

**“ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD Y PROGRAMA DE ADAPTACIÓN ANTE LA  
VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN DIEZ DESTINOS  
TURÍSTICOS ESTRATÉGICOS, ASÍ COMO PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ALERTA  
TEMPRANA A EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS”**

**INFORME TÉCNICO ETAPA TRES**

**INFORME TÉCNICO FINAL**

**SECCIÓN I: ASPECTOS GENERALES**



**FONDO SECTORIAL CONACYT-SECTUR**

**PROYECTO Clave: 165452**

## Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C.

### Responsable técnico y coordinador del proyecto:

Dra. Andrea Bolongaro Crevenna Recaséns

### Investigadores participantes:

#### Oceanografía Física:

Dr. Antonio Z. Márquez García

Dr. Javier Aldeco Ramírez

M en G. Erik Márquez García

Hidrobiól. Patricia Ayala Pérez

Biól. Etna Torres Quiroz

#### Vulnerabilidad Física:

Ing. Oscar Pohle Morales

Ing. Edgar Eduardo Escobar Escalón

Ing. Noé Franco Cruz

Ing. Iván Valdez Temimilpa

Ing. César S. Rucobo y Huerdo

Hidrobiol. Valeri A. Martínez Martínez

Biol. Aideé García Vicario

#### Sistemas de Información Geográfica:

M. en C. Jerónimo Chavarría Hernández

Arq. Fernando García Vicario

#### Vulnerabilidad Social y Propuestas de Programas de Adaptación:

M. en C. Gabriela Carranza Ortiz

Dra. Marisol Anglés Hernández

M. en C. Mabel Sánchez Matías

M. en C. Ana Rosa Moreno

Biol. Michelle I. Figueroa Rodríguez

#### Sistema de Alerta Temprana:

Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda

M. en I. Vicente Torres Rodríguez

#### Becarios:

Ing. Tania Janeth Alonso Mora

Biol. Jessica Beatriz Abarca Juárez

## SECCIÓN I. ASPECTOS GENERALES

### ÍNDICE

SIGLAS.....	¡Error! Marcador no definido.
I. I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. ANTECEDENTES .....	11
III. JUSTIFICACIÓN .....	15
IV. OBJETIVOS.....	17
1. OBJETIVO GENERAL .....	17
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
V. ÁREA DE ESTUDIO .....	18
VI. METODOLOGÍA.....	30
1. MARCO JURÍDICO.....	30
2. MODELO CONCEPTUAL DE VULNERABILIDAD.....	53
3. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA COSTERA .....	55
a) MUESTREO DE SITIOS DE PLAYA EN CADA DESTINO TURÍSTICO.....	56
b) MORFOLOGÍA DE LA ZONA LITORAL .....	65
c) BATIMETRÍA DE LA ZONA MARINA .....	67
d) CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA ZONA LITORAL.....	68
e) CLIMA DEL OLEAJE .....	70
f) MODELO HIDRODINÁMICO.....	71
4. AMENAZAS POR CAMBIO CLIMÁTICO .....	76
a) ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	77
b) AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR.....	83
c) EROSIÓN COSTERA.....	86
d) INUNDACIÓN POR MAREA DE TORMENTA .....	94
e) INUNDACIÓN FLUVIAL .....	112
f) REFRACCIÓN DEL OLEAJE .....	114
5. VULNERABILIDAD FÍSICA.....	118
a) ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (CVI).....	118

b)	INDICADOR DE INUNDACIÓN POR MAREA DE TORMENTA.....	122
c)	INDICADOR DE INUNDACIÓN FLUVIAL.....	122
d)	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA .....	123
6.	VULNERABILIDAD SOCIAL.....	124
a)	INDICADOR DE GOBERNABILIDAD.....	130
b)	INDICADOR DE EXPOSICIÓN .....	131
c)	INDICADOR DE PERCEPCIÓN CIUDADANA SOBRE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LAS AUTORIDADES.....	131
d)	INDICADOR DE COHESIÓN SOCIAL.....	132
f)	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL .....	133
7.	PROPUESTAS DE PROGRAMAS DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR TURISMO.....	134

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cumplimiento municipal de instrumentos normativos y de política pública en el marco de la gestión integral del riesgo y la adaptación al cambio climático.....	50
<b>Tabla 2.</b> Límites de parámetros granulométricos (Modificado de Folk, 1974).....	69
<b>Tabla 3.</b> Coordenadas de la estación oceanográfica.....	70
<b>Tabla 4.</b> Estaciones Meteorológicas utilizadas en el estudio.....	78
<b>Tabla 5.</b> Lista de Los Índices Climáticos básicos de ETCCDMI (*Tomada de R-Climdex (Zhang y Yang, 2004)....	80
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas de los Puntos de la malla de escenarios.....	82
<b>Tabla 7.</b> Características de las ortofotografías 1:20,000 del INEGI de la zona de estudio.....	86
<b>Tabla 8.</b> Resoluciones espectrales y espaciales de algunos satélites ópticos de observación de la Tierra.....	86
<b>Tabla 9.</b> Relación de algunos huracanes en México y altura de marea de tormenta asociada.....	94
<b>Tabla 10.</b> Velocidad del viento sostenido para algunos valores de presión.....	97
<b>Tabla 11.</b> Ejemplo de valores de probabilidad.....	103
<b>Tabla 12.</b> Clasificación de inundaciones causadas por mareas de tormenta (CENAPRED, 2012).....	111
<b>Tabla 13.</b> Indicador de inundación fluvial.....	113
<b>Tabla 14.</b> Ponderación de variable Geología/geomorfología.....	119
<b>Tabla 15.</b> Ponderación de variable Tasa de erosión.....	119
<b>Tabla 16.</b> Componentes del índice topográfico.....	120
<b>Tabla 17.</b> Ponderación de índice Topográfico (Itop).....	120
<b>Tabla 18.</b> Ponderación de la variable Oleaje significativo medio.....	121
<b>Tabla 19.</b> Ponderación de la variable Tasa de cambio del nivel del mar.....	121
<b>Tabla 20.</b> Ponderación de la variable Rango mareal medio.....	121
<b>Tabla 21.</b> Clasificación del CVI.....	122
<b>Tabla 22.</b> Clasificación de la inundación causada por marea de tormenta.....	122
<b>Tabla 23.</b> Indicador de inundación fluvial.....	123
<b>Tabla 24.</b> Normalización de índices de vulnerabilidad física.....	123
<b>Tabla 25.</b> Clasificación del IVF.....	124
<b>Tabla 26.</b> Fecha de aplicación de entrevistas y encuestas en los municipios que conforman los diez destinos turísticos de interés.....	129
<b>Tabla 27.</b> Escala de Vulnerabilidad Social.....	133
<b>Tabla 28.</b> Talleres participativos realizados por municipios.....	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de las áreas de estudio.....	18
<b>Figura 2.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Acapulco, Guerrero. ....	19
<b>Figura 3.</b> Localización de la zona de estudio de los destinos turísticos Cancún y Riviera Maya, Quintana Roo. ....	21
<b>Figura 4.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Los Cabos, Baja California Sur.....	22
<b>Figura 5.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Puerto Vallarta, Jalisco .....	23
<b>Figura 6.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Nuevo Vallarta, Nayarit .....	24
<b>Figura 7.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Mazatlán, Sinaloa .....	25
<b>Figura 8.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Veracruz, Veracruz .....	26
<b>Figura 9.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero .....	27
<b>Figura 10.</b> Localización de la zona de estudio del destino turístico de Huatulco, Oaxaca.....	29
<b>Figura 11.</b> Área de levantamiento en Cabo San Lucas .....	56
<b>Figura 12.</b> Área de levantamiento en San José del Cabo .....	57
<b>Figura 13.</b> Área de levantamiento en Mazatlán.....	57
<b>Figura 14.</b> Área de levantamiento en Nuevo Vallarta .....	58
<b>Figura 15.</b> Área de levantamiento en Puerto Vallarta.....	58
<b>Figura 16.</b> Área de levantamiento en Ixtapa-Zihuatanejo .....	59
<b>Figura 17.</b> Área de levantamiento en Acapulco .....	59
<b>Figura 18.</b> Área de levantamiento en Veracruz.....	60
<b>Figura 19.</b> Área de levantamiento en las Bahías de Santa Cruz-, Chahue y Tangolunda .....	60
<b>Figura 20.</b> Área de levantamiento en la Bahía de San Agustín .....	61
<b>Figura 21.</b> Área de levantamiento en Cancún .....	61
<b>Figura 22.</b> Área de levantamiento de la Riviera Maya .....	62
<b>Figura 23.</b> Área de levantamiento en Puerto Morelos .....	63
<b>Figura 24.</b> Área de levantamiento en Playa del Carmen.....	63
<b>Figura 25.</b> Área de levantamiento en Akumal .....	64
<b>Figura 26.</b> Esquema del perfil de playa.....	65
<b>Figura 27.</b> Perspectiva del levantamiento y puntos escaneados en la playa Cancún centro nube de puntos escaneados en el mismo sitio con valores 3d (latitud, longitud y altitud). .....	66
<b>Figura 28.</b> Ejemplo de la distribución de las perfiles batimétricos: Caso Cancún.....	67
<b>Figura 29.</b> a) Perfilador de corrientes acústico doppler (ADCP) AWAC de 600 kHz. b) ADCP AWAC de 600 kHz instalado en la base listo para el fondeo.....	70
<b>Figura 30.</b> Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el área de estudio .....	78
<b>Figura 31.</b> Puntos de la malla utilizados en la generación de los escenarios climáticos .....	81
<b>Figura 32.</b> Determinación del cambio del nivel del mar (MAGICC, 2012) .....	84
<b>Figura 33.</b> Localización de estaciones mareográficas en zonas de turismo costero en México (Servicio Mareográfico Nacional). Elaborado a partir de datos de Zavala et al., 2011) .....	84
<b>Figura 34.</b> Tendencias de variación del nivel medio del mar en estaciones mareográficas del Servicio Mareográfico Nacional. Datos analizados por Zavala et al., 2011.....	85

<b>Figura 35.</b> Georreferenciación de Imágenes de Satélite en Erdas 2011 con el módulo Autosync .....	88
<b>Figura 36.</b> Creación de un ortomosaico .....	89
<b>Figura 37.</b> Georreferenciación de Imágenes de Satélite en ArcGis Arc/Info v. 9.3.1 .....	89
<b>Figura 38.</b> Georreferenciación de Imágenes de Satélite en ArcGis Arc/Info v. 9.3.1 .....	90
<b>Figura 39.</b> Ejemplos de ubicaciones de GCP utilizados en la georreferenciación.....	90
<b>Figura 40.</b> Despliegue de Imagen de Línea de Costa .....	91
<b>Figura 41.</b> Áreas de referencia para el cálculo de la tasas de erosión y acreción.....	92
<b>Figura 42.</b> Digitalización del estudio de cambio de la línea de costa dos años distintos. Acapulco, Gro.....	93
<b>Figura 43.</b> Ejemplo de configuración de la línea de costa de Cancún y batimetría de esta región .....	95
<b>Figura 44.</b> Velocidad del viento sostenido para distintos valores de presión central y latitudes del centro de un ciclón tropical sin desplazamiento. Fuente: CENAPRED. ....	97
<b>Figura 45.</b> Trayectorias del ciclón tropical con respecto a la línea de costa. Fuente: CENAPRED. ....	98
<b>Figura 46.</b> Máxima velocidad de los ciclones tropicales en el Atlántico (Rosengaus et al., 2002) .....	99
<b>Figura 47.</b> Máxima velocidad de traslación de los ciclones tropicales en el Pacífico (Rosengaus et al., 2002).....	99
<b>Figura 48.</b> Gráfica para estimar el factor de corrección por la dirección del viento.....	100
<b>Figura 49.</b> Localización del radio de máximos vientos (en color gris).....	100
<b>Figura 50.</b> Dirección de la traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Atlántico norte 1851-2000. (Rosengaus et al., 2002).....	101
<b>Figura 51.</b> Dirección de traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Pacífico nororiental. 1949-2000 (Rosengaus et al., 2002) .....	102
<b>Figura 52.</b> Probabilidad de ocurrencia de las depresiones tropicales (DT) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002).....	104
<b>Figura 53.</b> Probabilidad de ocurrencia de tormentas tropicales (TT) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	104
<b>Figura 54.</b> Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 1 (H1) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	105
<b>Figura 55.</b> Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 2 (H2) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	105
<b>Figura 56.</b> Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 3 (H3) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	106
<b>Figura 57.</b> Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 4 (H4) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	106
<b>Figura 58.</b> Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 5 (H5) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	107
<b>Figura 59.</b> Número total de ciclones tropicales en México (Golfo de México y Mar Caribe, 1851-2005 y Océano Pacífico, 1949-2005). Fuente: CENAPRED (Rosengaus et al., 2002) .....	107
<b>Figura 60.</b> Batimetría parcial frente a la zona Cancún.....	115
<b>Figura 61.</b> Ejemplo de modelado de refracción de oleaje para la zona hotelera de Cancún, Q. Roo. Se muestran las líneas ortogonales para un oleaje de T=12s, proveniente del SE.....	117
<b>Figura 62.</b> Esquema de los conceptos asociados al riesgo .....	125

**I.**

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la información científica en torno a los cambios en el clima a nivel mundial, se ha concluido que el estudio y establecimiento de acciones de adaptación, son de los principales retos ambientales a resolver en el presente siglo (IPCC, 2007). Lo anterior debido a que es de esperarse que las afectaciones producidas por inundaciones, aumento del nivel del mar, huracanes y erosión de playas, entre otros, sean más frecuentes, y sus impactos ocasionen daños en ecosistemas, poblaciones e infraestructura, perdiendo con ello una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos (Carabias *et al.*, 2007).

En el contexto global, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto (PK) se han centrado en promover la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), sin embargo, los beneficios han sido limitados en el corto plazo, lo cual ha obligado a las comunidades a centrar su atención en las medidas de adaptación, para reducir su vulnerabilidad ante los peligros climáticos actuales y futuros.

