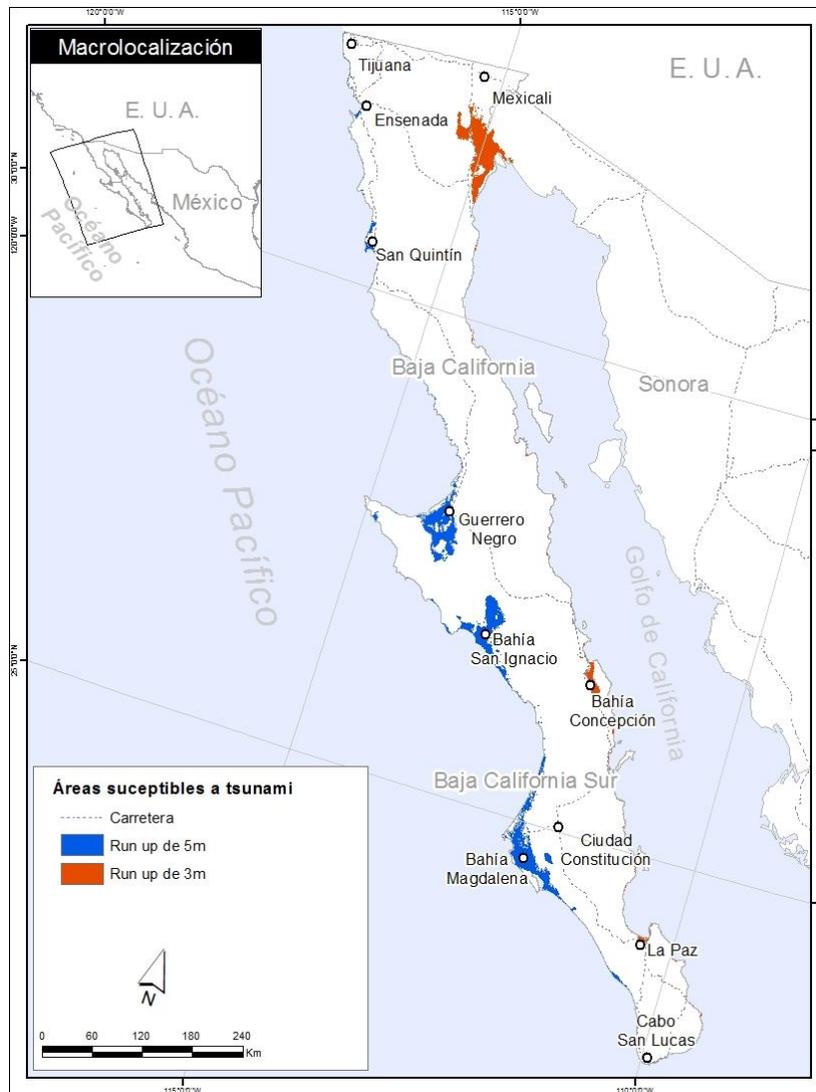


Figura 15. Áreas susceptibles a tsunami. Elaboración propia a partir de información de CENAPRED (2006) y CICESE (Inédito).

### III.II.II. PELIGRO DE POR HURACÁN Y FRENTE FRÍO

#### a. INTRODUCCIÓN

Tanto el Caribe mexicano como la costa sur del Pacífico poseen temperaturas por arriba de los 26°, lo cual permite la formación de ciclones tropicales durante todo el año. En la cuenca del Pacífico, la temperatura del mar aumenta a partir de mayo mientras que en el Golfo de México esto ocurre en julio. En ambas cuencas, la temperatura del mar desciende en noviembre. Se considera entonces que la temporada de tormentas tropicales comienza el 15 de mayo en la cuenca del Pacífico y el 1 de junio en la cuenca del Atlántico, finalizando en ambos casos el 30 de noviembre. Una excepción es el la región de la costa oceánica de la Península de Baja California, en la cual, la temperatura del mar no asciende lo suficiente para sustentar ciclones tropicales (Rosengaus Moshinky, Martín, & Vazquez Conde, 2002).

Para determinar la condición de huracanes y nortes, (Delgadillo, 2015) utilizó como criterio aquellas alturas cuya magnitud sea mayor a 2.8Hrms (2.8 veces la altura cuadrática media) de la base de datos del reanálisis de clima marítimo de la república mexicana (Ruiz Martínez, Silva Casarín, et al. , 2009) en el cual utilizan los

modelos WAM y HURAC. Las olas que exceden el umbral por 24 horas se consideran asociadas a tormentas tropicales, pero si dichos eventos se presentan en los meses de Mayo a Noviembre, entonces se consideran asociadas a huracanes. Si la excedencia ocurre por 12 horas entonces se consideró oleaje asociado a nortes o frente fríos. Los datos que cumplieron con los criterios se analizaron con el método estadístico POT para determinar la altura de ola para distintos periodos de retorno. Para la región de la península de Baja California encontró sobreelevación debido a frentes fríos en la zona norte, con alturas por debajo de los 5.5 m. Además identificó sobreelevaciones por huracanes y tormentas tropicales en la parte sur de la península con alturas por debajo de los 10 m.

Martínez (2014) obtuvo la cota de inundación a partir de la marea de tormenta y run up en las costas de México. Para obtener la cota de inundación asociada a ciclones tropicales, analizó la base de datos de huracanes generados en el Norte y Centro del Pacífico de los años 1949 a 2012 generada por la NOAA (NOAA, 2014). Para la obtención de la cota de inundación asociada a frentes fríos, utilizó la base de datos de viento y oleaje de Silva et al 2008. Los datos se procesaron con el método estadístico de valores extremos utilizando la distribución de Gumbel para obtener las cotas de inundación de distintos periodos de retorno. Los resultados de este estudio en la Península de Baja California se presentan en forma de promedio por Estado, sin distinguir entre la costa del Pacífico y el Golfo de California. Asociado a tormentas tropicales, en el Estado de Baja California la cota promedio de inundación identificada es menor a 2 m para un periodo de retorno de 200 años y menor a 2.5 m para un periodo de retorno de 1000 años. En el Estado de Baja California Sur se encontraron cotas de inundación de 3 m, 3.5 m, 4.5 m y 5 m con periodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años respectivamente.

## b. MÉTODOS

### ANÁLISIS DE RÉGIMEN MEDIO

Se presenta el análisis estadístico correspondiente probabilidad acumulada de altura significativa ( $H_s$ ) y dirección de oleaje anual de 20 estaciones seleccionadas del modelo de oleaje Integrated Ocean Waves for Geophysical and other Application. (IOWAGA) localizadas a lo largo de la costa de la Península de Baja California. El objetivo del análisis de las características del clima de oleaje es determinar el oleaje predominante anual en cada una de las regiones de la península.

El modelo IOWAGA es un modelo de tercera generación desarrollado por el L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER). Posee una modelación de oleaje a partir de 1994 (a la fecha) a partir del modelo Wave Watch III (creado por la National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos) con una parametrización especial que permite integrar información de ruido sísmico, así como una mayor resolución en las zonas más cercanas a la costa.

La caracterización estadística se calculó para 20 puntos o estaciones distribuidas en toda la costa de la Península de Baja California, las cuales se muestran en la Figura 16.

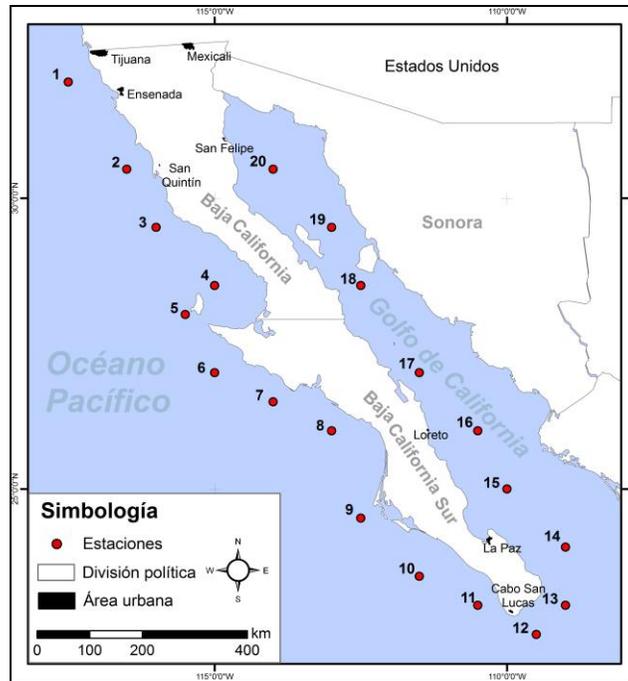


Figura 16. Localización de las estaciones analizadas.

#### ANÁLISIS DE OLEAJE ASOCIADO A TORMENTAS TROPICALES Y FRENTE FRÍOS

Como ya se describió en el Capítulo II de la presente tesis, existen distintos tipos de clima en la PBC, por lo tanto, el oleaje con alturas excepcionalmente altas ocurre de manera diferenciada a lo largo de la costa peninsular y se genera principalmente por tormentas tropicales y frentes fríos. La caracterización del oleaje extremo se llevó a cabo aplicando el análisis estadístico de extremos en la temporada del año en que se presentan en cada región de la península. Para lograrlo, se realizaron dos análisis:

- 1) Para determinar las zonas costeras susceptibles a ser impactadas por tormentas tropicales, se realizó un análisis espacial del área de influencia de los vientos calculada por United Nations Environmental Programme (2015) para cada uno de los huracanes registrados por la agencia estadounidense National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) cuyas trayectorias se presentaron en un radio aproximado de 200 km de la costa de la península. Las áreas de influencia fueron superpuestas para determinar cuáles son las zonas más propensas a ser influenciadas por tormentas tropicales.
- 2) Análisis estadístico de extremos siguiendo el método de excedencias sobre un umbral (*Peak Over Threshold* o "POT") (Balkema & Haan, 1974; Pickands, 1975), aplicado al modelo de oleaje IOWAGA para dos temporalidades: a) temporada de huracanes que ocurre en los meses de mayo a noviembre, en aquellas regiones que registren el mayor número de tormentas tropicales de cualquier intensidad de acuerdo a la base de datos de United Nations Environmental Programme (2015), y b) anual, para identificar el oleaje asociado a frentes fríos en las zonas que presenten el menor número de tormentas tropicales. Para garantizar que el umbral en el método POT no sea muy pequeño o muy grande (pues en ambos casos arrojaría como resultado una muestra poco representativa de los valores extremos) se realizó el ajuste de las alturas de olas con umbrales de corte entre el 99.4% y 99.8% de la distribución. Se eligió el umbral de corte más alto con el cual el parámetro de forma XI ( $\xi$ ) permaneció estable. El producto que se obtuvo del análisis POT, son periodos de retorno de alturas extremas a 25, 50 y 100 años.

### C. RESULTADOS

#### ANÁLISIS DE RÉGIMEN MEDIO

En cuanto a la función de distribución de altura significativa (Hs) anual se observó que posee un comportamiento consistente tanto para la costa del Pacífico como para la del Golfo de California. En la costa del Pacífico delimitada entre las estaciones 1 a la 12, las alturas varían entre 1.2 m y 1.5 m en el cuartil Q25 (Figura 17a), entre 1.2 m y 1.8 m en el cuartil Q50 (Figura 17b), y entre 1.6 m y 2.2 m en el cuartil Q75 (Figura 17c). Por su parte, las alturas en la costa del Golfo de California definida por las estaciones 12 a la 20, varían entre 0.2 m a 1 m en el cuartil Q25 (Figura 17a), entre 0.3 m a 0.5 m en el cuartil Q75 (Figura 17b), y entre 0.6 m a 0.8 m en el cuartil Q75 (Figura 17c).

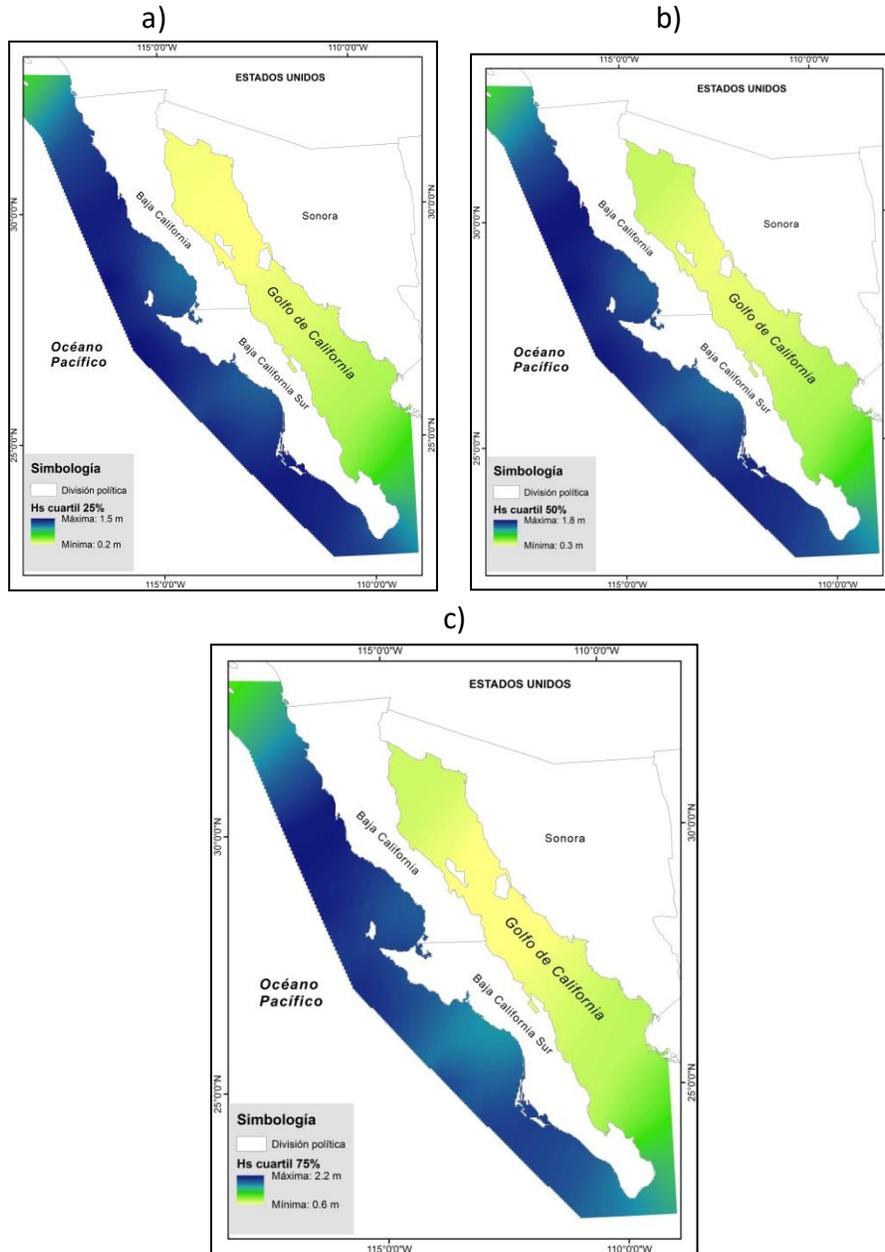


Figura 17. Altura de ola significativa (Hs) de los cuartiles a) 25%, b) 50% y c) 75%.

De la Figura 18 a la Figura 20 se presentan las rosas de oleaje por estación, en las cuales se puede observar el cambio gradual en la dirección. De la estación 1 a la estación 6 (Figura 18a a la Figura 18f) existe una dirección predominante que proviene del noroeste. Estas estaciones se ubican a lo largo la costa del Pacífico del Estado de Baja California y la península de Vizcaíno. En dichas estaciones el oleaje proveniente del noroeste representa entre un 40 y 50%; además registraron una componente secundaria de oleaje proveniente del sureste, la cual en todos los casos representa poco más del 20% del oleaje anual. Una excepción se encontró en la estación 4, en donde el 100% del registro de oleaje proviene del noroeste.

A partir de la estación 7 (Figura 18g) ubicada frente a la costa de Punta Abreojos en el Estado de Baja California Sur, el oleaje anual proveniente del suroeste comienza a dominar y la componente noroeste se debilita hasta desaparecer en la estación 13 (Figura 19e) localizada frente a la costa de la ciudad de Los Cabos. Anualmente, el oleaje proveniente del noroeste oscila entre un 25% y 40% en las estaciones 7 a la 11 (ésta última ubicada frente a la costa la localidad de Todos Santos). En esta zona, el oleaje que proviene del suroeste se registra entre un 30% y poco más de 40%. En la estación 12, el oleaje proveniente de la dirección noroeste disminuye hasta un 18% y desaparece en la estación 13. Por su parte, el oleaje proveniente del sur suroeste alcanza hasta un 55% y 100% respectivamente.

Se puede observar una transición en la dirección del oleaje anual entre las estaciones 13 y 15 (Figura 19e y Figura 19g) que proviene del suroeste hacia el sureste. En la estación 14 (Figura 19f) ubicada frente a la costa de la localidad de Los Barriles el oleaje proveniente del sur suroeste representa cerca del 75% al año, con una componente menor proveniente del noroeste, la cual se registra en un 12% anual. A partir de la estación 15 localizada frente a la costa de La Paz hasta la estación 18 (Figura 20b) ubicada frente a la costa de Punta San Francisquito (cerca del paralelo 28°), se aprecian dos componentes anuales bien definidas; la primera de ellas proveniente del sur la cual domina anualmente en poco más del 60% y la segunda se registró entre un 25% y 30%.

En la estación 19 (Figura 20c) localizada frente a la costa de la Isla Ángel de la Guarda se registró una componente anual suroeste (con 30%) y una con dirección proveniente del noroeste con un 50%. Por su parte, la estación 20 localizada frente a la costa de la localidad de Puertecitos muestra una distribución homogénea en la dirección de proveniencia del oleaje en los cuadrantes noroeste, suroeste y sureste.

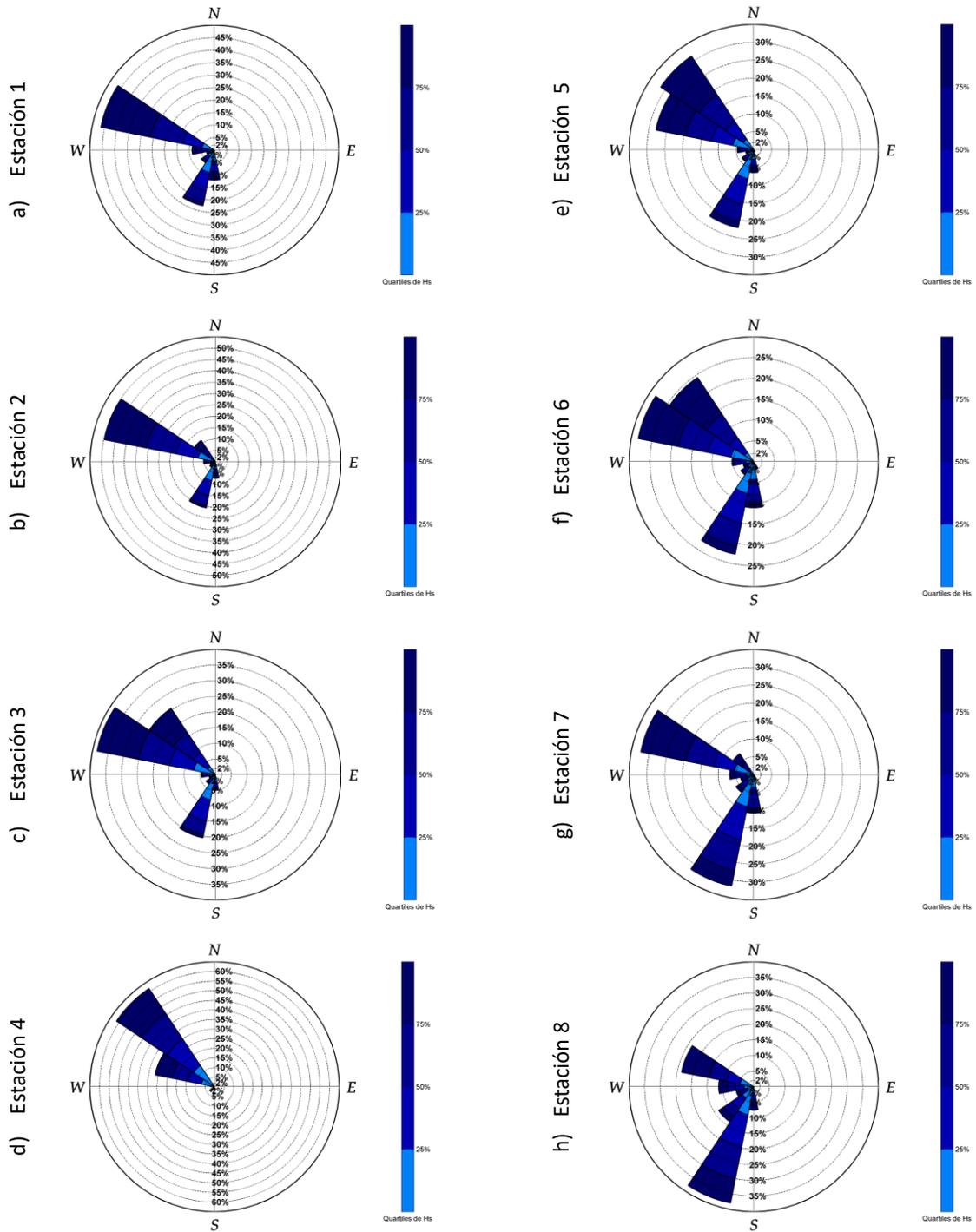


Figura 18. Rosas de oleaje de a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, f) estación 6, g) estación 7 y h) estación 8.