La adaptación se define como aquellos ajustes y medidas en los sistemas humanos y naturales, que son necesarios para reducir los impactos negativos del cambio climático y aprovechar sus aspectos beneficiosos (SEMARNAT, 2012a), por lo que determinar la mejor forma de adaptarse a las condiciones cambiantes del clima requiere continuos ajustes en el comportamiento de la sociedad y su relación con el medio ambiente, y en las actividades económicas.

Los factores que determinan la vulnerabilidad ante el cambio climático se asocian a una amenaza derivada de [los cambios o variaciones en el clima. Estos factores están determinados por el nivel de exposición ante una amenaza dada y la sensibilidad inherente de los sistemas naturales y humanos, contrarrestada por la habilidad de respuesta o capacidad adaptativa de dichos sistemas, que incluye recursos financieros, tecnológicos y capacidad de organización y planificación. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (IPCC, 2001).

Las propuestas para la adaptación al cambio climático de los organismos internacionales coinciden en algunas premisas básicas (SEMARNAT, 2012a):

- La adaptación es un proceso de aprendizaje que requiere de revisiones periódicas; este proceso debe estar vinculado con las estrategias, políticas y planes de desarrollo a nivel local, regional y nacional
- La creación de capacidades es un elemento importante en la construcción de procesos de adaptación, los cuales requieren de la participación amplia y dinámica de los sectores social, privado y público
- El estudio de la vulnerabilidad es un insumo fundamental para el diseño de medidas de adaptación.



Para un país como México, con condiciones de alta vulnerabilidad, es fundamental abordar el tema de la adaptación al cambio climático, el cual constituye una de las preocupaciones centrales que busca establecer los elementos necesarios para identificar, articular y orientar los instrumentos de política, así como las acciones y medidas necesarias para fortalecer las capacidades de adaptación de la sociedad, de los ecosistemas y de los sistemas productivos (SEMARNAT, 2012a).

El fortalecimiento de las capacidades de adaptación requiere de una serie de componentes, entre los que destacan: la información y los escenarios (tanto climáticos como socioeconómicos), los recursos humanos, el capital social, los sistemas transparentes para la toma de decisiones, así como la conservación y el uso sustentable de los recursos naturales (el capital natural). El papel de las instituciones públicas en el fortalecimiento de las capacidades de adaptación ha sido reconocido tanto a nivel nacional como internacional. El gobierno debe proveer la claridad en el liderazgo y las atribuciones, la estructura institucional, un marco articulado de políticas públicas, y la información necesaria para que los actores puedan tomar decisiones (PNUD, 2010).

Entre los impactos del cambio climático en las zonas costeras identificados en México se encuentran los siguientes (Gallegos, 2004):

- a) Modificaciones en la distribución de las especies marinas de interés comercial y de la disponibilidad de recursos pesqueros, debido a cambios de temperatura y de las corrientes oceánicas
- b) Afectación de arrecifes coralinos, manglares, humedales, playas y zonas bajas, por aumento del nivel del mar y erosión costera
- c) Erosión de playas por mareas altas, tormentas y huracanes
- d) Riesgo de afectación a infraestructura costera, con el que se reduce el valor de inmuebles e infraestructura urbana
- e) Incremento en los costos de las pólizas de aseguradoras
- f) Afectación a la piscicultura en zonas costeras y humedales
- g) Disminución de ingresos y, por ende, de divisas del sector turismo en las zonas costeras afectadas.

Debido a lo anterior, cada vez se realizan mayores esfuerzos por parte de distintas instituciones, que tienen como objetivo establecer una serie de directrices asociadas a medidas de adaptación al cambio climático. En este sentido, la Secretaría de Turismo (SECTUR), como parte de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), desarrolló los términos de referencia del proyecto: *“Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos.”*

Así, el presente estudio generó conocimiento sobre la vulnerabilidad de los destinos turísticos más importantes del país, ante los impactos adversos derivados de la variabilidad climática y el cambio climático. Asimismo, se identificaron acciones concretas viables que se incorporaron a las Propuestas de los Programas de

Adaptación realizadas a partir de la información científica, socio-económica y jurídico-institucional recabada y generada para cada destino en estudio. De esta forma, cada municipio contará con la información de base que podrá ser utilizada por su respectivo ayuntamiento, a fin de elaborar su propio Programa de Adaptación Climática Municipal, como parte de sus obligaciones legales en materia de política sobre el cambio climático y gestión integral del riesgo.

Es importante destacar que a nivel local aún existen áreas de oportunidad que se requieren desarrollar para llevar a cabo acciones altamente efectivas y exitosas, como el realizar diagnósticos de la región a analizar y considerar el seguimiento adecuado en el tiempo de recuperación de los componentes y funciones de los sistemas (Carabias *et al.*, 2007).

## II. ANTECEDENTES

A nivel internacional existen cada vez mayores esfuerzos de distintas instituciones que tienen como objetivo establecer una serie de directrices en el tema de cambio climático con el fin de organizar procesos de adaptación. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), ha publicado guías metodológicas, así como herramientas de evaluación y soporte que permiten brindar apoyo a países en desarrollo que pretenden realizar sus iniciativas de adaptación al cambio climático. El marco para las políticas de adaptación recomendado por el PNUD (2005) considera:

- Recopilar la información existente, identificar qué información hace falta y producirla
- Evaluar los riesgos de la variabilidad climática o vulnerabilidad actual
- Evaluar los riesgos del cambio climático y la vulnerabilidad futura
- Formular e implementar un programa nacional de adaptación, articulado con programas regionales y sectoriales
- Continuar y consolidar los procesos de adaptación por regiones.

Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) trabaja en tres grandes áreas: la creación de capacidades, el incremento de la resiliencia de los ecosistemas y el manejo del conocimiento para la adaptación (CICC, 2010). El PNUMA ha desarrollado manuales temáticos, como las guías en el tema de turismo sustentable, con el fin de proporcionar directrices para integrar la sustentabilidad en la toma de decisiones a través de la exploración de instrumentos, métodos y técnicas asociadas con la atención del cambio climático en el sector turismo (Simpson *et al.*, 2008).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) cuenta con lineamientos de política para integrar la adaptación al cambio climático con la cooperación para el desarrollo. Se enfatizan cuatro aspectos importantes: considerar la adaptación como un proceso que requiere de la revisión continua de políticas, planes y programas de desarrollo para tomar en cuenta los cambios en las condiciones climáticas y socioeconómicas; combinar enfoques formales de arriba hacia abajo, con enfoques informales de abajo hacia arriba, para proyectos a nivel local y nacional; dar atención al estudio de la vulnerabilidad como un paso importante conducente a la adaptación, y combinar la adaptación con las estrategias de desarrollo (CICC, 2010).

El Banco Mundial tiene una gama de actividades en apoyo a la creación de procesos de adaptación en países de bajo y mediano ingreso en aspectos técnicos, en el desarrollo de políticas públicas y en el fortalecimiento institucional. Asimismo, en el marco de las negociaciones de la Organización Mundial de Comercio (OMC) existen esfuerzos por eliminar obstáculos al comercio de bienes y servicios que puedan beneficiar al medio ambiente, lo cual incluye tecnologías de mitigación y adaptación para enfrentar el cambio climático (CICC, 2010).

La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), presidida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y con la participación de once secretarías de estado y otros órganos del gobierno federal, ha desempeñado un papel medular en el fortalecimiento institucional de la política de adaptación. Dicha Comisión integró y presentó, en 2007, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), que define lineamientos para la construcción de capacidades de adaptación como un aspecto fundamental para reducir la vulnerabilidad del país e impulsar la sustentabilidad de su desarrollo. Asimismo, en 2009, la CICC publicó el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), el cual establece 142 metas en su capítulo de adaptación, y estimula la transversalidad en el sector público (CICC, 2010).

Dentro de este contexto nacional se pretende dar prioridad al desarrollo institucional para la adaptación, aplicando un marco de políticas de adaptación que considere la transversalidad, coordinación, instrumentación y evaluación de políticas públicas y que se articule con acciones, a mediano plazo, de reducción de la vulnerabilidad social y física, así como la conservación y restauración de la funcionalidad ecológica de paisajes y cuencas, a través de financiamiento, investigación, desarrollo tecnológico y comunicación de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático (SEMARNAT, 2011).

Las entidades federativas han incrementado su interés, y en algunos casos han dado los primeros pasos al aumentar sus capacidades en materia de adaptación al cambio climático, a través de la elaboración e instrumentación de sus Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC), encontrándose concluidos el del Distrito Federal y los de los siguientes estados: Puebla, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Hidalgo, Guanajuato, Nuevo León, Baja California y Baja California Sur (INE, 2013). Los municipios también han empezado recientemente a implementar actividades articuladas en política de cambio climático, a través de los Planes de Acción Climática Municipal (PACMUN) (INE, 2012), los cuales son programas impulsados en México por ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, con el respaldo técnico e institucional del INE, y financiado por la Embajada Británica en México para el periodo del 2011-2013, siendo 32 municipios los que se encuentran trabajando con planes piloto en este esquema.

Por otro lado, y considerando la fuerte interdependencia que existe entre las actividades turísticas costeras y el entorno ambiental en el que se desarrollan, cabe destacar que a nivel sectorial, dependencias federales como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a través del programa Pro-árbol, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2010), y el Instituto Nacional de Ecología (INE) (2011) han desarrollado una línea prioritaria de adaptación al cambio climático en la que se destaca que la conservación de las áreas naturales protegidas, así como el incremento de la superficie de conservación de zonas costeras, constituyen una oportunidad para aumentar la capacidad de adaptación de las poblaciones que se desarrollan en esas regiones. No obstante los ecosistemas se encuentran en franca desaparición debido a la contaminación y al cambio de uso de suelo, motivado por el desarrollo económico mal planificado o mal enfocado de esas regiones (Carabias *et al.*, 2007; CONABIO, 2008).

Dentro de la gran variedad de métodos para estimar la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático, se pueden distinguir dos sistemas principales. Por una parte, se encuentran las metodologías dirigidas a evaluar la vulnerabilidad frente a una amenaza específica, asociada a un sistema determinado, y por otra, están aquellas metodologías en donde las distintas amenazas son analizadas en conjunto, como un todo; es decir, este último grupo considera a la variabilidad y el cambio climático en sí mismo como la amenaza. De estos métodos destacan aquellos que se integran a través de índices que expresan numéricamente dicha vulnerabilidad. Esto permite su aplicación en diferentes sitios, haciendo posible establecer comparaciones espaciales objetivas y visualizar los cambios de la vulnerabilidad en el tiempo. No obstante, debido a que los factores que dan origen a la vulnerabilidad varían de acuerdo a la escala de análisis y características propias de cada lugar, la selección de dichos indicadores debe sujetarse a los ajustes correspondientes. Dentro de los métodos que integran índices para el análisis de vulnerabilidad, se tienen los siguientes:

1) Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC) propuesto por el Instituto Meteorológico Nacional y el Ministerio de Ambiente y energía de Costa Rica (IMN y MINAE, 2005), basado en el marco conceptual Presión-Estado-Respuesta, según el cual una presión aplicada a un sistema que se encuentra en un estado dado provoca una respuesta para tratar de volver al equilibrio. En este caso, la presión corresponde al clima, el estado se caracteriza por una serie de indicadores socioeconómicos y biofísicos que definen su vulnerabilidad actual, y la respuesta comprende las medidas de adaptación y las fortalezas locales.

2) Sullivan y Meigh (2005) proponen una serie de variables más complejas para la determinación del Índice de Vulnerabilidad Climática, pero responden al mismo objetivo que el IVC, contando con una estructura similar, que incorpora proyecciones de condiciones futuras en el análisis, así como la evaluación ponderada a través de la asignación de diferentes pesos a cada uno de sus componentes.

3) El Prototipo de Indicador de Vulnerabilidad-Resiliencia (VRIP) (Moss *et al.*, 2000; Moss *et al.*, 2001; Brenkert y Malone, 2003; Brenkert y Malone, 2005), difiere de los índices anteriores, ya que su resultado no es absoluto, sino que corresponde a la vulnerabilidad (o resiliencia) respecto a una unidad geográfica de referencia. Por lo anterior, este método es de especial interés para la identificación de zonas de acción prioritaria en estudios comparativos de vulnerabilidad al cambio climático. Sin embargo el VRIP puede considerarse como una aproximación limitada a la evaluación de la vulnerabilidad, debido a que su estructura está basada en indicadores de capacidad de adaptación para denotar resiliencia, en combinación con indicadores de sensibilidad. Si bien la sensibilidad se identifica por diversos autores como uno de los elementos que definen la vulnerabilidad de un sitio (Charvériat, 2000; IPCC, 2001; Turner *et al.*, 2003; Luers, 2005), todos la mencionan como parte de un conjunto de factores.

4) O'Brien *et al.* (2004) desarrolló un método para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático y la globalización económica en India, en el que los resultados obtenidos a través de índices, se representan gráficamente, reflejando su distribución espacial. De igual forma que el VRIP, el perfil de vulnerabilidad al cambio climático desarrollado en este estudio se basa en la combinación de un índice de capacidad de adaptación con un índice de

sensibilidad; sin embargo, en este caso el índice de sensibilidad considera también el factor de exposición, ajustándose a la definición de vulnerabilidad del IPCC (2001).

Para el presente proyecto de investigación, se realizó una comparación de distintos trabajos y metodologías mediante las cuales se midió la vulnerabilidad (Kaspersen, 2003; Chang, 2004; Álvarez y Cadena, 2006; IPCC, 2007; Marshall *et al.*, 2009; SEMARNAT e IMTA, 2010; Rodríguez y Bozadas, 2010; Seingier *et al.*, 2011). Sin embargo al ser ésta un concepto en construcción, en el que no existe consenso entre los investigadores (SEMARNAT e IMTA, 2010), se realizó una adecuación, complementación y análisis a profundidad desde la perspectiva de los objetivos del presente estudio, identificando aquellas variables físicas y sociales relevantes para el sector turismo, de cada uno de los diez destinos turísticos comprendidos en el presente trabajo.

Cabe mencionar que ninguna otra industria socioeconómica de la zona costera depende tanto de los recursos naturales bien conservados como la turística. Esto es en tal medida, que puede afirmarse con toda seguridad que sin anchas playas de arena blanca, aguas transparentes, paisajes naturales atractivos, arrecifes coralinos coloridos y exuberantes, y recursos pesqueros abundantes y sanos, el turismo costero no existiría. El medio ambiente es un recurso sobre el que descansa la prosperidad de la industria turística, e indica qué destinos turísticos consolidados han caído en desuso debido a la degradación ambiental local (Luca, 2000).

### III. JUSTIFICACIÓN

En el año 2011 México ocupó el décimo lugar entre los diez destinos turísticos más importantes del mundo, lo cual colocó al turismo en la tercera fuente de divisas más importante del país (SECTUR, 2011). Durante las últimas décadas el desarrollo turístico se ha basado en criterios relacionados con atractivos fisiográficos, de recursos naturales y de belleza escénica. Los principales núcleos de este tipo se ubican en las playas de Cancún y la Riviera Maya, en Guerrero, Oaxaca, Colima, Jalisco, Nayarit y Baja California Sur; sin embargo, en el proceso de creación y progreso de estos destinos turísticos el concepto de vulnerabilidad a cambios y fenómenos hidrometeorológicos ha tenido poca relevancia. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos la creación de polos turísticos ha ocasionado daños ambientales significativos, como destrucción de manglares y humedales, que sirven de amortiguadores durante eventos hidrometeorológicos extremos (Moreno y Urbina, 2008). En consecuencia, los principales sitios turísticos del país se ubican en zonas de alta vulnerabilidad.

Los factores que configuran la vulnerabilidad ante el cambio climático se asocian a una amenaza derivada de los cambios o variaciones en el clima. Estos factores están determinados por el nivel de exposición ante una amenaza dada y la sensibilidad inherente de los sistemas naturales y humanos, contrarrestada por la habilidad de respuesta o capacidad adaptativa de dichos sistemas. La fuerte amenaza del sector turístico se advierte al ver que de los diez huracanes más intensos en la historia del Océano Atlántico, seis han incidido en el mar Caribe y los otros cuatro en el Golfo de México (INE, 2006).

El turismo costero puede sufrir daños ante el cambio climático por erosión de las playas, aumento del nivel del mar (que también afecta el uso del suelo y la infraestructura en las zonas costeras), marejadas, tormentas y reducción en el abastecimiento de agua. Además, pueden verse afectados no solamente los hoteles, sino también otros desarrollos que los acompañan, como marinas y campos de golf (Magrin y Gay, 2007). Los ciclones de alta intensidad pueden impactar a las poblaciones asociadas económicamente con servicios turísticos, con repercusiones sociales importantes, por ejemplo en el empleo.

Considerando que las amenazas climáticas que experimenta México se harán cada vez más severas, se torna urgente el desarrollo y la implementación de acciones que permitan disminuir la vulnerabilidad de las zonas turísticas (CICC, 2009), así como implementar medidas de adaptación como son, el incluir reordenamientos territoriales y ecológicos que consideren la importancia del uso del suelo y la protección de áreas críticas, así como instrumentar reglamentos de construcción para la seguridad de las estructuras (INE, 2006). La adaptación requiere del compromiso de autoridades en los tres órdenes de gobierno: municipal, estatal y federal. Debe entenderse que la adaptación se da en los niveles locales y que para la mayoría de las autoridades municipales tienen más sentido las estrategias de adaptación, pues en ellas se ven con claridad las amenazas y las oportunidades (Moreno y Urbina, 2008).

En específico el tema de la vulnerabilidad en el sector turismo nos lleva a tres preguntas básicas: ¿Qué o quiénes son vulnerables?; ¿A qué es vulnerable? y ¿Por qué es vulnerable? En respuesta a estas preguntas se definió lo siguiente: a) ¿Qué o quién?: Los destinos de playa, los turistas, la población, la infraestructura y los sistemas socio-ambientales, b) ¿A qué?: A huracanes, inundaciones fluviales y debido a mareas de tormenta, refracción del oleaje, sequías, ondas de calor, vientos extremos y aumento del nivel del mar y c) ¿Por qué?: Porque puede haber pérdidas humanas, daños económicos por desocupación hotelera, daños a la propiedad, a la infraestructura, desempleo, y pérdida de nuestro patrimonio cultural, ambiental y/o natural (Magaña, 2012).

Considerando lo anterior, el presente proyecto generó conocimiento sobre la vulnerabilidad de los destinos turísticos más importantes del país ante los impactos adversos derivados de la variabilidad climática y el cambio climático, con el propósito de proponer medidas de adaptación concretas viables para reducir dicha vulnerabilidad con base en información científica, socio-económica y jurídico-institucional, la cual fue recabada de cada destino turístico de sol y playa bajo estudio.



## IV. OBJETIVOS

### 1. OBJETIVO GENERAL

Generar una metodología de diagnóstico sobre la vulnerabilidad ante diversos impactos adversos debidos a la variabilidad climática y el cambio climático, y proponer recomendaciones específicas para promover programas de adaptación, incluyendo el desarrollo de un sistema de alerta temprana ad hoc para el sector turístico.

### 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar los elementos relacionados con la vulnerabilidad actual de diez destinos turísticos de sol y playa seleccionados (Acapulco, Cancún, Riviera Maya, Los Cabos, Puerto Vallarta, Nuevo Vallarta, Mazatlán, Veracruz, Ixtapa-Zihuatanejo y Huatulco), ante las actuales y potenciales afectaciones de la variabilidad del clima y fenómenos hidrometeorológicos extremos.
- b) Analizar y representar en mapas la vulnerabilidad actual de los diez destinos turísticos y bajo condiciones de cambio climático
- c) Identificar y proponer, en conjunto o en forma socializada con los responsables del sector a nivel federal, estatal y local en los ocho destinos, medidas específicas de adaptación, que sean viables y que permitan adaptarse a la variabilidad climática y el cambio climático y reduzcan la vulnerabilidad y los riesgos ante las amenazas climáticas. Las medidas identificadas servirán de base para la elaboración de propuestas de programas de adaptación.
- d) Jerarquizar medidas y estrategias de adaptación, a partir de realizar análisis de costo beneficio, de barreras y oportunidades de los destinos turísticos seleccionados y de la definición de esquemas financieros para su potencial instrumentación.
- e) Promover y fundamentar el desarrollo de un sistema de alerta temprana ad hoc para el sector turismo, para los siguientes fenómenos hidrometeorológicos extremos: temperaturas extremas, lluvias, vientos y oleaje de huracanes e incremento del nivel del mar, apoyándose en el Sistema de Alerta Temprana operado por la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación
- f) Elaborar mapas de vulnerabilidad y riesgo de cada uno de los diez destinos seleccionados ante la variabilidad climática y el cambio climático para apoyar los procesos de planeación en el sector turismo en los ámbitos nacional, estatal y municipal.

## V. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a diez de las principales zonas turísticas del país, las cuales son: Acapulco, Cancún, Riviera Maya, Los Cabos, Puerto Vallarta, Nuevo Vallarta, Mazatlán, Veracruz, Ixtapa-Zihuatanejo, Huatulco (Figura 1).



Figura 1. Localización de las áreas de estudio

## ACAPULCO

El municipio de Acapulco de Juárez se ubica al sur de la capital del Estado de Guerrero; se localiza entre los paralelos 16° 41' y 17° 13' de latitud norte y los 98° 32' y 99° 58' de longitud oeste respecto del meridiano de Greenwich. Sus colindancias municipales son: al norte, Chilpancingo de los Bravo y Juan R. Escudero; al sur, el Océano Pacífico; al oeste, Coyuca de Benítez y al este, San Marcos. Su extensión territorial es de 1,882.6 km<sup>2</sup> que representan el 2.9% de la superficie estatal. Comparte el dominio de las lagunas Tres Palos y Coyuca, además de los manantiales de aguas termales en Dos Arroyos, La Concepción y Aguas Calientes. El clima predominante es el cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 25°C. El régimen de lluvias se presenta en los meses de junio a septiembre, con una precipitación media anual que oscila entre los 1,000 y 1,700 milímetros. La ciudad de Acapulco, es la cabecera del municipio de Acapulco de Juárez en el Estado de Guerrero, el cual se localiza en el sur del litoral del Pacífico mexicano, y es uno de los centros turísticos más importantes del país. El área de estudio se localiza en las coordenadas 16° 55' 04" latitud norte, entre los 99° 55' y los 99° 49' longitud oeste; correspondiente a una extensión de 149.64 Km<sup>2</sup> (Figura 2). Cuenta con una población de 789,971 habitantes (INEGI, 2010), siendo su principal actividad económica el turismo y sus servicios asociados (industria hotelera, restaurantes, transportes y comunicaciones, servicios financieros, seguros, bienes raíces, bancarios, servicios comunales, sociales y personales), ya que esta es la que concentra una mayor actividad económica con 71,624 empleos; seguida de la rama comercial con 34,322 empleos y la rama manufacturera con 6,436 empleos.

Morfológicamente presenta tres formas de relieve: accidentado (40%); semiplano (40%); y plano (20%). Cuenta con una altitud que varía desde el nivel del mar hasta los 1,699 metros, siendo los cerros Potrero, San Nicolás y Alto Camarón los de mayor altura en el municipio. Con respecto a las afectaciones debidas a fenómenos hidrometeorológicos, Acapulco ha padecido, cada vez con mayor frecuencia dichos eventos, como son los ciclones tropicales, trayendo consigo inundaciones sobre el litoral del municipio donde afecta a la población más vulnerable.



Figura 2. Localización de la zona de estudio del destino turístico de Acapulco, Guerrero.

## CANCÚN Y RIVIERA MAYA

La ciudad de Cancún es la cabecera del municipio Benito Juárez del Estado de Quintana Roo. Cancún es un destino turístico internacional; su fama es de alcance mundial por la belleza de su mar y playas, y sus instalaciones hoteleras y servicios de primera categoría. En menos de 3 décadas su población creció de unas cuantas decenas de habitantes a ser la localidad más poblada del estado con 426,386 habitantes. La zona de estudio se localiza en las coordenadas 21°10' 44" de latitud norte y de los 86° 56' 29" y los 86° 47' 24" de longitud oeste (Figura 3), con una extensión de 332.48 Km<sup>2</sup>.

Durante la década de los noventa se produjo la expansión territorial de la hotelería en la región. Para ese momento, Cancún ya cubría un frente costero de 18 km, ocupado esencialmente por hoteles, pero en esta nueva etapa se consolidó un *continuum* hotelero-residencial de más de 130 km que alcanzó a Tulum. El desarrollo urbano-turístico de esta franja litoral se inició con la construcción de Puerto Aventuras, donde se localizó la principal marina para yates del litoral del Caribe mexicano (Córdoba y García, 2003).

El municipio de Tulum está en la porción norte del estado; colinda al sur con el municipio de Felipe Carrillo Puerto, al este con el Mar Caribe, y al oeste con el municipio de Felipe Carrillo Puerto. El municipio cuenta con una extensión de 2,049.94 Km<sup>2</sup>. Se localiza en la zona centro-norte del estado, en la llamada Riviera Maya (Figura 3); su cabecera es la ciudad de Tulum y su territorio fue segregado del municipio de Solidaridad. Se encuentra sobre una planicie de origen tectónico donde las máximas elevaciones son inferiores a los 25 metros sobre el nivel del mar, estas elevaciones disminuyen hacia la zona de la costa. El clima del municipio es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26°C. La precipitación pluvial anual oscila entre los 1,300 y los 1,500 mm. La roca caliza, sumamente permeable, que forma el suelo de esta región no permite la existencia de corrientes de aguas superficiales, pero existen varias lagunas como son laguna La Unión y laguna Macario Gómez, entre otras.

Playa del Carmen también forma parte de la Riviera Maya; pertenece al municipio de Solidaridad en el Estado de Quintana Roo. El municipio tiene una población de 159, 310 habitantes (INEGI, 2010); en donde Puerto Aventura cuenta con 5,979 y Playa del Carmen con 14,9923 habitantes. Solidaridad se localiza en la porción norte del estado, entre las coordenadas geográficas 20°45' y los 19°46' de latitud norte y 86°57' y 88°05' de longitud oeste (Figura 3), con una extensión de 2, 205 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 4.33 % de la superficie del estado. Tiene como colindancias: al norte con el Estado de Yucatán y con los municipios de Lázaro Cárdenas y Benito Juárez; al este con el Mar Caribe y el municipio de Cozumel; al sur con el Mar Caribe y el municipio de Felipe Carrillo Puerto y al oeste con el Municipio de Felipe Carrillo Puerto y el Estado de Yucatán.

La vegetación se conforma de selva mediana subperennifolia y subcaducifolia, y selva baja subperennifolia, que son particularmente valiosas para la explotación forestal debido a la presencia de maderas preciosas como la caoba y el cedro. Por otra parte, en zonas próximas a las áreas inundables y al mar se han desarrollado comunidades

de manglares, aunque la superficie que ocupan es relativamente pequeña. La zona costera posee manchones de vegetación de dunas.



Figura 3. Localización de la zona de estudio de los destinos turísticos Cancún y Riviera Maya, Quintana Roo.

## LOS CABOS

Los Cabos es uno de los cinco municipios del Estado de Baja California Sur, México, y se localiza en su extremo sur. La cabecera municipal es San José del Cabo y la ciudad más importante es Cabo San Lucas, a 32 km de la cabecera. Es uno de los destinos turísticos más importantes de México. Se ubica geográficamente entre los 23°40' y 22°51' de latitud norte y los 109°24' y 110°07' de longitud oeste, ocupando una extensión de 3, 754 km<sup>2</sup> (POEL-MLC, 2003) (Figura 4).

Debido a su ubicación geográfica, la zona de Los Cabos se encuentra bajo la influencia climática de varios regímenes, sin que ninguno sea predominante (Valdés, 2006). Sin embargo, los climas característicos del municipio de Los Cabos son: cálido-seco, al norte de San José del Cabo, y templado-seco en la parte más alta de la sierra de La Laguna y San Lázaro.

San José del Cabo se encuentra ubicado en el extremo meridional del Estado de Baja California Sur y tiene como principal actividad el turismo. Es el punto de partida del corredor turístico de 45 km ó 30 millas que termina en Cabo San Lucas; sus playas son Costa Azul, Santa María y Punta Palmilla.