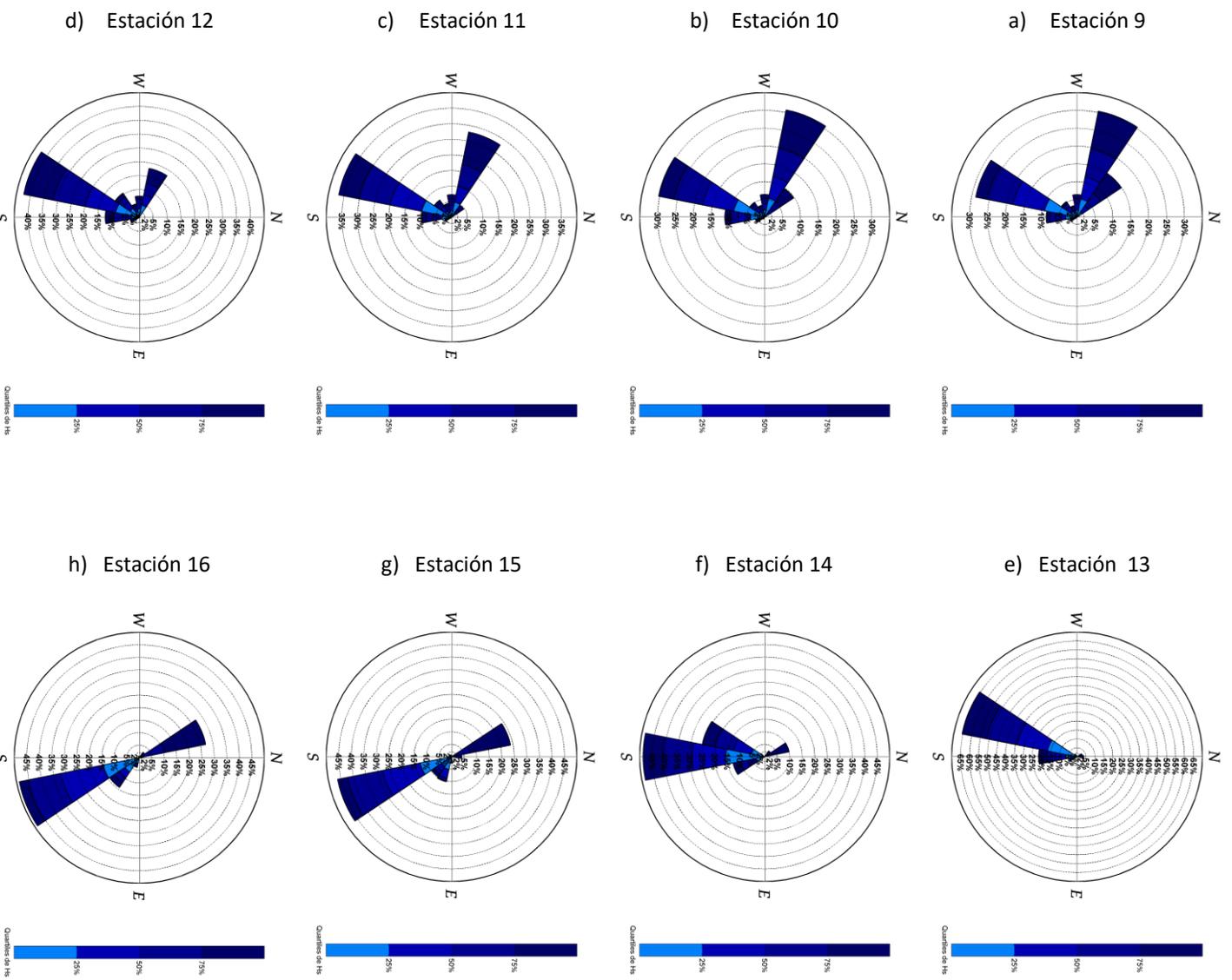


Figura 19. Rosas de oleaje de a) estación 9, b) estación 10, c) estación 11, d) estación 12, e) estación 13, f) estación 14, g) estación 15 y h) estación 16.

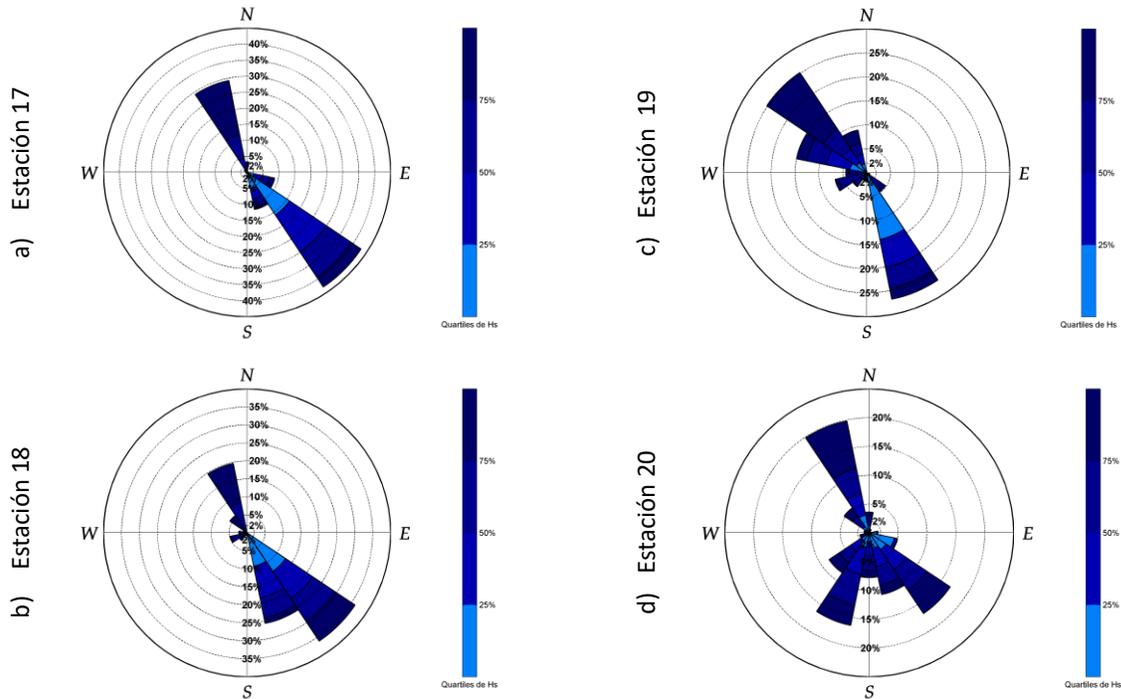


Figura 20. Rosas de oleaje de a) estación 17, b) estación 18, c) estación 19 y d) estación 20.

### ANÁLISIS DE OLAJE ASOCIADO A TORMENTAS TROPICALES Y FRENTE FRÍOS

#### ÁREA DE INFLUENCIA DE TORMENTAS TROPICALES

De acuerdo con United Nations Environmental Programme (2015), los vientos de 355 tormentas tropicales de distintas categorías en la escala de Saffir-Simpson se han registrado dentro de un radio de 200 km de la costa de la PBC en un periodo de 45 años (de 1969 a 2014). Del total, 131 tormentas han tocado tierra en la península.

Como se observa en la Figura 21 el Estado de Baja California recibe el impacto directo de tormentas tropicales solo de manera extraordinaria, pues solo se registra un máximo de tres tormentas en las estaciones de monitoreo durante en el periodo citado. En contraste, Baja California Sur posee un máximo de 29 tormentas tropicales registradas por la estación número 13 frente a la costa del municipio de Los Cabos.

Con esta información, se definieron como susceptibles a tormentas tropicales a aquellas estaciones que registraron un mínimo de 10 eventos de tormenta. Como se aprecia en la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Tabla 9, las estaciones 10 a la 15 cumplieron con tal condición y por lo tanto el análisis de oleaje extremo en estas estaciones se aplicó únicamente a la temporada de huracanes, es decir, de mayo a noviembre.

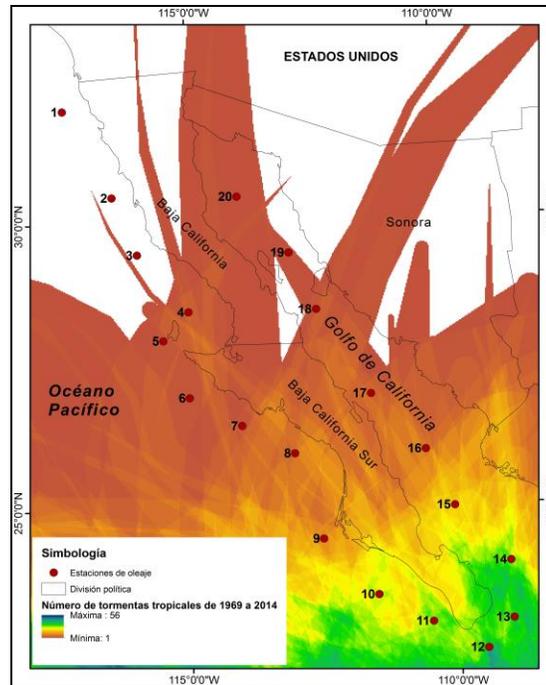


Figura 21. Número de tormentas tropicales en la Península de Baja California entre los años de 1969 y 2014. Elaboración propia a partir de datos de United Nations Environmental Programme (2015).

Tabla 9. Número de tormentas tropicales registradas por estación en la Península de Baja California.

<i>Estación</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Nombre</i>	<i>Numero de tormentas tropicales</i>
1	-117.5	32	Bahía de Todos Santos	0
2	-116.5	30.5	Bahía San Quintín	0
3	-116	29.5	Punta Baja	0
4	-115	28.5	Bahía Sebastián Vizcaíno	3
5	-115.5	28	Isla de Cedros	2
6	-115	27	Bahía San Pablo	2
7	-114	26.5	Punta Abreojos	2
8	-113	26	Bahía San Juanico	5
9	-112.5	24.5	Bahía Magdalena	7
10	-111.5	23.5	Llanos de Magdalena	19
11	-110.5	23	Todos Santos	20
12	-109.5	22.5	Cabo San Lucas	29
13	-109	23	Los Cabos	25
14	-109	24	Los Barriles	19
15	-110	25	La Paz	13
16	-110.5	26	Bahía de Loreto	6
17	-111.5	27	Bahía de Concepción	4
18	-112.5	28.5	Punta San Francisquito	2
19	-113	29.5	Isla Ángel de la Guarda	1
20	-114	30.5	Puertecitos	1

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VALORES EXTREMOS

**Periodo de retorno de 25 años (Figura 22a):** Las alturas extremas asociadas a frentes fríos presentan magnitudes entre 5.8 m y 7.5 m frente a la costa del Pacífico, desde el extremo norte en la estación 1 (Bahía de Todos Santos) hasta la número 9, frente a Bahía Magdalena en el Estado de Baja California Sur. En la zona de influencia de tormentas tropicales las alturas extremas oscilan entre los 7 m en la estación 10, ubicada frente a la costa de Llanos de Magdalena y 10.7 m en la estación 13, frente a la costa de la ciudad de Los Cabos. Las alturas disminuyen de sur a norte en la costa del Golfo de California, desde la estación 16 en la Bahía de Loreto con una altura de 7.4 m hasta la estación 20, frente a la localidad de Puertecitos con una altura de 4.1 m.

**Periodo de retorno de 50 años (Figura 22b):** En la región influenciada por frentes fríos en la costa del Pacífico las alturas extremas oscilan entre 6 m en la estación 1, frente a la Bahía de Todos Santos hasta 9.2 m en la estación 8, en la Bahía San Juanico. En la zona receptora de tormentas tropicales, las alturas extremas se calcularon entre 7.2 m en la estación 10, localizada frente a la costa de Llanos de Magdalena y un máximo de 15 m en la estación 15, frente a la costa de la ciudad de La Paz. En el Golfo de California, las alturas extremas asociadas a frentes fríos oscilan entre 9.4 m en la estación 16, frente a Bahía de Loreto, descendiendo gradualmente hasta 4.8 m en la estación 20, frente a la costa la localidad de Puertecitos.

**Periodo de retorno de 100 años (Figura 22c):** Asociadas a frentes fríos, las alturas extremas tienen una amplia variación, la cual va desde 6.1 m en la estación 1 en Bahía de Todos Santos hasta 12.6 m en la estación 8 ubicada frente a la Bahía San Juanico. Otros sitios a destacar son la estación 4 en la Bahía Sebastián Vizcaíno con una altura de 11.1 m y la estación 7 ubicada frente a Punta Abreojos con 11 m. Las alturas extremas en las zona susceptible a tormentas tropicales varían de 7.4 m en la estación 10, que se encuentra frente a la costa de Llanos de Magdalena, ascendiendo hasta 22.9 m en la estación 15 frente a la costa de la ciudad de La Paz. En lo que resta del Golfo de California, las alturas varían entre 12.2 en la estación 16 localizada en Bahía de Loreto hasta 3.3 m en la estación 18, frente a Punta San Francisquito.

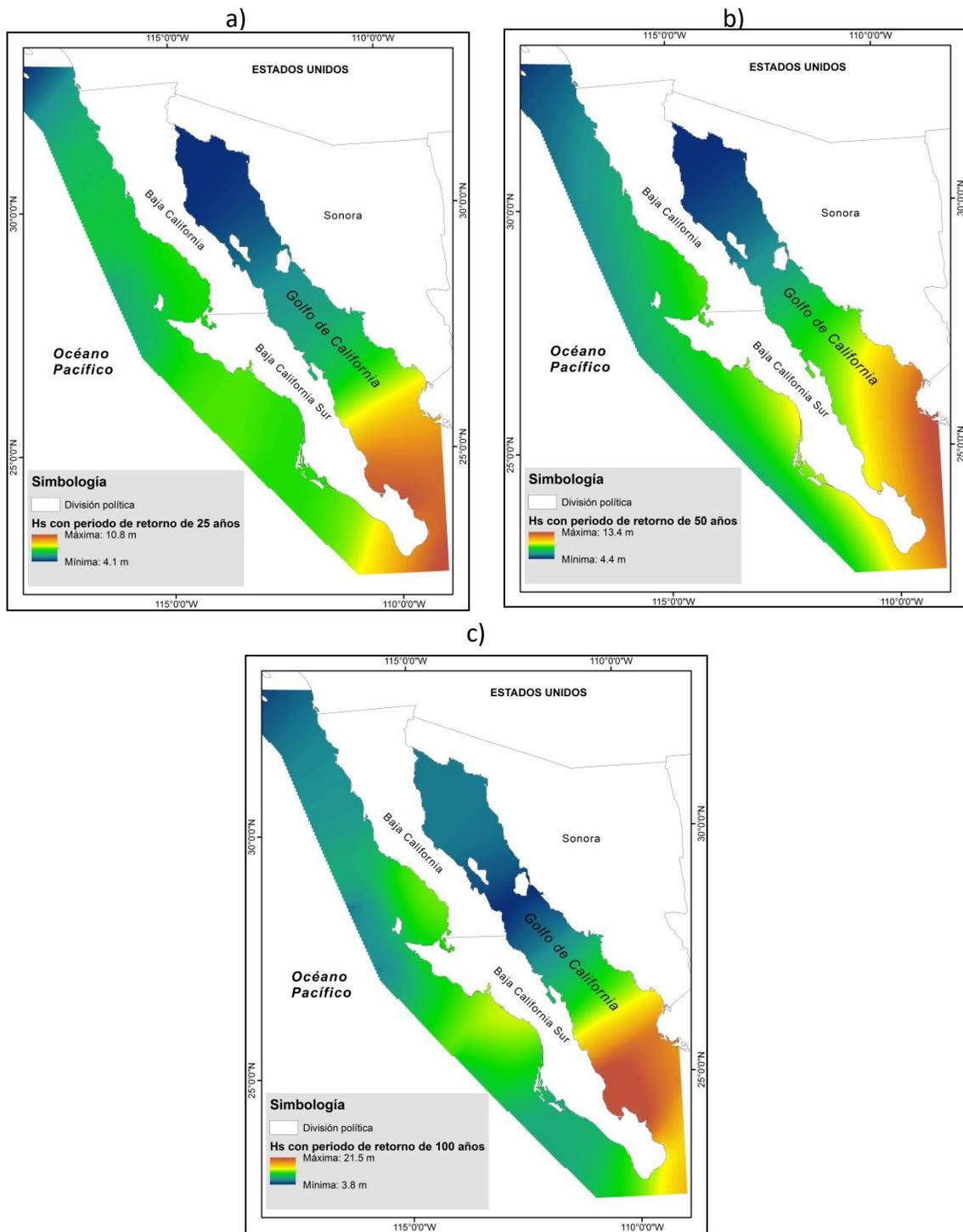


Figura 22. Altura significativa (Hs) con periodo de retorno de a) 25 años, b) 50 años y c) 100 años.

### III.II.III. ANÁLISIS DE PENDIENTE DE PLAYA

#### a. INTRODUCCIÓN

La pendiente de la costa es un factor de peligro que tiene gran relevancia en los procesos de disipación de la energía producida por el oleaje y las mareas, además condiciona la velocidad con la cual ocurren los eventos de inundación costera y pluvial, por lo cual ha sido considerada ampliamente como un indicador para la estimación de peligro. Pendientes suaves en playas y desembocaduras de ríos y arroyos así como las zonas con topografía baja poseen mayor potencial de inundación y transgresión de la línea de costa.

Como se describió en la sección de “Descripción de tipo de roca y procesos tectónicos” del presente documento, la geomorfología de la zona costera de la península está estrechamente relacionada con los procesos tectónicos de la misma. En la vertiente del Pacífico, la costa del Estado de Baja California existen terrazas marinas las cuales van desapareciendo para dar lugar a playas cada vez más extensas hacia el sur. A partir de la Laguna Ojo de Liebre, se observa un continuo de playas arenosas, en algunos casos con presencia de importantes campos de dunas e islas en barrera. Esta condición se presenta en toda la costa oeste del Estado de Baja California Sur y termina en el extremo sur de la península, en donde el Bloque Tectónico de Cabo San Lucas genera levantamientos en la costa. La costa este de la península posee una geomorfología escarpada e irregular desde el extremo sur hasta el Alto Golfo de California, en donde las cuencas de tracción general playas arenosas suaves.

#### b. METODOS

La geomorfología de las playas de la península se cuantificó mediante su pendiente promedio. El cálculo se realizó utilizando de insumo el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0) con una resolución de 15 m el cual fue procesado con el software ARCGIS 10.2 para obtener la pendiente promedio (porcentaje) por pixel.

El promedio de la pendiente se calculó para cada una de las regiones obtenidas previamente (sección III.I) en una franja de 20m desde la línea de costa.

#### c. RESULTADOS

Se obtuvieron un total de 23 pendientes promedio, las cuales se presentan en la Figura 23 categorizadas en cinco clases.

Se observan pendientes de 5% a 10% en prácticamente toda la costa oeste del Estado de Baja California Sur y así como en la costa correspondiente al Alto Golfo de California. Las pendientes entre 15.1% y 20% se localizan en la porción central de la costa oeste del Estado de Baja California, en el extremo sur de la península (en el Bloque Tectónico de Cabo San Lucas), así como en la porción central de la costa del Golfo de California. Las mayores pendientes se ubican en el extremo noroeste de la península, en las costas del municipio de Loreto y al norte del municipio de La Paz (Baja California Sur), y en casi la totalidad de la costa este del municipio de Ensenada (Baja California).