Figura 4. Localización de la zona de estudio del destino turístico de Los Cabos, Baja California Sur

## PUERTO VALLARTA

El municipio de Puerto Vallarta forma parte de la región Costa Norte, colindando al norte con el Estado de Nayarit y el municipio de San Sebastián del Oeste, al este con los municipios de San Sebastián del Oeste y Mascota, al Sur con los municipios de Mascota, Talpa de Allende y Cabo Corrientes, al oeste con el municipio de Cabo Corrientes, el Océano Pacífico y el Estado de Nayarit. Se localiza entre las coordenadas geográficas 20°27' y 20°59' latitud norte, y 104°55' y 105°33' longitud oeste (Figura 5). Se localiza a una altura de 2 metros sobre el nivel del mar y tiene una superficie de 1,300.67 km<sup>2</sup> (Gobierno del Estado de Jalisco, 2013). El número total de personas que viven en el municipio de Puerto Vallarta es de 255,725 (INEGI, 2010)

El clima del municipio es semitropical y húmedo; la temperatura media anual es de 25°C. El municipio cuenta con varios ríos de aguas permanentes: el río Ameca que sirve de límite entre Jalisco y Nayarit, el Mascota que descarga sus aguas en el anterior, El Pitillal, La Vena de Santa María y El Cuale; los arroyos de Las Amapas, Las Estacas, El Carrizo, Palo María, Mismaloya, Los Horcones y el de Quimixto; al norte de la ciudad se encuentra el estero de El Salado (Gobierno del Estado de Jalisco, 2013).



Figura 5. Localización de la zona de estudio del destino turístico de Puerto Vallarta, Jalisco

## NUEVO VALLARTA

Nuevo Vallarta es una localidad y destino turístico del municipio de Bahía de Banderas del Estado de Nayarit. Se localiza entre las coordenadas 20° 45' 18" de latitud norte y 105°17'28" y 105°15' 04" de longitud oeste, con una extensión de 35.33 Km<sup>2</sup> (Figura 6). Forma parte de la Riviera Nayarit, y es uno de los destinos turísticos más visitados del estado, ya que hace conurbación con su vecino Puerto Vallarta del Estado de Jalisco. Para el censo de población y vivienda 2010 (INEGI, 2010) la localidad contaba con 1,302 habitantes, formando casi el 1% de la población total del municipio (105,394 habitantes 2010). La zona está conformada por las poblaciones de San José, Bucerías, Valle Dorado, Jarretaderas, El Tigre, Mezcales y Cruz de Huanacastle. Nuevo Vallarta está en gran urbanización gracias a la frontera con Jalisco.

El municipio de Bahía de Banderas forma parte de una de las regiones más significativas del estado por su complejidad fisiográfica y sus vínculos con la placa de Cocos, lo que le imprime a la zona una especial atención por su grado de sismicidad. El Río Ameca sirve de límite entre los estados de Nayarit y Jalisco. El clima predominante es cálido húmedo, con una temporada seca que abarca de cinco a siete meses, y temperaturas medias promedio superiores a los 20°C.

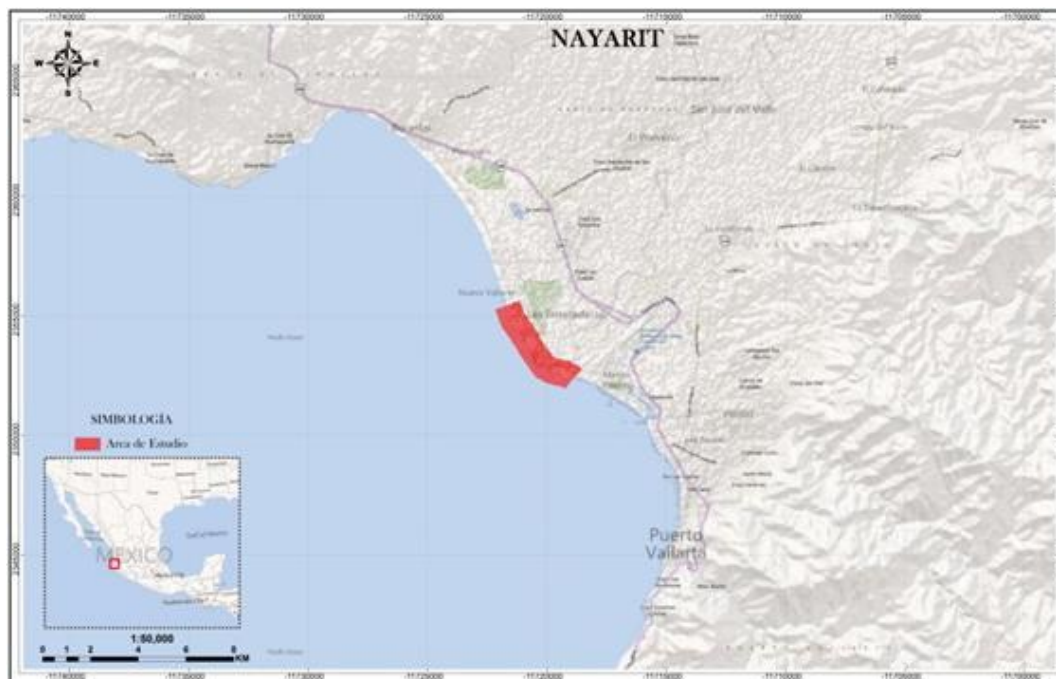


Figura 6. Localización de la zona de estudio del destino turístico de Nuevo Vallarta, Nayarit



## MAZATLÁN

El municipio de Mazatlán está localizado en la porción sur del Estado de Sinaloa, entre los 23°04 y 23°54' de latitud norte y los 105° 55' y 106° 38' de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de San Ignacio y el Estado de Durango; al este con el municipio de Concordia; al sur con el municipio de Rosario y el Océano Pacífico (Figura 7). Su extensión territorial comprende 3,068.48 kilómetros cuadrados, que representa 4.5% de la superficie del estado. La altitud del municipio varía desde el nivel del mar hasta los 2, 200 metros. El municipio de Mazatlán es cruzado por el Río Quelite ubicado en la parte norte y el Río Presidio en la parte sur (Julien, 2012).

Por su situación geográfica, este municipio, enclavado en la llanura Costera del Pacífico, en su parte oeste, y en la Sierra Madre Occidental al oriente, presenta un régimen de clima de tipo tropical lluvioso en verano, con una temporada de sequía muy marcada. Sobre las zonas montañosas se presenta un clima semi-cálido-subhúmedo, con temperatura media anual de 24°C, y sobre su planicie costera se manifiesta un clima semi-cálido semi-seco con temperatura media anual de 25°C. La altitud modifica el clima conforme se aleja del Ecuador hacia el Hemisferio Norte, de cálido a templado, y finalmente frío; el trópico de cáncer cruza al municipio en su parte media y delimita la zona cálida de la templada, acentuándose en el territorio las características transicionales entre clima semiárido y semihúmedo. Por otra parte la región está sujeta periódicamente a la influencia de tormentas tropicales y ciclones, lo que explica las variaciones de la precipitación. La temperatura media anual va de los 19.9°C en el mes de febrero, a 28.5°C en el mes de agosto, que es el mes más cálido (PDU, 2005). Las precipitaciones tienen lugar durante el verano y su aparición coincide con la entrada de esta estación; inician a mediados de junio con unos 34.80 mm, y ascienden rápidamente hasta alcanzar su máximo: 206.18 mm. A mediados del mes de septiembre, a partir del inicio del otoño, las lluvias empiezan a escasear, y el mínimo se presenta en el mes de mayo.



Figura 7. Localización de la zona de estudio del destino turístico de Mazatlán, Sinaloa

## VERACRUZ

Veracruz se sitúa en las costas del Golfo de México. Está constituido por planicies, predominando un clima cálido húmedo en el 80% de su territorio. La temperatura media anual es mayor de 22° C. Tiene una superficie de 71,820 km<sup>2</sup>, con una franja costera de 684 km, la cual representa el 3.7% de la superficie total de México. Veracruz es un estado que sobresale por su vocación agrícola, forestal y pesquera, pero también cuenta con una gran estructura productiva industrial en ramas como la petroquímica básica y la generación de energía eléctrica. Cuenta con alrededor de 7, 643,194 habitantes (INEGI, 2010).

En lo que concierne al área de estudio, Boca del Río es uno de los municipios del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Está situado en la costa del Golfo de México, en la desembocadura del Río Jamapa, al sur de la localidad de Veracruz, y forma parte de la zona metropolitana de Veracruz. De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, la población de Boca del Río fue de 9,947 habitantes. Se localiza en la zona centro costera del estado, en las coordenadas 19°10' latitud norte y 96°10' y 96°03' longitud oeste (Figura 8), con un área de 107.64 Km<sup>2</sup>, dentro del polígono a trabajar (SIATL Versión 2.2), a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte y noroeste con Veracruz, al este con el Golfo de México, al sureste con Alvarado, y al sur con Medellín.



**Figura 8.** Localización de la zona de estudio del destino turístico de Veracruz, Veracruz

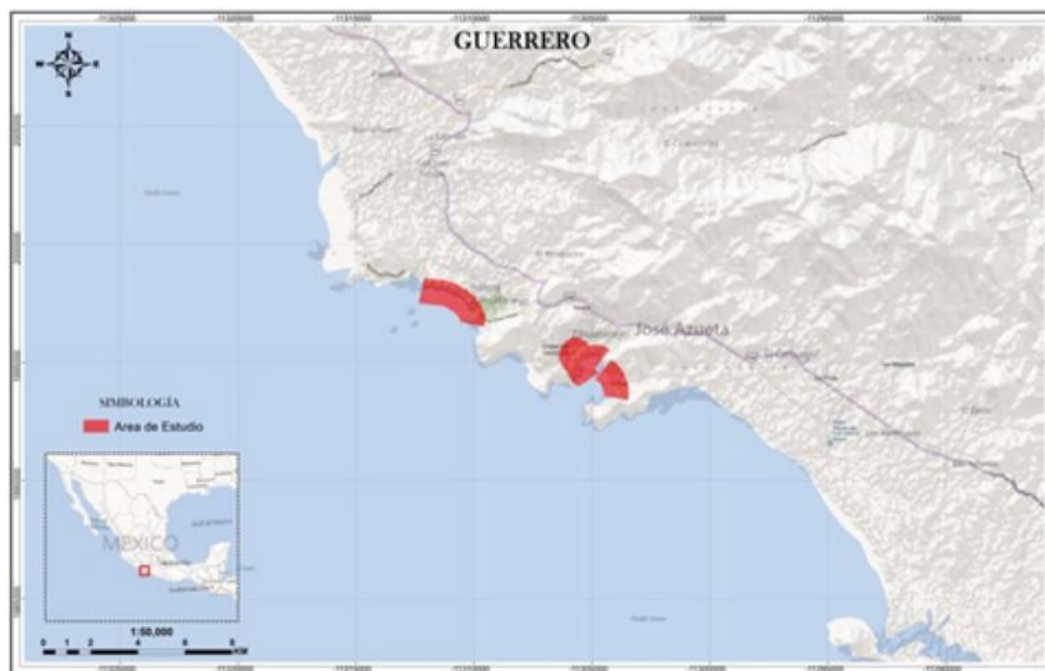
## IXTAPA-ZIHUATANEJO

Ixtapa-Zihuatanejo está localizado en las costas del Estado de Guerrero, al suroeste de la Ciudad de México, en el área conocida como el Pacífico Dorado, que es parte de la famosa Riviera Mexicana. Se localiza en las coordenadas 17°40' latitud norte, y los 101°38" y los 101° 37' longitud oeste. La zona de estudio comprende una extensión de 3.50 km<sup>2</sup> (Figura 9).

El clima que predomina en la zona es el cálido subhúmedo con lluvias abundantes en verano y escasas lluvias invernales. El régimen pluvial es de tipo torrencial con una precipitación media anual de entre 800 y 1500 mm (Hernández-Ramírez, 2006). Cuenta con un promedio de 300 días soleados y temperaturas que oscilan comúnmente entre los 23 y 33°C.

Las zonas accidentadas abarcan la mayor parte del territorio, aunque también cuenta con zonas semiplanas y planas. Entre sus elevaciones principales destacan la Sierra de la Cuchara y la Cumbre de la Peatada, cuyas alturas alcanzan hasta los 1,000 msnm (Orozco *et al.*, 2012).

Ixtapa-Zihuatanejo tiene una importante afluencia turística nacional y extranjera, gracias a sus hermosas playas y arrecifes. Cuenta con mares abiertos y playas familiares alrededor de su costa. El turismo es la principal fuente de ingresos para los habitantes (Orozco *et al.*, 2012).



**Figura 9.** Localización de la zona de estudio del destino turístico de Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero

## HUATULCO

Santa María Huatulco es un municipio que se encuentra en la región Costa en el Estado de Oaxaca, al final de la Sierra Madre del Sur, e integra al distrito Pochutla. Cuenta con una extensión territorial de unos 579.22 km<sup>2</sup>, que representan el 0.61% del estado. De acuerdo con el INEGI (2010) el municipio de Santa María Huatulco, está conformado por una población total de 38,629.

La geomorfología presente en el municipio se encuentra definida por las estribaciones de la Sierra Madre del Sur, las cuales llegan al mar formando bahías, acantilados y escarpes rocosos, los cuales caracterizan a esta porción del Pacífico Mexicano. Su relieve es quebrado y montañoso, y cuenta con paisajes topográficos como cerros redondeados, cerros aislados, lomeríos suaves, dunas, playas de bahías, escarpes, acantilados, islas y farallones. Las elevaciones van desde el nivel del mar hasta poco más de los 200 msnm (CONANP, 2003).

La conformación hidrológica de Huatulco corresponde a cuencas de tamaño medio que incluyen ríos considerados como perennes (Cuajinicuil-Xúchilt, Todos Santos, Cacaluta, Tangolunda, etc.) y cuyo caudal no alcanza para permanecer todo el año (González, 1996). Estos ríos comprenden fases de intercambio entre zonas altas (relacionados con las cuencas más grandes) y zonas bajas, de ahí su importancia funcional en el paisaje y en los flujos de nutrientes y energía (CONANP, 2003).