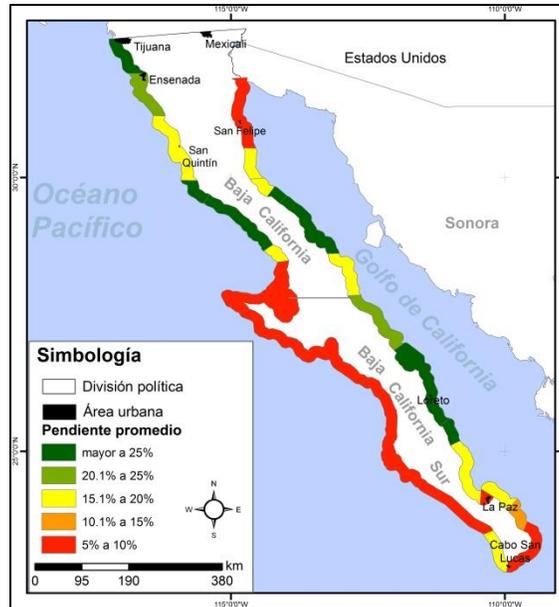


Figura 23. Pendiente promedio para cada región de la Península de Baja California.

### III.II.IV. ÍNDICE DE PELIGROSIDAD

#### a. MÉTODO

Para calcular la peligrosidad, se elaboró un índice, compuesto por los indicadores de peligro de tsunami, peligro de huracán y frente frío, peligro asociado a la pendiente de playa en cada una de las unidades ambientales. El índice de peligrosidad que se propone, suma los valores normalizados de cada uno de los indicadores:

$$\text{Índice de Peligrosidad} = \text{Indicador de peligro por tsunami} + \text{Indicador de peligro por huracán y frente frío} + \text{Indicador de peligro asociado a pendiente de playa}$$

A continuación se describe la construcción de cada indicador de peligro:

#### INDICADOR DE PELIGRO POR TSUNAMI

Este indicador está compuesto por la suma de las áreas inundables en cada unidad ambiental, de acuerdo con el run up presentado en la sección III.II.I. Las áreas inundables en cada unidad se muestran en la Tabla 10.

#### INDICADOR DE PELIGRO POR HURACÁN Y FRENTE FRÍO

Se compone por el promedio de la altura significativa (Hs) calculada en la sección III.II.II bajo condiciones extremas de huracán y frente frío, en una franja de 10 km de distancia de la línea de costa hacia el mar, delimitada por unidad ambiental. Además, se consideró la altura significativa modelada para periodos de retorno (Tr) de 25, 50 y 100 años. Los valores de altura significativa por unidad ambiental se muestran en la Tabla 10.

#### INDICADOR DE PELIGRO ASOCIADO A LA PENDIENTE DE PLAYA

Se utilizaron los valores obtenidos mediante el análisis de pendiente de playa de la sección III.II.III. Los valores de la pendiente promedio por unidad ambiental se presentan en la Tabla 10.

#### b. RESULTADOS

La suma de los indicadores normalizados (valores entre 0 y 1) se presenta en los mapas de la Figura 24.

Tabla 10. Área total inundable por tsunami en la Península de Baja California en cada Unidad Ambiental.

Unidad ambiental	Área inundable (km <sup>2</sup> )	Hs promedio Tr=25 años (m)	Hs promedio Tr=50 años (m)	Hs promedio Tr=100 años (m)	Pendiente promedio (%)
1	5.3	5.8	5.6	6.0	30.7
2	36.5	6.1	6.1	6.3	22.7
3	171.4	6.3	6.7	7.0	17.0
4	1.3	6.5	7.1	8.3	28.1
5	27.0	6.8	7.9	10.6	32.9
6	15.3	6.8	8.4	11.1	16.4
7	1976.9	6.9	8.0	10.2	5.4
8	109.7	7.1	9.4	9.4	6.8
9	4.9	8.8	10.1	10.5	16.3
10	7.1	9.9	11.5	13.4	8.8
11	0.4	10.3	11.5	17.6	11.8
12	6.9	10.4	10.7	19.8	15.1
13	10.2	10.4	10.1	20.4	8.1
14	16.9	9.9	9.6	20.4	19.5
15	6.3	8.6	9.2	16.3	31.0
16	41.1	6.7	8.6	10.4	25.9
17	14.4	5.7	7.6	6.3	22.9
18	14.7	5.3	6.6	4.2	16.3
19	16.8	4.7	5.5	4.9	27.8
20	1.6	4.3	5.0	5.8	39.8
21	2.7	4.2	4.8	5.8	19.9
22	3.9	4.2	4.6	5.9	15.2
23	512.7	4.1	4.4	5.9	9.4

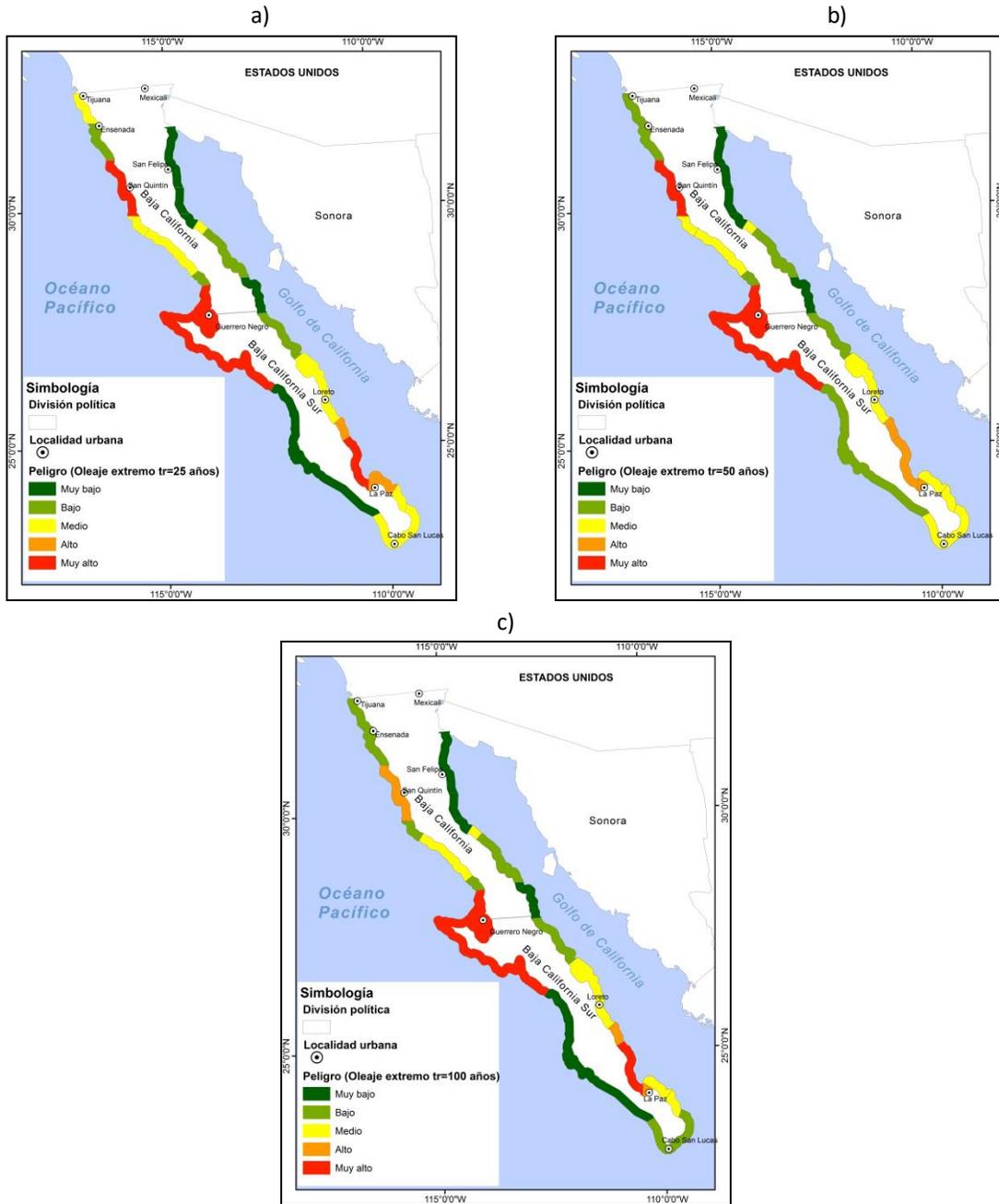


Figura 24. Índice de peligrosidad en los cuales se consideran indicadores de peligro por tsunami, pendiente promedio de la playa y altura significativa bajo condiciones de huracán y frente frío para periodos de retorno de 25 (a), 50 (b) y 100 (c) años.

### III.III. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

#### a. INTRODUCCIÓN

El turismo se considera una actividad económica altamente productiva por lo cual se encuentra en franco crecimiento a nivel mundial. Particularmente el turismo de sol y playa ha sido exitoso en los países que cumplen con las condiciones naturales (geomorfología, clima, paisaje) y de infraestructura propicias.

El análisis cualitativo del riesgo mostró al sector turismo como una actividad de alta relevancia en la zona costera de la PBC y por lo tanto se eligió como receptor. De esta manera, la vulnerabilidad se evaluó de acuerdo a las características necesarias para llevar a cabo dicha actividad económica.

La industria del turismo fue impulsada por el gobierno mexicano en la década de 1970 a través del Fondo Nacional de Turismo, orientado a promover el turismo de sol y playa en los Centros Integralmente Planeados (CIP). La industria del turismo en México aportó en el año 2017 el 8.7% al producto interno bruto, con los CIP de Cancún y Los Cabos como dos de los principales destinos (Secretaría de Turismo, 2017). De acuerdo con la Organización Mundial del Turismo (UNWTO), en el año 2017 México se situó en el número 6 del ranking de recepción de turistas (UNWTO, 2017).

La PBC posee más de 3,000 km de línea de costa de la cual un % se identifica con uso turístico aunque gran parte de su litoral cuenta con atributos naturales que le brindan un alto potencial para uso turístico. Los planes para desarrollar el litoral de la PBC no son nuevos, además de los CIP promovidos por FONATUR, existe el proyecto de “Escalera náutica” impulsado por FONATUR y el gobierno federal en el año 2000 con el objetivo de explotar los atributos naturales y geográficos (por su conectividad con el mercado estadounidense) a través de puertos y marinas estratégicamente distribuidos en ambas vertientes de la península. A pesar de los esfuerzos por desarrollar las costas de la península, distintos factores sociales han desacelerado dicho proceso, entre ellos se encuentra la especulación inmobiliaria, incertidumbre y conflictos en relación a la tenencia de la tierra, incompatibilidad de actividades económicas, entre otros (Dávila López, 2014; De Sicilia Muñoz, 2000; López-López & Sánchez-Crispín, 2002b). Además, se han identificado fallas en el funcionamiento de algunas estructuras náuticas e impactos negativos en el ambiente, como en los casos de los puertos de Santa Rosalía y Ensenada en Baja California, y en los sitios Punta Lobos y Cabo Pulmo pertenecientes a Baja California Sur (Gómez, 2008; Guido et al., 2006; Ortiz Figueroa, 2009; Ponce Bastidas, 2015; Valiente, Cariño, Corona, & Narchi, 2016).