La altitud a la que se encuentran las cuencas no permite la aparición de lluvias constantes, y es debido a la cercanía con el mar y el viento, que existe cierto grado de humedad en el área. Este fenómeno tiene un papel relevante para la vegetación, ya que se trata de sitios muy secos.

El área de estudio se localiza entre las coordenadas 15°57' latitud norte, y 96° 13' y 96° 00' longitud oeste (Figura 10). Con respecto a las cuencas, el área a cubrir consta de 782.92 Km<sup>2</sup> (SIATL versión 2.1).

Huatulco es un lugar popular y turístico a nivel nacional e internacional. Sus playas, hoteles y actividades recreativas son su especialidad por ser uno de los lugares con más desarrollo turístico en el país. Dentro de su territorio se encuentra el centro turístico Bahías de Huatulco, también considerado de gran importancia dentro del contexto turístico nacional. Bahías de Huatulco, ha venido adquiriendo cada vez mayor relevancia debido a la gran cantidad de hoteles y servicios, dirigidos principalmente a las clases pudientes nacionales y extranjeros, por lo que es considerado como un centro turístico de gran nivel, el cual ha propiciado que el municipio sea uno de los más prósperos y con mayor desarrollo urbano del Estado de Oaxaca.

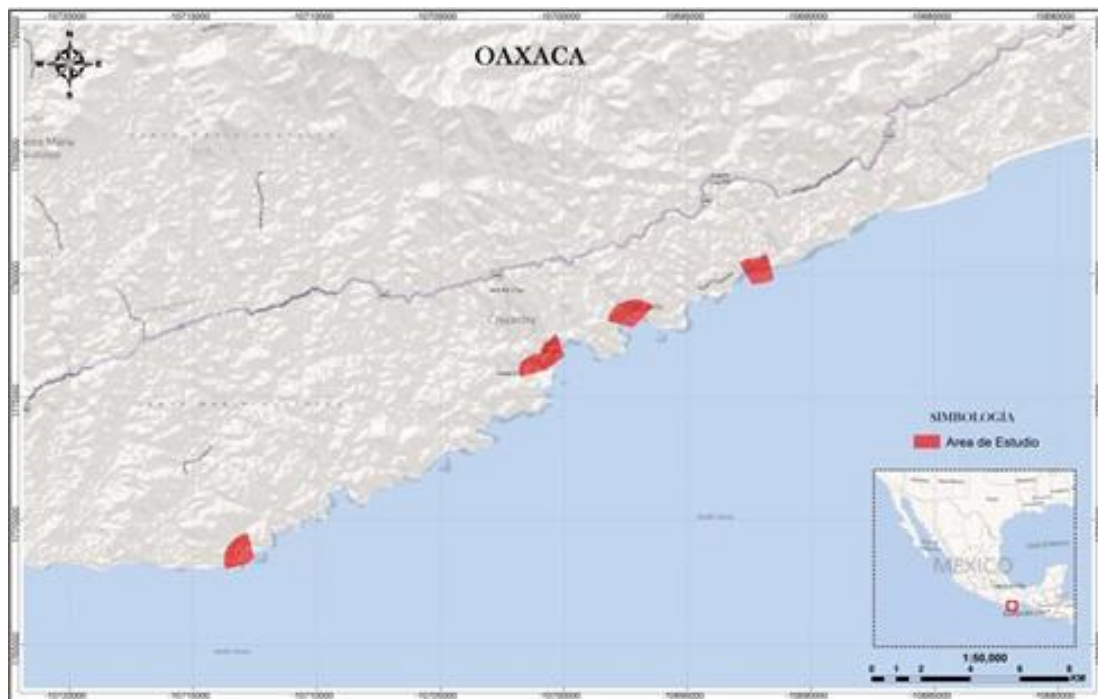


Figura 10. Localización de la zona de estudio del destino turístico de Huatulco, Oaxaca

## VI. METODOLOGÍA

### 1. MARCO JURÍDICO

El desarrollo normativo e institucional en materia de protección y preservación del medio ambiente, cambio climático y gestión integral de riesgos se apunala en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 1917), cuyo artículo 4º, párrafos quinto y sexto, respectivamente, establecen el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, así como la obligación del Estado de garantizar su respeto y la responsabilidad para quien provoque daño y/o deterioro ambiental. También se reconoce el derecho de toda persona al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado debe garantizar este derecho y las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sostenible de los recursos hídricos.

En lo relativo al desarrollo nacional, el artículo 25 de la CPEUM establece que corresponde al Estado la rectoría del mismo para garantizar que sea integral y sostenible. A tales fines, planeará, conducirá, coordinará y orientará la actividad económica nacional, y llevará al cabo la regulación y fomento de las actividades que demande el interés general en el marco de libertades que otorga la propia Constitución. Al desarrollo económico nacional concurrirán, con responsabilidad social, el sector público, el sector social y el sector privado, sin menoscabo de otras formas de actividad económica que contribuyan al desarrollo de la Nación.

Es importante señalar que a efecto de reglamentar estos mandatos constitucionales se han promulgado diversas leyes sectoriales a nivel federal, que se relacionan con acciones en materia de cambio climático, a saber: Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley de Planeación, Ley General de Asentamientos Humanos, Ley Agraria, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Desarrollo Rural Sustentable, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley de Vivienda, Ley General de Bienes Nacionales, Ley de Adquisiciones y Obras Públicas, Ley Federal de Telecomunicaciones, Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Turismo, Ley General de Protección Civil y Ley General de Cambio Climático. Además de ello existen diversas convenciones internacionales, que de conformidad con el artículo 133 constitucional, una vez reunidos los requisitos formales, forman parte de la Ley suprema de la Unión. No obstante este amplio marco normativo, este estudio hará referencia sólo a aquel que tenga una relación más directa con las acciones de adaptación al cambio climático.

Así, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988), considera de utilidad pública: “la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático” (artículo 2º, fracción V) y establece como facultad de la federación “la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático” (artículo 5º, fracción XXI); asimismo, establece en su artículo 41, que en el Gobierno Federal, las entidades federativas y los municipios fomentarán investigaciones científicas y promoverán programas para el desarrollo de técnicas y procedimientos que permitan prevenir, controlar y abatir la

contaminación, propiciar el aprovechamiento racional de los recursos y proteger los ecosistemas, determinar la vulnerabilidad, así como las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

Por lo que hace a los instrumentos internacionales, a partir de la firma de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebrada en 1992, se establecen las bases de un marco jurídico e institucional ante el cambio climático. Sobresale el impulso de México para la instrumentación del Marco de Adaptación, aprobado en la 16ª Conferencia de las Partes, celebrada en Cancún en el año 2010, el cual establece que la adaptación debe enfrentarse con el mismo nivel de prioridad que el de la mitigación. Bajo este enfoque, los esfuerzos nacionales para la adaptación al cambio climático han contado con el apoyo de recursos técnicos y financieros recibidos mediante cooperaciones bilaterales de, entre otros países, Alemania, Reino Unido y Francia, así como de organismos multilaterales (ENCC, 2013).

Entre las principales acciones emprendidas por el Gobierno Federal está la creación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), presidida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), principal organismo para la toma de decisiones en la materia a nivel federal, e integrada por 13 Secretarías de Estado: Secretaría de Gobernación (SEGOB), Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), Secretaría de Marina (SEMAR), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Energía (SENER), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Secretaría de Educación Pública (SEP), Secretaría de Salud (SSA) y Secretaría de Turismo (SECTUR). Entre sus funciones se hallan: 1) formular e instrumentar políticas nacionales para la mitigación y adaptación al cambio climático, así como su incorporación a los programas y acciones sectoriales correspondientes; 2) desarrollar los criterios de transversalidad e integralidad de las políticas públicas para que los apliquen las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal centralizada y paraestatal; 3) aprobar la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC); y 4) participar en la elaboración e instrumentación del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) (ENCC, 2013). La CICC es la responsable de la elaboración de las cinco Comunicaciones Nacionales que se han presentado ante la CMNUCC, como una de las obligaciones internacionales de México, que define lineamientos para la construcción de capacidades de adaptación como un aspecto fundamental para reducir la vulnerabilidad del país e impulsar la sostenibilidad para su desarrollo (SEMARNAT, 2012a). Cabe señalar que las entidades federativas establecen Comisiones Intersecretariales de Cambio Climático, oficinas o dependencias encargadas de coordinar las políticas públicas en la materia; así como de impulsar la promulgación de leyes que aborden el tema de cambio climático (CICC, 2012).

Durante el periodo comprendido entre los años 2006 y 2012 se dio un importante desarrollo institucional que consolidó el tema de la adaptación, el cual es incluido por vez primera en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 y, debido a la transversalidad de la adaptación, ésta fue incluida en trece programas sectoriales (SEGOB, 2012), entre los que destacan:

a) Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, cuyo Eje 2, “Economía competitiva y generadora de empleos”, pretende hacer del turismo una prioridad nacional para generar inversiones, empleos y combatir la pobreza en las zonas con atractivos turísticos competitivos, mientras que el Eje 4, “Sustentabilidad ambiental”, está orientado a impulsar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático, a través de: el desarrollo de escenarios climáticos regionales; la evaluación de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos; la inclusión de los aspectos de adaptación al cambio climático en la planeación y quehacer de los distintos sectores de la sociedad, y la difusión de información sobre los impactos, vulnerabilidad y medidas de adaptación al cambio climático, educación y sensibilización de la sociedad, quienes desempeñan un papel muy importante en la reducción de los riesgos que supone el cambio climático, particularmente en aquellos sectores de la población que son más vulnerables a sus efectos.

b) Programa Sectorial de Desarrollo Social 2007-2012, que refiere en sus objetivos la necesidad de “elevar el nivel de desarrollo humano y patrimonial de los mexicanos que viven en las zonas rurales y costeras”; así como de “lograr un patrón territorial nacional que frene la expansión desordenada de las ciudades, provea suelo apto para el desarrollo urbano y facilite el acceso a servicios y equipamientos en comunidades tanto urbanas como rurales.

c) Programa Sectorial de Turismo 2007-2012, que orienta la política turística hacia el desarrollo regional, a través de la promoción de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en los destinos turísticos, principalmente costeros.

Actualmente se encuentran en elaboración los programas sectoriales del periodo sexenal en curso, que tendrán como base el recientemente publicado Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, que parte del reconocimiento que los efectos del cambio climático, los asentamientos humanos en zonas de riesgo y el incorrecto ordenamiento territorial representan un riesgo que amenaza la integridad física, el bienestar, el desarrollo y el patrimonio de la población, así como los bienes públicos. De manera que la protección civil privilegiará las acciones preventivas ante desastres, será incluyente y utilizará soluciones de innovación científica, eficacia tecnológica, organización y capacidad para enfrentar los retos presentes y futuros en este ámbito. Estas acciones incluyen el aseguramiento financiero ante desastres. El PND 2013-2018 cuenta con la Estrategia 4.4.3., fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono, entre cuyas líneas de acción se hallan: realizar investigación científica y tecnológica, generar información y desarrollar sistemas de información para diseñar políticas ambientales y de mitigación y adaptación al cambio climático y lograr el ordenamiento ecológico del territorio en las regiones y circunscripciones políticas prioritarias y estratégicas, en especial en las zonas de mayor vulnerabilidad climática (SHCP, 2013).

En consonancia con los diversos esfuerzos en la materia, la CICC integró el Grupo de Trabajo de Políticas de Adaptación, cuyo mandato consiste en promover la transversalidad, articulación y colaboración en materia de adaptación al interior del gobierno federal; por lo que es un espacio para el diseño y seguimiento de políticas públicas



(SEMARNAT, 2012b), y en el año 2007 publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), instrumento que reconoce al cambio climático como un problema de seguridad estratégica que involucra la integridad de las personas y de sus bienes materiales y culturales, la conservación de ecosistemas y los servicios que proveen, así como el mantenimiento y desarrollo de infraestructura.

La ENACC definió la construcción de las capacidades de adaptación como el desarrollo de las habilidades de un sistema para ajustarse al cambio climático, a la variabilidad y a los extremos climáticos, a fin de moderar los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades (como la ocurrencia de lluvias extraordinarias), o enfrentar las consecuencias de éste. Estos ajustes se pueden dar en las prácticas, los procesos o las estructuras sociales. Así, en la medida en que se desarrollan capacidades de adaptación frente al problema global que nos ocupa se puede reducir la vulnerabilidad del país (CICC, 2007).

Con base en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) fue elaborada y aprobada, el 29 de mayo de 2013, la nueva Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), ésta tiene una visión de largo plazo, está proyectada a 10, 20 y 40 años y define los pilares de la política nacional de cambio climático que sustentan los ejes estratégicos en materia de adaptación orientados hacia un país resiliente. La ENCC integra un capítulo con la identificación de los pilares de la política nacional de cambio climático, en el que se presentan aspectos fundamentales, a saber: contar con políticas transversales, coordinadas y articuladas; desarrollar políticas fiscales e instrumentos económicos y financieros con enfoque climático; fomentar la investigación; promover una cultura climática en la sociedad; instrumentar mecanismos de Medición, Reporte y Verificación así como Monitoreo y Evaluación; y fortalecer la cooperación internacional (ENCC, 2013).

Para lograr la coordinación efectiva de los distintos órdenes de gobierno y la concertación entre los sectores público, privado y social, la LGCC prevé la integración del Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC). Este sistema debe propiciar sinergias para enfrentar, de manera conjunta, la vulnerabilidad y los riesgos del país ante el fenómeno, y establecer las acciones prioritarias de mitigación y adaptación. El SINACC está integrado por la CICC, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el Consejo de Cambio Climático (C3), las entidades federativas, las asociaciones de autoridades municipales y el Congreso de la Unión.

Por su parte, el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC), constituyó el primer instrumento de la Administración Pública Federal (APF) vinculante, sujeto a la evaluación de su cumplimiento consideró cuatro componentes fundamentales para el desarrollo de una política integral para enfrentar el cambio climático: a) visión de largo plazo, b) mitigación, c) adaptación, y d) elementos de política transversal (SEMARNAT, 2012b).

En materia de adaptación, el PECC desarrolló 142 metas de adaptación relativas a ocho sistemas clave: 1. Gestión integral de riesgos, 2. Recursos hídricos, 3. Agro-ecosistemas y ecosistemas naturales, 4. Infraestructuras de

energía, industria y servicios, 5. Infraestructuras de transportes y comunicaciones, 6. Ordenamiento del territorio, 7. Desarrollo urbano, y 8. Salud pública (SEDESOL, 2012).

De acuerdo con el PECC, las tareas de adaptación al cambio climático en el corto plazo deben estar enfocadas en reducir la vulnerabilidad, por lo que identificó tres etapas en la trayectoria de la adaptación en el largo plazo, la primera: la evaluación de la vulnerabilidad y valoración de las implicaciones económicas (2008-2012); la segunda: el fortalecimiento de capacidades estratégicas de adaptación (2013-2030), y la tercera: la consolidación de las capacidades construidas (2031-2050) (CICC, 2009).

Cabe resaltar que se ha dado prioridad al desarrollo institucional para la adaptación, a través de un Marco de Políticas de Adaptación de Mediano Plazo que considera la transversalidad, coordinación, instrumentación y evaluación de políticas públicas, y se articula con acciones de reducción de la vulnerabilidad social y física; así como con medidas para la conservación y restauración de la funcionalidad ecológica de paisajes y cuencas, mediante de financiamiento, investigación, desarrollo tecnológico y comunicación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (SEMARNAT, 2011).

Entre los esfuerzos realizados destaca la publicación, el 6 de junio de 2012, de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), la cual establece definiciones, distribuye competencias y señala atribuciones de los tres órdenes de gobierno; define también los principios e instrumentos básicos para la política de cambio climático que involucra objetivos tanto de adaptación como de mitigación e impulsa el aparato administrativo y financiero para el avance nacional en la prevención del riesgo, por lo que desempeña un papel importante como instrumento articulador de las capacidades nacionales para la adaptación. Para lograr sus cometidos, se creó el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), antes INE, como un organismo público descentralizado sectorizado a la SEMARNAT, entre cuyos objetivos se halla el evaluar el cumplimiento de los objetivos de adaptación y mitigación previstos en la LGCC; evaluar el cumplimiento de las metas y acciones contenidas en la ENCC, el PECC y los programas de las entidades federativas; así como emitir recomendaciones sobre las políticas y acciones de mitigación o adaptación al cambio climático, y respecto de las evaluaciones que en la materia realizan las dependencias de la APF, las entidades federativas y los municipios.

La LGCC dispone que la política nacional de adaptación frente al cambio climático se sustentará en instrumentos de diagnóstico, planeación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación, y tendrá como objetivos los siguientes: 1. Reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático. 2. Fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos. 3. Minimizar riesgos y daños, considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático. 4. Identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación y transformación de los sistemas ecológicos, físicos y sociales, y aprovechar oportunidades generadas por nuevas condiciones climáticas. 5. Establecer mecanismos de atención inmediata y expedita en zonas impactadas por los efectos del cambio climático como parte de los planes y acciones de protección civil. 6. Facilitar y fomentar la

seguridad alimentaria, la productividad agrícola, ganadera, pesquera, acuícola, la preservación de los ecosistemas y de los recursos naturales.

Los objetivos planteados por la LGCC son de orden multisectorial y transversal, ya que involucran a las diferentes dependencias de la APF, así como a los gobiernos estatales y municipales y a la sociedad en general. La LGCC también dispone que se elabore, en el año 2013, una Estrategia Nacional de Cambio Climático con una visión de mediano plazo y se cree un Fondo para el Cambio Climático, en el que las acciones relacionadas con la adaptación serán prioritarias para el destino de los recursos (artículo 80). Adicionalmente, la LGCC ordena la realización de un Programa Especial de Cambio Climático en cada periodo del ejecutivo federal que incluya las metas sexenales de adaptación relacionadas con la gestión integral de riesgos; aprovechamiento y conservación de recursos hídricos; agricultura; ganadería; silvicultura; pesca y acuicultura; ecosistemas y biodiversidad; energía; industria y servicios; infraestructura de transporte y comunicaciones; desarrollo rural; ordenamiento ecológico territorial y desarrollo urbano; asentamientos humanos; infraestructura y servicios de salud pública y las demás que resulten pertinentes (artículo 67, fracción III).

En el ámbito estatal, las entidades federativas trabajan en la elaboración e instrumentación de sus Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC), los cuales toman en consideración las principales características sociales, económicas y ambientales de cada estado; las metas y prioridades de los planes de desarrollo estatales; el inventario estatal de emisiones de GEI; los escenarios de emisiones de GEI y de cambio climático a nivel regional; y en ellos se identifican acciones y medidas para reducir la vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático y las emisiones de GEI de los sistemas naturales y humanos de interés para la entidad federativa de que se trate. Con la elaboración de los PEACC, se apoya el desarrollo de capacidades y se busca mejorar la percepción pública acerca de la mitigación de emisiones de GEI, de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el ámbito estatal y municipal (INE, 2011).

En atención a la distribución de competencias que realiza la LGCC, a los municipios les corresponde, entre otras: formular, conducir y evaluar la política municipal de cambio climático en concordancia con la política nacional y estatal, y formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar el cambio climático.

Es así que como parte de la formulación, conducción y evaluación de la política local de cambio climático, los municipios tienen que desarrollar e implementar sus Programas de Adaptación Climática. Al respecto cabe señalar que se ha dado paso al diseño e implementación de un instrumento denominado: Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN), se trata de programas impulsados en México por ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad con el respaldo técnico e institucional del INECC y financiados por la Embajada Británica en México para el periodo del 2011-2013 (INE, 2012). Al respecto, cabe señalar que aunque estos planes pretenden orientar las políticas públicas municipales en materia de mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático; su realización está enfocada a medidas de mitigación, por lo que la información contenida en esta propuesta de Programa de Adaptación sectorial constituye la base para la integración del Programa de Adaptación Climática -

Municipal, el cual debido a la dinámica de la variabilidad climática y de la vulnerabilidad, debe ser sujeto de revisión y actualización periódica.

De forma complementaria, es importante sumarse al programa Municipio Seguro Resistente a Desastres, el cual busca reducir el riesgo de desastre conjuntando los esfuerzos de diversos actores, mediante el fortalecimiento de las capacidades para la prevención y reducción de las condiciones de vulnerabilidad. El programa es implementado por la SEGOB, a través del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), el cual desarrolla un programa y una metodología denominada “Agenda desde lo Local”, a partir de un auto-diagnóstico para plantear acciones de mejora. Este estudio se respalda, fundamentalmente, en el análisis de los siguientes aspectos: a) planeación territorial y asentamientos humanos, b) ordenamiento ecológico del territorio, c) ordenamiento turístico del territorio, y d) gestión integral de riesgos, sobre los cuales profundizamos a continuación:

#### **a) Planeación territorial y asentamientos humanos**

La planeación territorial involucra dos procesos que deben realizarse de forma complementaria, el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano. El primero de ellos se encarga de regular el espacio externo de los centros de población, mientras que el desarrollo urbano se enfoca a la planeación interna de éstos. Los objetos de regulación de ambos procesos, asentamientos humanos para el ordenamiento territorial y centros de población para el desarrollo urbano, constituyen dos categorías diferenciadas solamente en función de los ámbitos de actuación pública, pues un centro de población es, al mismo tiempo, un asentamiento humano (SEDESOL, 2010).

Los principios metodológicos del desarrollo urbano y ordenamiento territorial caen dentro de la vertiente de adaptación, pues las acciones que se derivan de ellas inciden en la forma en que se ocupa y se distribuyen las actividades económicas en el territorio y en consecuencia, condicionan la vulnerabilidad de dichas actividades frente al cambio climático (SEDESOL, 2012).

Así tenemos que corresponde a la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) orientar la planeación y regulación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos, a través de disposiciones que determinen los principios que rigen la concurrencia entre los tres niveles de gobierno. De conformidad con el artículo 9º de esta ley, los municipios tienen las siguientes atribuciones, vinculadas con acciones de adaptación al cambio climático:

- Formular, aprobar y administrar los planes o programas municipales de desarrollo urbano, de centros de población y los demás que de éstos deriven, así como evaluar y vigilar su cumplimiento, de conformidad con la legislación local;
- Regular, controlar y vigilar las reservas, usos y destinos de áreas y predios en los centros de población;
- Administrar la zonificación prevista en los planes o programas municipales de desarrollo urbano, de centros de población y los demás que de estos deriven;

- Promover y realizar acciones e inversiones para la conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población;
- Celebrar con la Federación, la entidad federativa respectiva, con otros municipios o con los particulares, convenios y acuerdos de coordinación y concertación que apoyen los objetivos y prioridades previstos en los planes o programas municipales de desarrollo urbano, de centros de población;
- Prestar los servicios públicos municipales, atendiendo a lo previsto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y en la legislación local;
- Expedir las autorizaciones, licencias o permisos de uso de suelo, construcción, fraccionamientos, subdivisiones, fusiones, relotificaciones y condominios, de conformidad con las disposiciones jurídicas locales, planes o programas de desarrollo urbano y reservas, usos y destinos de áreas y predios;
- Intervenir en la regularización de la tenencia de la tierra urbana, en los términos de la legislación aplicable y de conformidad con los planes o programas de desarrollo urbano y las reservas, usos y destinos de áreas y predios;
- Participar en la creación y administración de reservas territoriales para el desarrollo urbano, la vivienda y la preservación ecológica;
- Imponer medidas de seguridad y sanciones administrativas a los infractores de las disposiciones jurídicas, planes o programas de desarrollo urbano y reservas, usos y destinos de áreas y predios.

La LGAH propone una concepción integral para la formulación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos, que busca articular las actividades productivas, la ubicación de la población, la dotación de los servicios y el equipamiento necesario para el funcionamiento de los centros de población, a fin de elevar la calidad de vida, para lo cual es necesario considerar: a) la interrelación entre los asentamientos rurales y urbanos, con especial énfasis en la distribución de costos y beneficios causados por el proceso de urbanización y las grandes intervenciones territoriales promovidas por los sectores público y privado; b) una distribución equilibrada y sostenible de los asentamientos humanos y las actividades económicas, en razón de las diferencias naturales, sociales y económicas, en congruencia con el ordenamiento territorial estatal y nacional, y c) acciones de coordinación y concertación de inversión pública y privada, con la planeación del desarrollo regional urbano (SEDESOL, 2010).

El artículo 3º de esta ley sienta las bases para la implementación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos. Además vincula el desarrollo regional con el urbano, e incorpora la noción de desarrollo sostenible como parte imprescindible del proceso de planeación urbana y regional. Aunque considera el proceso de planeación y regulación del ordenamiento territorial como una política sectorial, establece que estos procesos formen parte del sistema nacional de planeación democrática (SEDESOL, 2010).

La LGAH considera de utilidad pública una serie de acciones vinculadas estrechamente con la adaptación al cambio climático, como: la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; la ejecución de planes o programas de desarrollo urbano; la constitución de reservas territoriales para el desarrollo

urbano y la vivienda; la ejecución de obras de infraestructura, equipamiento y servicios urbanos, y la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente de los centros de población (artículo 5°).

De conformidad con esta ley, la planeación y regulación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y del desarrollo urbano de los centros de población, se llevará a cabo a través de, entre otros, los planes o programas municipales de desarrollo urbano, los cuales serán aprobados, ejecutados, controlados, evaluados y modificados por las autoridades locales de conformidad con las disposiciones de la LGAH y por la legislación, los reglamentos y normas administrativas estatales y municipales aplicables.

También la LGEEPA refiere, de conformidad con su artículo 8°, que entre las facultades de los municipios está la creación y administración de zonas de preservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos y demás áreas análogas previstas por la legislación local, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en los centros de población, en relación con los efectos derivados de los servicios de alcantarillado, limpia, mercados, centrales de abasto, panteones, rastros, tránsito y transporte locales.

Aunado a lo anterior, el artículo 32 de la LGEEPA, recién reformado, dispone que en el caso de que un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico del territorio incluya obras o actividades que deben ser sujetas del procedimiento de evaluación de impacto ambiental, las autoridades municipales deberán presentar dichos planes o programas a la SEMARNAT, con el propósito de que ésta emita la autorización que corresponda, respecto del conjunto de obras o actividades que prevean realizarse en un área determinada.

En este sentido, cabe aclarar que es atribución de los municipios formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar al cambio climático en materia de desarrollo urbano (artículo 9°, LGCC). Además, entre las acciones de adaptación se consideran la construcción y mantenimiento de infraestructura (artículo 29, fracción VI, LGCC), por lo que el otorgamiento de una licencia de construcción debe ajustarse al cumplimiento de los instrumentos de planeación y prevención (atlas de riesgos, ordenamiento territorial, ordenamiento ecológico, reglamento de protección civil), como parte de la gestión integral de riesgos.

A partir de estos ordenamientos pueden establecerse requisitos de seguridad estructural y normas de diseño para las construcciones que consideren las vulnerabilidades existentes y, a partir de ello, orientarse hacia la protección de la infraestructura económica, social y ambiental.

Cabe resaltar que recientemente se aprobaron las reglas de operación del Programa Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos dirigido a atenuar los efectos de los fenómenos perturbadores de origen natural, para aumentar la resiliencia en los gobiernos locales y la sociedad, a fin de evitar retrocesos en las estrategias para elevar la calidad de vida de la población. La importancia del programa radica en crear y mantener una vinculación directa entre la recién creada Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y las autoridades locales para concienciarlas sobre la necesidad de trabajar en la reducción de riesgos, a través de acciones y obras para desincentivar la ocupación de suelo en zonas de riesgo, promover la cultura de prevención de desastres, así como

incrementar la inversión en reducción de riesgos. El Programa forma parte de una política pública municipal, encaminada a evitar la ocupación del suelo en zonas no aptas para los asentamientos humanos y por ende, evitar la ocurrencia de desastres, pero incluye también la alternativa de reubicación (DOF, 2013).

Sin duda, la aplicación de la visión integral y funcional en la elaboración de los programas municipales de ordenamiento territorial demanda que durante su formulación técnica, ejecución y seguimiento se cuente con la participación de los diferentes actores involucrados en la gestión del territorio, principalmente del sector gubernamental. En efecto, la coordinación y colaboración entre las instancias o instituciones de la administración pública municipal, estatal y federal constituye un aspecto fundamental para garantizar que estos programas se culminen e implementen (SEDESOL, 2010).