#### b. MÉTODOS

La vulnerabilidad se estimó de acuerdo con algunos criterios de los actuales desarrollos turísticos costeros, tales rasgos son: tipo de desarrollo turístico, población y presencia de infraestructura costera y terrestre. La estimación se realizó mediante la ponderación de cada criterio para cada una de las unidades ambientales previamente establecidas en la regionalización de la península (sección III.I), de esta forma se construyeron indicadores de vulnerabilidad. Las ponderaciones de cada indicador representan un determinado nivel de contribución al índice de vulnerabilidad; en otras palabras, una ponderación mayor indica mayor vulnerabilidad y viceversa.

#### INDICADOR DE INFRAESTRUCTURA TERRESTRE Y MARÍTIMA

Para este indicador se sumó una unidad por cada elemento de infraestructura terrestre y/o marítima identificada mediante fotointerpretación de imágenes de GoogleEarth a escala 1:10,000 en cada unidad ambiental. Se consideró únicamente la infraestructura que se observó en los primeros 20 m tierra adentro a

partir de la línea de costa digitalizada en la sección II. Se consideraron elementos como carreteras, pistas de aterrizaje, puertos, marinas, terminales, etc.

#### INDICADOR DEL TIPO DE TURISMO

Se consideraron solo dos tipos de desarrollo turístico: campo turístico y complejo turístico a través de fotointerpretación de imágenes GoogleEarth a escala 1:10,000. Para la construcción de este indicador, se consideraron como campos turísticos a los sitios acondicionados para recibir turistas en tiendas de campamento al aire libre, mientras que un complejo turístico se entiende por un sitio con edificaciones y/o residencias y/o comercios y restaurantes y/o otros equipamientos turísticos (campo de golf, áreas recreativas, etc.). En cada unidad ambiental se sumó 0.5 por cada campamento turístico y 1 por cada complejo turístico identificado. Se integraron todos los campos y complejos turísticos observados en una franja de 10 km a lo largo de la línea de costa de la península.

#### INDICADOR DE POBLACIÓN

Para este indicador se sumaron todas las poblaciones contenidas en cada unidad ambiental, en una franja de 10 km a lo largo de la línea de costa de la península. La información sobre población fue adquirida del Censo General de población y vivienda del año 2010 por localidad (INEGI, 2012). Una vez sumadas todas las poblaciones por unidad ambiental, se estandarizaron todos los valores población, obteniendo una escala de valores entre 0 y 1.

#### ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El índice está compuesto por la sumatoria de los tres indicadores de vulnerabilidad descritos. Cada indicador se normalizó para obtener un rango de valores entre 0 y 1. El índice de vulnerabilidad puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \text{Indicador de infraestructura terrestre y marina} + \text{Indicador del tipo de turismo} + \text{Indicador de población}$$

Finalmente, el valor obtenido después de la sumatoria de los tres indicadores, el índice de Vulnerabilidad se estandarizó a valores entre 0 y 1.

### C. RESULTADOS

A continuación en la Figura 25 se muestran los indicadores de vulnerabilidad así como el índice de vulnerabilidad representados en cuatro mapas de la península de Baja California.

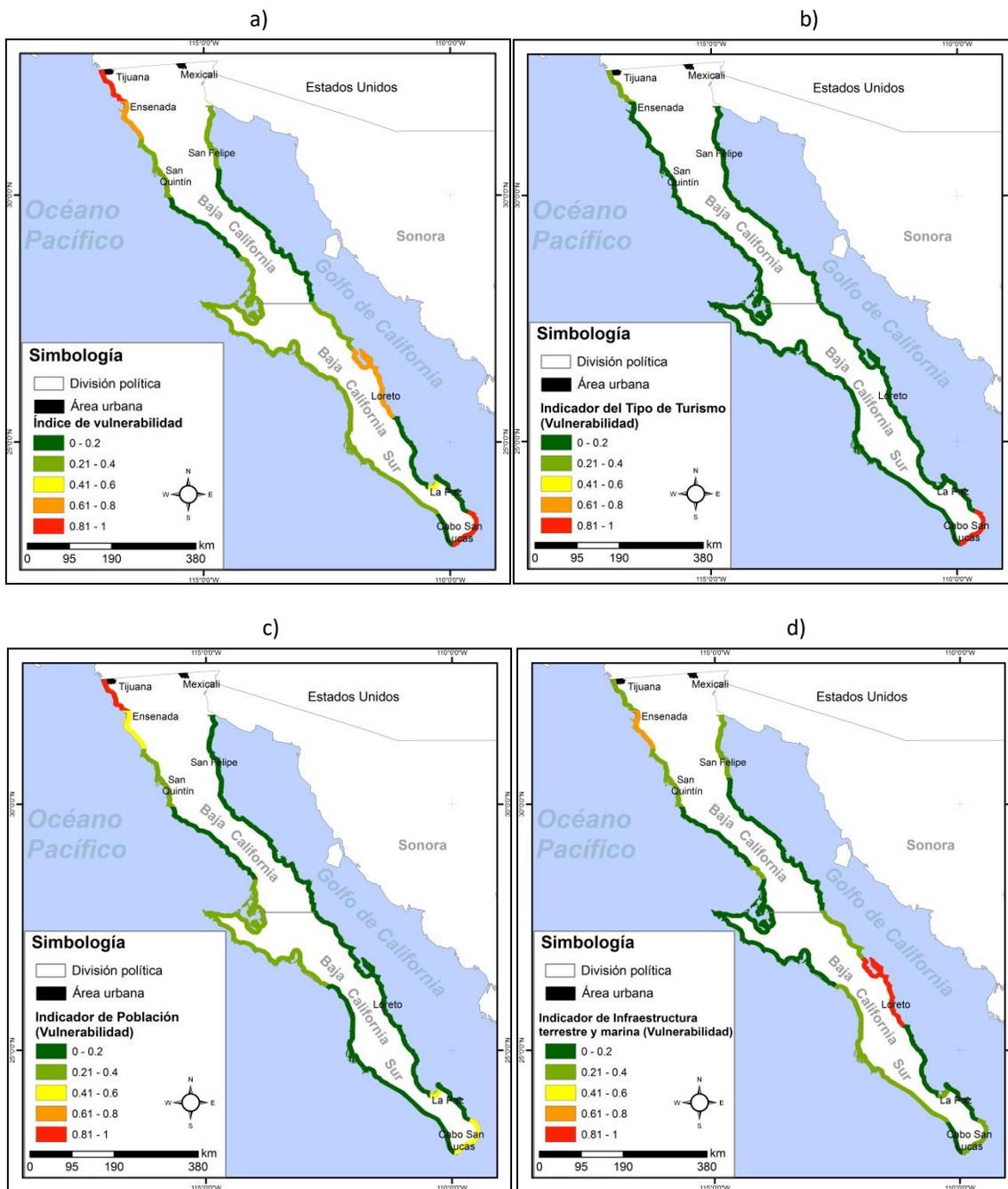


Figura 25. Índice de vulnerabilidad (a), Indicador del tipo de turismo (b), Indicador de población (c) e Indicador de infraestructura terrestre y marina (d).

### III.IV. ÍNDICE DE RIESGO

#### a. MÉTODO

El riesgo al que está expuesto el sector turístico, asociado a variaciones del nivel del mar en la Península de Baja California se estimó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de riesgo} = \text{índice de peligrosidad} * \text{Índice de vulnerabilidad}$$

#### b. RESULTADOS

El producto de los índices de peligrosidad y vulnerabilidad se presentan en forma de mapas en la Figura 26.

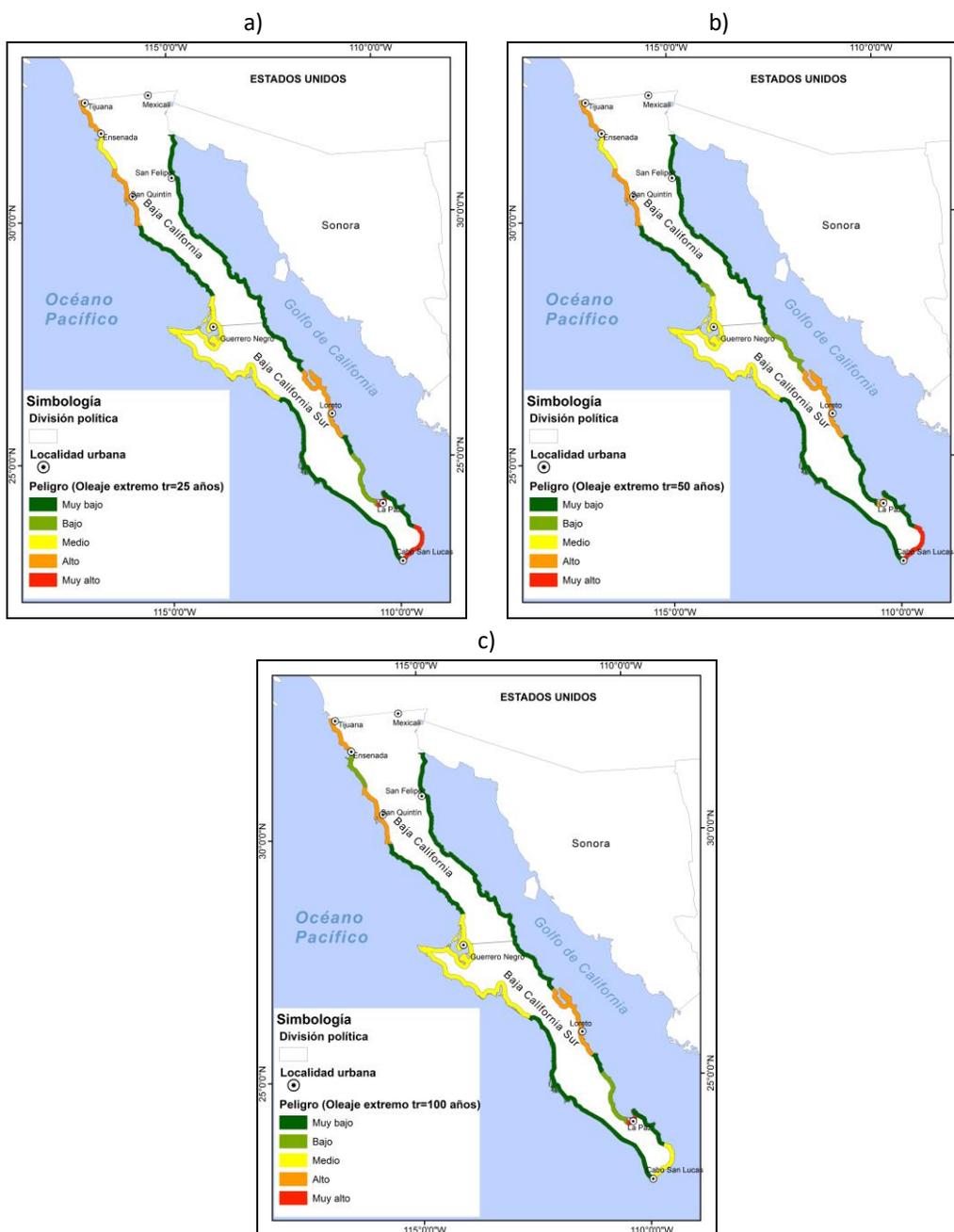


Figura 26. Índice de riesgo asociado a variaciones del nivel del mar para el sector turismo existente en la actualidad en el litoral la península de Baja California.