### **b) Ordenamiento ecológico del territorio**

La elaboración de programas de ordenamiento ecológico territorial en México ha transitado por diferentes etapas y enfoques conceptuales, a nivel institucional, dentro del gobierno federal (Rosete, 2006). Se trata de un instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos; por ello esta ley lo considera un instrumento básico a incorporar en la planeación nacional del desarrollo (artículo 3º, fracción XXIV de la LGEEPA).

Las autoridades municipales están facultadas para formular y expedir los programas de ordenamiento ecológico local del territorio (POET), así como para llevar a cabo el control y la vigilancia del uso y cambio de uso del suelo, establecidos en dichos programas (artículo 8º, de la LGEEPA). La expedición de estos instrumentos involucra la base para el diseño e instrumentación de políticas y acciones para enfrentar al cambio climático (artículo 9º, LGCC), además contribuye a la protección de las zonas críticas y crea certeza para el desarrollo de las actividades sectoriales, como el turismo, amén de elevar la competitividad.

Estos programas de ordenamiento ecológico local tienen por objeto: I. Determinar las distintas áreas ecológicas que se localicen en la zona o región de que se trate, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales, y de las tecnologías utilizadas por los habitantes del área de que se trate; II. Regular, fuera de los centros de población, los usos del suelo con el propósito de proteger el ambiente y preservar, restaurar y aprovechar de manera sostenible los recursos naturales respectivos, fundamentalmente en la realización de actividades productivas y la localización de asentamientos humanos, y III. Establecer los criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales dentro de los centros de población, a fin de que sean considerados en los planes o programas de desarrollo urbano correspondientes (artículo 20 Bis 4, de la LGEEPA).

Otro aspecto relevante es la consideración de criterios determinados en la formulación del ordenamiento ecológico (artículo 19 de la LGEEPA), a saber: I.- La naturaleza y características de los ecosistemas existentes; II. La vocación de cada zona o región, en función de sus recursos naturales, la distribución de la población y las actividades económicas predominantes; III. Los desequilibrios existentes en los ecosistemas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales; IV. El equilibrio que debe existir entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales y, entre otras, V. El impacto ambiental de nuevos asentamientos humanos, vías de comunicación y demás obras o actividades.

Cabe enfatizar que la SEMARNAT proporciona apoyo técnico a los municipios para la formulación y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico de su competencia, mediante la realización de acciones concretas, tales como el análisis de la conveniencia de instrumentar un programa de ordenamiento ecológico conforme al planteamiento que presenten los gobiernos interesados; la identificación y propuesta de los instrumentos de política ambiental adecuados para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales y la conservación de los ecosistemas y la diversidad biológica; y la formulación de programas de capacitación técnica a través de talleres de orientación para el uso y manejo de sistemas de información geográfica, entre otras. Lo anterior a través de la celebración de convenios de coordinación.

Por otro lado, las dependencias y entidades de la APF, que ejercen atribuciones que les confieren otros ordenamientos, cuyas disposiciones se relacionen con el objeto de la ley ambiental marco (p.ej. la SECTUR), deben ajustar su ejercicio a los criterios para preservar el equilibrio ecológico, aprovechar sosteniblemente los recursos naturales y proteger el ambiente, así como acogerse a las disposiciones de los reglamentos, normas oficiales mexicanas, programas de ordenamiento ecológico y demás normatividad derivada de esta ley (artículo 6º, LGEEPA).

Como se desprende de lo expuesto, las autoridades locales son las encargadas de compatibilizar el ordenamiento ecológico del territorio y con la ordenación de los asentamientos humanos, incorporando las previsiones correspondientes en los POEL, así como en los planes o programas de desarrollo urbano que resulten aplicables. De ahí la relación estrecha entre los instrumentos de planeación territorial de los asentamientos humanos, los de ordenación ecológica y las acciones de adaptación al cambio climático.

### **c) Ordenamiento turístico del territorio**

Sólo a partir de la consideración de la planeación territorial y del ordenamiento ecológico puede materializarse el ordenamiento turístico del territorio, definido, por el artículo 2º, fracción X, de la Ley General de Turismo (LGT), como el instrumento de la política turística bajo el enfoque social, ambiental y territorial, cuya finalidad es conocer e inducir el uso de suelo y las actividades productivas con el propósito de lograr el aprovechamiento ordenado y sostenible de los recursos turísticos, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables en materia de medio ambiente y asentamientos humanos. Cabe señalar, que de acuerdo al artículo 9º de



esta ley, corresponde a las entidades federativas, formular, evaluar y ejecutar los programas locales de ordenamiento turístico del territorio, con la participación que corresponda a los municipios respectivos.

El ordenamiento turístico del territorio nacional se llevará a cabo a través de programas de orden general, regional y local. Estos últimos, de conformidad con el artículo 28 de la LGT, serán expedidos por las autoridades de los estados con la participación de los municipios y tendrán por objeto: I. Determinar el área a ordenar, describiendo sus recursos turísticos, incluyendo un análisis de riesgos de las mismas; II. Proponer los criterios para la determinación de los planes o programas de desarrollo urbano, así como del uso del suelo, con el propósito de preservar los recursos naturales y aprovechar de manera ordenada y sostenible los recursos turísticos respectivos, y III. Definir los lineamientos para su ejecución, seguimiento, evaluación y modificación.

En la formulación del ordenamiento turístico del territorio deberán, según el artículo 23 de la LGT, considerarse los criterios siguientes: I. La naturaleza y características de los recursos turísticos existentes en el territorio nacional, así como los riesgos de desastre; II. La vocación de cada zona o región, en función de sus recursos turísticos, la distribución de la población y las actividades económicas predominantes; III. Los ecológicos de conformidad con la ley en la materia; IV. La combinación deseable que debe existir entre el desarrollo urbano, las condiciones ambientales y los recursos turísticos; V. El impacto turístico de nuevos desarrollos urbanos, asentamientos humanos, obras de infraestructura y demás actividades; VI. Las modalidades que, de conformidad con la presente ley, establezcan los decretos por los que se constituyan las Zonas de Desarrollo Turístico Sustentable, las previstas en las Declaratoria de áreas naturales protegidas, así como las demás disposiciones previstas en los programas de manejo respectivo, en su caso; VII. Las medidas de protección y conservación establecidas en las Declaratorias Presidenciales de Zonas de Monumentos arqueológicos, artísticos e históricos de interés nacional, así como las Declaratorias de Monumentos históricos y artísticos, y en las demás disposiciones legales aplicables en los sitios en que existan o se presuma la existencia de elementos arqueológicos, propiedad de la Nación.

La SECTUR podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación, con el objeto de que las entidades federativas y los municipios colaboren en la administración y supervisión de las zonas de desarrollo turístico sostenible y elaboren y ejecuten programas de desarrollo de la actividad turística (artículo 5º, LGT).

De especial relevancia son las disposiciones del artículo 29, fracción II de la LGT, ya que al referirse a los procedimientos bajo los cuales serán formulados, aprobados, expedidos, evaluados y modificados los programas de ordenamiento turístico local, supeditan expresamente éste a los ordenamientos ecológicos del territorio, y a los planes o programas de desarrollo urbano, así como a las determinaciones del uso del suelo. Asimismo, se hace referencia a la coordinación, entre las distintas autoridades involucradas, en la formulación y ejecución de los programas de ordenamiento turístico local.

#### d) Gestión integral de riesgos

La Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (EIRD), adoptada en el año 2000, en el seno de las Naciones Unidas, constituye el punto de partida del seguimiento internacional sobre la reducción de desastres naturales. Considerando que el riesgo a desastres, amenaza el desarrollo humano y económico, y es magnificado por el cambio climático, se creó el Marco de Acción de Hyogo (MAH) en enero de 2005; el cual considera que los países son el principal agente en la reducción de riesgos de los desastres naturales, y promueve la participación de los actores clave (gobierno, sociedad civil, comunidad científica, sector privado, sector académico, etc.). Entre los objetivos del MAH están: a) la integración de la reducción del riesgo de desastres en las políticas y la planificación del desarrollo sostenible; b) el desarrollo y fortalecimiento de las instituciones, mecanismos y capacidades para aumentar la resiliencia ante las amenazas; c) la incorporación sistemática de enfoques de la reducción del riesgo en la implementación de programas de preparación, atención y recuperación.

Otro de los resultados de la EIRD es la Conferencia Mundial para la Reducción del Riesgo de Desastres, celebrada en Kobe, Japón, en el año 2005. Ésta, aunada al MAH, representan el compromiso de la comunidad internacional para enfrentar la reducción del riesgo de desastres y comprometerse con el plan de acción de la década 2005-2015. Cabe enfatizar que se consideran áreas estratégicas decisivas para abordar desde estos enfoques: cambio climático y reducción de riesgos (Naciones Unidas, 2011).

En este contexto, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) como entidad técnica del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), ha incorporado en sus planes, programas y proyectos, un enfoque de gestión integral de riesgos. Por ello resulta fundamental considerar la sinergia de los esfuerzos gubernamentales mostrados a través de la promulgación de la LGCC y de la Ley General de Protección Civil (LGPC), publicada también el 6 de junio de 2012, ya que representan un complemento imprescindible para las acciones de adaptación al cambio climático, y es parte de la estrategia para reducir los impactos de los desastres de origen hidrometeorológico.

La LGPC determina las bases de coordinación entre los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil, entendida ésta como la acción solidaria y participativa, que considera, entre otros, los riesgos de origen natural y prevé la coordinación y concertación de los sectores público, privado y social, con el fin de crear un conjunto de disposiciones, planes, programas, estrategias, mecanismos y recursos para que de manera corresponsable, y privilegiando la Gestión Integral del Riesgo (GIR) y la continuidad de operaciones, se apliquen las medidas y acciones necesarias para salvaguardar la vida, integridad y salud de la población, así como sus bienes; la infraestructura, la planta productiva y el medio ambiente (artículos 1º y 2º, fracción XLII, respectivamente).

La LGPC define, en su artículo 2º, fracción XXVII, a la gestión integral de riesgos, como el conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción, que involucra a los tres niveles de gobierno, así

como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad. Involucra las etapas de: identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción.

En este contexto, una de las finalidades relevantes es la reducción de riesgos que, en el artículo 2º, fracción XLV de la LGPC, le concibe como: la intervención preventiva de individuos, instituciones y comunidades que nos permite eliminar o reducir, mediante acciones de preparación, el impacto adverso de los desastres. Contempla la identificación de riesgos y el análisis de vulnerabilidades, resiliencia y capacidades de respuesta, el desarrollo de una cultura de la protección civil, el compromiso público y el desarrollo de un marco institucional, la implementación de medidas de protección del medio ambiente, uso del suelo y planeación urbana, protección de la infraestructura crítica, generación de alianzas, instrumentos financieros y de transferencia de riesgos, así como de sistemas de alertamiento.

Para la consecución de estos objetivos, los presidentes municipales tienen la responsabilidad sobre la integración y funcionamiento correcto de los sistemas, consejos y unidades de protección civil, cuya denominación será “Coordinación Municipal de Protección Civil” y su constitución deberá realizarse con un nivel no menor a Dirección General, contar con autonomía administrativa, financiera, de operación y gestión, dependiente de la Secretaría del Ayuntamiento (artículo 17, LGPC).

Lo anterior es muy importante porque en una situación de emergencia la primera instancia de actuación especializada es la autoridad municipal, quien ejercerá sus atribuciones de vigilancia y aplicación de medidas de seguridad, y en caso de ver superada su capacidad de respuesta, acudirá a la instancia estatal, y si ésta resulta insuficiente, se informará a las instancias federales, a fin de aplicar los programas establecidos al efecto (artículo 21, LGPC).

Por lo anterior, ante la eventualidad de los desastres de origen natural, la ley pone énfasis, mediante su artículo 18, en la transferencia de riesgos, a través de herramientas tales como la identificación de la infraestructura por asegurar, el análisis de los riesgos, las medidas para su reducción y la definición de los esquemas de retención y aseguramiento, entre otros, y responsabiliza a los distintos órdenes de gobierno respecto de la contratación de seguros y demás instrumentos de administración y transferencia de riesgos. Incluso, establece en su artículo transitorio séptimo un plazo de hasta 180 días, a partir de su publicación, para cumplir con este mandato.

En este contexto, resulta prioritario identificar y delimitar los lugares o zonas de riesgo, lo cual deben realizar las unidades municipales de protección civil como medida de seguridad (artículo 75, LGPC).

El artículo 84 determina que se considera como delito grave: la construcción, edificación, realización de obras de infraestructura y los asentamientos humanos que se lleven a cabo en una zona determinada sin elaborar un

análisis de riesgos y, en su caso, sin definir las medidas para su reducción, tomando en consideración la normatividad aplicable y los atlas municipales, estatales y el nacional de riesgos, y sin contar con la autorización correspondiente.

En cuanto a las disposiciones de la LGCC y su relación con la planeación territorial, el ordenamiento ecológico y la protección civil, tenemos que el artículo 9º, señala las atribuciones de los municipios, entre las que se encuentra el formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar al cambio climático en congruencia con los instrumentos de planeación y con las leyes aplicables, en las siguientes materias: a) Prestación del servicio de agua potable y saneamiento; b) Ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano; c) Recursos naturales y protección al ambiente de su competencia; d) Protección civil; e) Manejo de residuos sólidos municipales; f) Transporte público de pasajeros eficiente y sostenible en su ámbito jurisdiccional, y 6) Gestionar y administrar recursos para ejecutar acciones de adaptación.