## IV. ESTRATEGIAS DE MANEJO

Las estrategias de manejo de riesgo que existen actualmente en las costas de la Península de Baja California se localizan exclusivamente en los sitios que cuentan con atlas de riesgos naturales, es decir en las costas de las zonas urbanas de los municipios de Mexicali, Tijuana, Playas de Rosarito, Ensenada, Mulegé, La Paz y Los Cabos. Dado que el propósito de los atlas es el de estudiar y divulgar los procesos naturales que ponen en riesgo a los asentamientos humanos, no profundizan en el desarrollo de medidas de prevención y mitigación de los riesgos. Las acciones que se sugieren en dichos mapas se refieren en todos los casos al mejoramiento de la planeación y vigilancia de las playas y su uso, así como de proponer medidas físicas como rompeolas y estructuras de protección costera. Solo en los casos de Comondú y Playas de Rosarito se sugiere (entre otras cosas) la implementación de trampas de área y dunas artificiales para la protección de la población y la infraestructura en caso de peligro de inundación costera.

## V. DISCUSIÓN

### *Modelo integrado DPSIR-SPRC*

El modelo integrado que se propone plantea la posibilidad de explorar el riesgo no solo desde su perspectiva inherentemente espacial y natural (como lo establece el modelo Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia SPRC), si no que permite incorporar la complejidad de la dimensión socioeconómica a través de los componentes del modelo de evaluación ambiental Fuerza-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (DPSIR). El modelo DPSIR brinda un marco de análisis más amplio que permite incorporar tanto la dimensión física y natural de un sistema ambiental, como sus interrelaciones con la dimensión socioeconómica (p.e. los impactos de la explotación de recursos naturales, la contaminación, los cambios en el uso de suelo, por nombrar algunos). Ambos modelos se caracterizan por ser causales y deterministas, por lo cual funcionan en el caso de un análisis conceptual del riesgo asociado a procesos naturales.

La incorporación de la dimensión socioeconómica a un análisis de riesgo previo a la modelación física y evaluación del mismo es de suma importancia, ya brinda un panorama general del sistema ambiental y permite incrementar la complejidad del modelo ya que no se limita a disponibilidad de datos ni a la capacidad de procesamiento de los mismos.

El nivel de regionalización que se generó, representa el primer lineamiento físico para el manejo de la costa, a partir del cual se puede determinar cuáles son los impactos negativos potenciales para el desarrollo. Por ejemplo, las costas compuestas por material sedimentario y un proceso tectónico de subsidencia tienen un alto potencial erosivo y de inundación costera, mientras que las costas con clima muy cálido están expuestas a una mayor incidencia de huracanes e inundaciones pluviales y costeras. De esta manera, la regionalización permite en el futuro, generar unidades de manejo con estrategias para disminuir el riesgo desde la planeación.

La experiencia de los desarrollos turísticos en la PBC es diferenciado en ambos Estados de la península. Por una parte, el Estado de Baja California se caracteriza por orientar su oferta turística hacia los turistas norteamericanos que se transportan por vehículo, con un poder adquisitivo medio y alto. En cambio, el Estado de Baja California Sur se ha especializado en el turismo de elite, ofertando servicios hacia turistas norteamericanos y canadienses que arriban por vía aérea. Esta situación, en especial en el caso de Baja California Sur, ha ocasionado problemáticas de exclusión de la población de bajos recursos así como baja derrama económica hacia el territorio que se encuentra fuera de las zonas comprendidas por los corredores turísticos.

Se encontró además una problemática asociada a la degradación de espacios naturales y alta demanda de agua debido al tipo de turismo que se ha desarrollado en la zona costera. Esto representa una importante fuente de riesgo inducido por la propia actividad económica, pues la degradación de las áreas naturales implica una disminución del valor turístico del territorio.

## VI. CONCLUSIONES

El escaso poblamiento de la península, la riqueza de recursos naturales costeros y su grado de conservación, representa una oportunidad para la planeación costera en vista del incremento previsible de infraestructura y explotación de recursos. Uno de los aspectos fundamentales para lograr un desarrollo resiliente es tomar en cuenta los riesgos que no solo atentan físicamente contra la infraestructura, sino también a aquellos recursos naturales que sustentan dicho desarrollo. Lo anterior es lo que plantean los marcos conceptuales sobre los cuales se construye el sistema de regionalización propuesto para la Península de Baja California.

La caracterización y la identificación de los peligros representa una parte del proceso de análisis y evaluación del riesgo, sin embargo mediante esta primer regionalización se han sentado las bases para esclarecer el mecanismo de generación de los peligros y continuar de manera coherente con el análisis del riesgo y con los objetivos del desarrollo sustentable de la zona costera.

## REFERENCIAS

- 2014\_Martinez\_CotasInundacionMexico\_CiclonesFrentesFriosTsunami.pdf. (n.d.).
- Andretta, M. (2014). Some Considerations on the Definition of Risk Based on Concepts of Systems Theory and Probability. *Risk Analysis*, 34(7), 1184–1195. <https://doi.org/10.1111/risa.12092>
- Balkema, A. A., & Haan, L. de. (1974). Residual Life Time at Great Age. *The Annals of Probability*, 2(5), 792. Retrieved from <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjsr&AN=edsjsr.2959306&lang=es&site=eds-live>
- Birkmann, J. (2006). *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*. (J. Birkmann, Ed.). United Nations University.
- Breen, B., & Hynes, S. (2014). Shortcomings in the European principles of Integrated Coastal Zone Management (ICZM): Assessing the implications for locally orientated coastal management using Biome Portfolio Analysis (BPA). *Marine Policy*, 44, 406–418. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.10.002>
- C, A. A. S. (2011). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Los Cabos, B. C. S., 52(662). <https://doi.org/020021ME042>
- Carmona Enríquez, R. M. (2013). *Modelo de riesgo de inundación costera causada por variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenad, B. C., México*. Universidad Autónoma de Baja California.
- CENAPRED. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2006). *Guía para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Fenómenos Geológicos*. México: Secretaría de Gobernación.
- CICESE. (n.d.). Atlas de Riesgos del Estado de Baja California. Retrieved October 1, 2015, from [http://www.arcgis.com/home/search.html?t=content&q=tags:Tsunamis que afectaron Baja California](http://www.arcgis.com/home/search.html?t=content&q=tags:Tsunamis+que+afectaron+Baja+California).
- CICESE. (2011). Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (Antecedentes). Retrieved from <http://imecocal.cicese.mx/antecedentes.html>
- CICESE. (2014). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tijuana, Baja California*. (Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano, Ed.). Tijuana, B. C.
- CONANP. (2015). Buscador de Áreas Naturales Protegidas. Retrieved May 20, 2007, from <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/informacion/info.htm>
- Cortés-Ortiz, R. A., Ponce-Díaz, G., & Villa, M. A. (2006). El sector pesquero en Baja California Sur : un enfoque de insumo-producto. *Región y Sociedad*, XVIII(35), 107–129.
- Davidson-Arnott, R. G. D. (2005). Conceptual Model of the Effects of Sea Level Rise on Sandy Coasts. *Journal of Coastal Research*, 21(6), 1166–1173.
- Dávila López, A. (2014). Centros Integralmente Planeados (CIPS) en México. Las piezas del proyecto turístico de FONATUR. *VI Seminario Internacional de Investigación En Urbanismo*, 19. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/15985/075\\_BCN\\_Davila\\_Arturo.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/15985/075_BCN_Davila_Arturo.pdf)
- de la Lanza-Espino, G., & Cáceres-Martínez, C. (1994). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

- De Sicilia Muñoz, R. A. (2000). El corredor turístico Loreto-Nopoló-Puerto Escondido, Baja California Sur, en el contexto de los centros integralmente planeados. *Cuadernos de Turismo*, 5, 53–68.
- Delgadillo, M. A. (2015). *Universidad Nacional Autónoma De México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- DETR. (2000). *Guidelines for environmental risk assessment and management*. (Environment Agency & Institute of Environment and Health, Eds.). London: The Stationary Office.
- EEA. (1995). *Europe's Environment: the Dobris Assessment*. (E. E. Agency, Ed.). Copenhagen.
- Escudero Castillo, M., Mendoza Baldwin, E., Silva Casarin, R., Posada Vanegas, G., & Arganis Juaréz, M. (2012). Characterization of Risks in Coastal Zones: A Review. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 40(9), 894–905. <https://doi.org/10.1002/clen.201100679>
- Espejel, I., & Bermúdez, R. (2006). *Propuesta metodológica para la regionalización de los mares mexicanos. Ordenamiento ecológico marino: visión temática de la regionalización*.
- Espinosa, H. (2004). El Pacífico mexicano. *Ciencias*, (76).
- ESRI. (2015). World Imagery.
- Evans, E. P., Ashley, R., & Hall, J. W. (2004). Foresight flood and coastal defence project: scientific summary. *Foresight; Future Flooding. Scientific Summary: Volume I*, 6–31. <https://doi.org/10.1117/2.5200408.0012>
- Flores, E. Z. (1998). *Geosudcalifornia: geografía, agua y ciclones*. La Paz, B. C. S.: Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- García Silva, G., & Marinone, S. G. (2000). Tidal dynamics and energy budget in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 26(2), 323–353.
- Garcillán, P. P., González-Abraham, C. E., & Ezcurra, E. (2010). The cartographers of life: two centuries of mapping the natural history of Baja California. *Journal of Southwest*.
- Gari, S. R., Newton, A., & Icely, J. D. (2015). A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean & Coastal Management*, 103, 63–77.
- Gaxiola-Castro, G., & Durazo, R. (Eds.). (2010). *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007*. México: SEMARNAT-INE-CICESE-UABC.
- Gobierno de Baja California. (2011a). Clima. Retrieved from [http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/recursos/clima.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/recursos/clima.jsp)
- Gobierno de Baja California. (2011b). La Baja California. Retrieved from [http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/historia/baja\\_california.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/historia/baja_california.jsp)
- Gobierno del Estado de Baja California Sur. (2012). *Plan Estatal de Desarrollo de Baja California Sur 2011-2015*.
- Gómez, R. R. (2008). Propuesta de plan de manejo para la playa municipal de Ensenada, Baja California, México.
- González Abraham, C. E., Garcillán, P. P., Ezcurra, E., & Grupo de Trabajo de Ecorregiones. (2010). Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. *Boletín de La Sociedad Botánica de*

México, 87, 69–82.

- Grupo Espinoza Constructores. (2011). *Atlas de Riesgos y Peligros Naturales del Municipio de Mulegé , Baja California Sur*.
- Guido, S., Ochoa, F., Cantú, A., Castillo, A., Vargas, J. T., Armenta, M., & Ortiz, V. M. (2006). Desarrollo Turístico Regional. Monitoreo de los desarrollos turísticos e inmobiliarioa costeros del Noroeste de México 2005-2006, 112. Retrieved from <http://www.frontline.lunasexta.org/alcosta.pdf>
- Guijt, I., & Moiseev, A. (2001). *IUCN resource kit for sustainability assessment. Part A: Overview*. Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Haines, Y. Y. (2009). On the complex definition of risk: a systems-based approach. *Risk Analysis*, 29(12), 1647–1654. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01310.x>
- Helenes, J., & Carreño, a. L. (1999). Neogene sedimentary evolution of Baja California in relation to regional tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(6), 589–605. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00042-5)
- INECOL. (2004). Zonas marinas y costeras. In *Perspectivas del medio ambiente en México, GEO México* (1era. Edic, pp. 94–118). México.
- INEGI. (2008). Climatología.
- INEGI. (2013). Uso de suelo y vegetación. Retrieved July 1, 2015, from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/ususuelo/>
- Instituto de Investigaciones Oceanológicas. (2012). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada*. (Secretaría de Desarrollo Social, Ed.). Ensenada, B. C.
- Instituto de Investigaciones Sociales. (2011). *Atlas de Riesgos del Municipio de Mexicali, B.C.*
- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., & Lluch-Cota, S. E. (2003). Baja California's biological transition zones : refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography*, 59, 503–513.
- López-López, Á., & Sánchez-Crispín, Á. (2002a). Canales espaciales de articulación en el corredor turístico los Cabos, Baja California Sur, México. *Cuadernos de Turismo*, 9, 53–66.
- López-López, Á., & Sánchez-Crispín, Á. (2002b). Canales espaciales de aticulación en el corredor turísticos Los Cabos, Baja California Sur, México. *Cuadernos de Turismo*, 9(enero-junio), 53–66.
- López de Llergo, R. (2003). Principales rasgos geográficos de la República Mexicana. *Boletín Del Instituto de Geografía*, (50), 26–41.
- Lozano, R. (2008). Envisioning sustainability three-dimensionally. *Journal of Cleaner Production*, 16(17), 1838–1846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.02.008>
- McFadden, L. (2007). Governing Coastal Spaces: The Case of Disappearing Science in Integrated Coastal Zone Management. *Coastal Management*, 35(4), 429–443. <https://doi.org/10.1080/08920750701525768>
- Morán-Zenteno, D. J. (1985). Geología de la República Mexicana. Retrieved from [http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/24-Geologia de la República Mexicana.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/24-Geologia%20de%20la%20Republica%20Mexicana.pdf).
- Municipium. (2011). *Atlas de Riesgos Naturales de Comondú , Baja California Sur*. (Secretaría de Desarrollo Social, Ed.).

- Narayan, S., Hanson, S., Nicholls, R. J., Clarke, D., Willems, P., Ntegeka, V., & Monbaliu, J. (2012). A holistic model for coastal flooding using system diagrams and the Source-Pathway-Receptor (SPR) concept. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(5), 1431–1439. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1431-2012>
- Ortíz-Pérez, M. A., & de la Lanza-Espino, G. A. (2006). Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional. *Serie de Textos Universitarios*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz Figueroa, M. (2009). Agitación por oleaje en el puerto de Ensenada, Baja California, México: medidas de atenuación. *GEOS*, 29(2), 240–249.
- Ortiz Perez, M. A. (2005). Características físicas de las costas: base para su regionalización. El caso de la costa veracruzana. In P. Moreno Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, & A. C. Travieso Bello (Eds.), *Manejo Costero Integral: el enfoque municipal* (Instituto, pp. 81–94).
- Pickands, J. (1975). Statistical Inference Using Extreme Order Statistics. *The Annals of Statistics*, 3(1), 119. Retrieved from <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjsr&AN=edsjsr.2958083&lang=es&site=eds-live>
- Piñera-Ramírez, D., & Carrillo, J. (2011). *Baja California a cien años de la revolución mexicana 1910-2010*. El Colegio de la Frontera Norte, Universidad Autónoma de Baja California.
- Piñera-Ramírez, D., Jaimes-Martínez, R., & Espinoza-Meléndez, P. (2012). Trayectorias demográficas de Baja California y California , 1900-2000 . Contrastes y paralelismos. *Estudios Fronterizos*, 13(26), 33–61.
- Ponce Bastidas, J. S. (2015). *Dinámica costera en las playas de El Cardonal y Cabo Pulmo, Baja California Sur*. Instituto Politécnico Nacional.
- Ponce Díaz, G., Sánchez Hernández, S., & Ramírez Gomez, O. (2002). *Flujos comerciales de productos pesqueros en Baja California Sur*. (C. y desarrollo sustentable en S. (Siglos X. y X. en I. Boncheva, M. Cariño y O. Ramírez (com- piladores), Ed.). La Paz, B. C. S.: Universidad Autónoma de Baja California Sur-Secretaría de Educación Pública-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Rodríguez, C. L. P. (2015). *El impacto turístico en el noroeste de México y el sur de California, Estados Unidos*.
- Rosengaus Moshinky, M., Martín, J. E., & Vazquez Conde, M. T. (2002). *Atlas climatológico de ciclones tropicales en México*. (S. de Gobernación, Ed.). México, D. F.
- Salazar Vallejo, S. I., & González, N. E. (1993). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. México: CONABIO.
- Sayers, P. B., Gouldby, B. P., Simm, J. D., Meadowcroft, I., & Hall, J. (2003). *Risk , Performance and Uncertainty in Flood and Coastal Defence – A Review*. London.
- Secretaría de Turismo. (2017). Compendio Estadístico del Turismo en México 2017, 1–10. <https://doi.org/10.13246/j.cnki.jae.2013.03.002>
- Seldok, R. L. (2003). Geology and tectonics of the Baja California peninsula and adjacent areas. *Geological Society of America*, 374, 1–41.
- SIDUE. (2010). *Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor Costero San Felipe Puertecitos - Bahía de los Ángeles*.
- Silva Casarín, R., Villatoro Lacouture, M. M., Mendoza Baldwin, E. G., Delgadillo Calzadilla, M. A., Escudero Castillo, M. del C., Félix Delgado, A., & Ortiz Pérez, M. A. (2014). *Caracterización de la zona costera y*

*planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable.* México, D. F.

Solucionaria Arquitectura y Construcción. (2012). *Atlas de Riesgos y Peligros Naturales del Municipio de La Paz, Baja California Sur.* (Secretaría de Desarrollo Social, Ed.). La Paz, B. C. S.

Stopa, J. E., Arduin, F., Babanin, A., & Zieger, S. (2016). Comparison and validation of physical wave parameterizations in spectral wave models. *Ocean Modelling*, 103(July), 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.09.003>

Troyo-Diéguez, E., Cruz-Falcón, A., Norzagaray-Campos, M., Beltrán-Morales, L. F., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F. A., ... Valdez-Cepeda, R. D. (2010). Agotamiento hidro-agrícola a partir de la Revolución Verde: extracción de agua y gestión de la tecnología de riego en Baja California Sur, México. *Estudios Sociales*, 18(36), 178–201.

United Nations Environmental Programme. (2015). Global Risk Data Platform. Retrieved from <http://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=cyclones&evcat=9&lang=eng>

UNWTO. (2017). *Panorama OMT del turismo internacional, Edición 2017.* hAMBURGO. <https://doi.org/10.18111/9789284419043>

Urciaga-García, J. (2003). El fracaso de un modelo de desarrollo económico para la agricultura en Baja California Sur, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 4(7), 93–100.

Valencia-Moreno, M., & Ortega-Rivera, A. (2011). Cretácico Tardío-Eoceno Medio en el noroeste de México - evolución del arco magmático continental y su contexto geodinámico (orogenia Laramide). In T. Calmus (Ed.), *Panorama de la geología de Sonora, México.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.

Valiente, C., Cariño, M., Corona, N., & Narchi, N. E. (2016). Despojo, riesgo y vulnerabilidad: Consecuencias (no) deseadas del desarrollo inmobiliario en Baja California Sur, México. *Ecología Política.* Retrieved from <https://www.ecologiapolitica.info/?p=6048>

Vidal Zepeda, R. (2005). *Las regiones climáticas de México* (Temas sele). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Villatoro, M., Silva, R., Méndez, F. J., Zanuttigh, B., Pan, S., Trifonova, E., ... Eftimova, P. (2013). An approach to assess flooding and erosion risk for open beaches in a changing climate. *Coastal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.009>

Wang, T., Yang, Z., Wu, W.-C., & Grear, M. (2018). A Sensitivity Analysis of the Wind Forcing Effect on the Accuracy of Large-Wave Hindcasting. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(4), 139. <https://doi.org/10.3390/jmse6040139>

Zanuttigh, B. (2011). Coastal flood protection: What perspective in a changing climate? The THESEUS approach. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 845–863. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.03.015>