Aunado a lo anterior, el artículo 30 de la misma ley, mandata que los municipios deben implementar acciones para la adaptación como sigue:

- Elaborar y publicar los atlas de riesgo que consideren los escenarios de vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático, atendiendo de manera preferencial a la población más vulnerable y a las zonas de mayor riesgo, así como a las islas, zonas costeras y deltas de ríos;
- Utilizar la información contenida en los atlas de riesgo para la elaboración de los planes de desarrollo urbano, reglamentos de construcción y ordenamiento territorial de las entidades federativas y municipios;
- Proponer e impulsar mecanismos de recaudación y obtención de recursos, para destinarlos a la protección y reubicación de los asentamientos humanos más vulnerables ante los efectos del cambio climático;
- Establecer planes de protección y contingencia ambientales en zonas de alta vulnerabilidad, áreas naturales protegidas y corredores biológicos ante eventos meteorológicos extremos;
- Establecer planes de protección y contingencia en los destinos turísticos, así como en las zonas de desarrollo turístico sostenible;
- Mejorar los sistemas de alerta temprana y las capacidades para pronosticar escenarios climáticos actuales y futuros;
- Elaborar los diagnósticos de daños en los ecosistemas hídricos, sobre los volúmenes disponibles de agua y su distribución territorial y promover el aprovechamiento sostenible de las fuentes superficiales y subterráneas de agua, y
- Fortalecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas terrestres, playas, costas y zona federal marítima terrestre, humedales, manglares, arrecifes, ecosistemas marinos y dulceacuícolas, mediante acciones para la restauración de la integridad y la conectividad ecológicas.

Ahora bien, la misma LGCC establece metas y plazos para el cumplimiento de las acciones de adaptación que los municipios deben realizar, concretamente el artículo tercero transitorio, dispone que en materia de

protección civil, antes de que finalice el año 2013, deberán integrar y publicar su atlas local de riesgo de los asentamientos humanos más vulnerables ante el cambio climático, y que antes del 30 de noviembre de 2015 los municipios más vulnerables ante el cambio climático, en coordinación con las entidades federativas y el gobierno federal, deberán contar con un programa de desarrollo urbano que considere los efectos del cambio climático.

Todas las disposiciones reseñadas evidencian la interdependencia de las categorías: riesgo, vulnerabilidad, impacto y adaptación, las cuales fueron consideradas en la integración del indicador de gobernabilidad del municipio, en aras de determinar la vulnerabilidad institucional y estar en posibilidad de llevar a cabo una GIR y con ello reducir la vulnerabilidad social ante el cambio climático. Los elementos considerados fueron: a) reglamentación en materia de protección civil; b) programa de protección civil; c) atlas de riesgos; d) plan de contingencias; e) identificación de refugios y albergues; f) instrumento financiero para enfrentar daños por desastres; g) convenios de coordinación en materia de protección civil y prevención de riesgos y, h) programas de adaptación climática.

a) Reglamento municipal en materia de protección civil. Este instrumento normativo sienta las bases para la integración del Sistema Municipal de Protección Civil, como conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos, que establecen las dependencias y entidades del sector público municipal entre sí, con las diversas organizaciones de grupos de voluntarios, sociales y privados y con las autoridades estatales y federales, a fin de efectuar acciones coordinadas, destinadas a prevenir, proteger y auxiliar a las personas y a la comunidad en general, en su patrimonio, su entorno, afectación de los servicios públicos y la planta productiva, así como la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad, ante la posibilidad de un desastre, riesgo o emergencias producido por causas de origen natural o humano.

b) Programa municipal de protección civil. Se trata de un instrumento de planeación y operación que se compone por el plan operativo para la Unidad Interna de Protección Civil, el plan para la continuidad de operaciones y el plan de contingencias, y tiene como propósito aminorar los riesgos previamente identificados y definir acciones preventivas y de respuesta para estar en condiciones de atender la eventualidad de alguna emergencia o desastre (DOF, 2012a).

c) Atlas Municipal de Riesgos. Documento dinámico cuyas evaluaciones de riesgo en regiones o zonas geográficas vulnerables, considera los actuales y futuros escenarios climáticos. Constituye el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la GIR, y los municipios tienen la obligación de elaborarlo y publicarlo atendiendo de manera preferencial a la población más vulnerable y a las zonas de mayor riesgo, así como a las islas, zonas costeras y deltas de ríos (artículos 3º, fracción II y 30, respectivamente, LGCC).

“La elaboración de un atlas de riesgos sirve para guiar el desarrollo de los asentamientos humanos hacia las zonas físicamente aptas y en su caso, establecer medidas de adaptación o mitigación de riesgo necesarias para lograr que los municipios sean espacios seguros, ordenados y habitables” (SEDESOL, 2012).

d) Plan de contingencias en caso de fenómenos hidrometeorológicos. Estos planes apuntan a determinados eventos o riesgos conocidos a nivel local, nacional, regional o incluso mundial (p. ej., huracanes, tormentas, etc.), y establecen procedimientos operativos para la respuesta conforme a los requisitos de recursos previstos y a la capacidad (IFRC, 2008). Se trata de instrumentos que definen los mecanismos de organización, los recursos y las estrategias para hacer frente a un desastre. Es básicamente un mecanismo de preparación que se basa en la certeza de que el desastre ocurrirá, por lo que debemos prepararnos para afrontarlo con la mayor destreza posible. Un plan de contingencia reduce el riesgo porque disminuye el número de personas damnificadas después del desastre y, si está bien diseñado, puede facilitar significativamente las actividades de recuperación. Cabe señalar que entre el mandato legal a los municipios, en materia de acciones de adaptación, está el establecimiento de planes de protección y contingencia en los destinos turísticos, así como en las zonas de desarrollo turístico sostenible (artículo 30, fracción V, LGCC). Los planes de contingencia tienen que actualizarse periódicamente, en ciclos relativamente cortos, ya que tanto los fenómenos hidrometeorológicos como la vulnerabilidad social son dinámicos, y las diferentes capacidades de respuesta también varían.

e) Identificación de refugios y albergues necesarios. Los refugios son instalaciones físicas habilitadas para brindar temporalmente protección y bienestar a las personas que no tienen posibilidades inmediatas de acceso a una habitación segura en caso de un riesgo inminente, una emergencia o desastre. Los albergues son instalaciones destinadas a brindar resguardo a las personas que se han visto afectadas en sus viviendas por los efectos de fenómenos hidrometeorológicos y en donde permanecen hasta que se da la recuperación o reconstrucción de sus viviendas (artículo 2º, fracciones II y XLVI, respectivamente, LGPC). Pero no basta contar con estas instalaciones, a efecto de reducir la vulnerabilidad social, es fundamental que estén debida y previamente identificadas.

f) Instrumento financiero municipal para enfrentar daños por desastres. Se trata de aquel programa o mecanismo financiero que permite a los municipios compartir o cubrir sus riesgos catastróficos, transfiriendo el costo total o parcial a instituciones financieras nacionales o internacionales. Es responsabilidad de los gobiernos la contratación de seguros y demás instrumentos de administración y transferencia de riesgos para la cobertura de daños causados por un desastre natural en los bienes e infraestructura (artículo 2º, fracción XXXII, LGPC).

g) Convenios de coordinación en materia de protección civil y prevención de riesgos. Las políticas, lineamientos y acciones de coordinación entre la federación, las entidades federativas y los municipios se llevarán a cabo mediante la suscripción de convenios de coordinación, en los términos de la normatividad aplicable, o con base en los acuerdos y resoluciones que se tomen en el Consejo Nacional de Protección Civil y en las demás instancias de coordinación, con pleno respeto de la autonomía de las entidades federativas y de los municipios (artículo 22, LGPC y artículo 108, LGCC). Estos convenios son una herramienta clave para el fortalecimiento del municipio en materia de prevención de riesgos y reducción de la vulnerabilidad social.

h) Programas de adaptación climática. Son instrumentos de apoyo para el diseño de políticas públicas locales sostenibles y acciones relacionadas con la adaptación al cambio climático. Su elaboración considera las principales

características sociales, económicas y ambientales de cada municipio, las metas y prioridades de los planes de desarrollo municipal, e identifica acciones y medidas para reducir la vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático de los sistemas naturales y humanos. Su fundamento legal se halla en el artículo 9º, de la LGCC, que establece la atribución municipal para formular, conducir y evaluar la política local de cambio climático.

Es importante enfatizar que los programas de gestión integral de riesgos y de adaptación ante el cambio climático tendrán mejores resultados si consideran otros instrumentos y políticas, como la planeación territorial, los programas de desarrollo urbano, los programas de ordenamiento ecológico y los atlas de riesgo. Éstos no deben verse como obstáculos a la inversión y el desarrollo socioeconómico, sino por el contrario, constituyen el sustento que garantizará la permanencia de la infraestructura, la recuperación de las inversiones, la seguridad de las personas y la protección y preservación del medio ambiente a largo plazo.

En este sentido, el cambio climático representa una oportunidad para lograr articular diferentes procesos de desarrollo sostenible del país y para continuar el trabajo pendiente a fin de disminuir su vulnerabilidad e incrementar su resiliencia. Cabe resaltar que México atiende con iniciativas puntuales su compleja vulnerabilidad, aprovechando los avances de la política nacional relacionada al tema, así como las capacidades institucionales, gubernamentales, académicas y de la sociedad civil para lograrlo (CICC, 2012); muestra de ello es la realización de esta Propuesta de Programa de Adaptación Climática Sectorial, en el marco del Proyecto Fondo Sectorial 65452 SECTUR-CONACYT, denominado: “Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos”.

Partiendo de la estructura del Estado Mexicano, una Federación constituida por Estados Libres y Soberanos y por el Distrito Federal, así como por municipios libres, que constituyen la base de la división territorial y de la organización política y administrativa de los Estados, se constituyen los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal. Para cada uno, la CPEUM define responsabilidades político-administrativas, ya sean exclusivas o concurrentes entre los tres. Los municipios, en los términos de las leyes federales y estatales relativas, están facultados para formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal; participar en la creación y administración de sus reservas territoriales; controlar y vigilar la utilización del suelo en sus jurisdicciones territoriales; intervenir en la regularización de la tenencia de la tierra urbana; otorgar permisos y licencias para construcciones, y participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas. Para tal efecto, los Ayuntamientos están facultados para elaborar y publicar, conforme a la normatividad que expida la legislatura estatal, los bandos de policía y buen gobierno, reglamentos, circulares y demás disposiciones administrativas de observancia general dentro de sus respectivas jurisdicciones. Generalmente, las leyes orgánicas municipales disponen con mayor precisión lo relativo a la facultad reglamentaria municipal, la cual se ejercerá basándose en las necesidades propias de cada municipio, extensión territorial, población, riqueza y diversidad biológica, vulnerabilidad física, social y económica.

La revisión del marco jurídico federal, estatal y municipal se realizó bajo la perspectiva de establecer procesos de gestión municipal que articulen el desarrollo urbano y la ordenación territorial con la necesidad de proteger el ambiente, implementar medidas de adaptación ante el cambio climático y gestionar la reducción del riesgo. Para determinar la situación imperante en los municipios objeto de estudio se elaboró un listado de leyes, reglamentos e instrumentos de política pública que se consideraron fundamentales para lograr la construcción de sociedades resilientes y resistentes ante el cambio climático. Concretamente nos referimos a:

1. Reglamento municipal en materia de protección civil: Instrumento normativo que permite efectuar acciones coordinadas, destinadas a prevenir, proteger y auxiliar a las personas y a la comunidad en general, en su patrimonio, su entorno, afectación de los servicios públicos y la planta productiva, así como la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad, ante la posibilidad de un desastre, riesgo o emergencia.

2. Programa municipal de protección civil: Documento cuyo propósito consiste en mitigar los riesgos previamente identificados y definir acciones preventivas y de respuesta para estar en condiciones de atender la eventualidad de alguna emergencia o desastre.

3. Atlas Municipal de Riesgos: Documento dinámico cuyas evaluaciones de riesgo en regiones o zonas geográficas vulnerables, consideran los actuales y futuros escenarios climáticos. Constituye el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la gestión integral del riesgo.

4. Plan de contingencias en caso de fenómenos hidrometeorológicos: Reduce el riesgo al disminuir el número de personas damnificadas después del desastre y, si está bien diseñado, puede facilitar mucho las actividades de recuperación.

5. Identificación de refugios y albergues necesarios: Señalamiento y difusión de la ubicación de instalaciones físicas habilitadas que brindan protección y bienestar a las personas en caso de riesgo inminente, emergencia o desastre.

6. Instrumento financiero municipal para enfrentar daños por desastres: Programas o mecanismos financieros para compartir o cubrir riesgos, mediante la transferencia del costo total o parcial a instituciones financieras nacionales o internacionales, ello a fin de lograr una pronta recuperación.

7. Convenios de coordinación en materia de protección civil y prevención de riesgos: Instrumentos acordados entre diferentes instancias de gobierno para el fortalecimiento de políticas, lineamientos y acciones de coordinación entre la federación, los estados y los municipios en materia de prevención de riesgos y medidas de adaptación ante el cambio climático.

8. Plan de desarrollo urbano municipal: Documento que formula el ayuntamiento para establecer los objetivos y políticas de ordenación y regulación del desarrollo urbano del municipio. Define la ubicación más



adecuada de los centros de población, sus medios de comunicación, los servicios públicos y el uso del suelo. Se relaciona de manera directa con la infraestructura urbana; el equipamiento de servicios públicos; la determinación de reservas territoriales; la ecología urbana; la administración urbana; la participación ciudadana y, las emergencias urbanas. Permite la zonificación del territorio municipal según la probabilidad de ocurrencia de desastres ante un fenómeno natural destructivo.

9. Reglamento de construcción: Instrumento normativo que determina las condiciones de seguridad, estructurales y de higiene bajo las cuales toda construcción debe realizarse, ya sean éstas de carácter privado o público, las cuales deberán ejecutarse de manera ordenada y de acuerdo a lo previsto en los planes y programas de desarrollo urbano municipal. Por lo que se refiere a la expedición de permisos y licencias relativos a la construcción de obras.

10. Reglamentación sobre uso de suelo, orientada a la prevención y reducción de riesgos: Instrumento normativo que, basado en información científica, permite disminuir la vulnerabilidad del municipio, al considerar la existencia de zonas de riesgo, así como la localización de cuencas hidrográficas, para la ubicación de los asentamientos humanos y actividades productivas y de servicios.

11. Programa de ordenamiento ecológico: Determina las distintas áreas ecológicas que del municipio, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales. Regula, fuera de los centros de población, los usos del suelo con el propósito de proteger el ambiente en la realización de actividades productivas y la localización de asentamientos humanos, y establece criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales dentro de los centros de población, a fin de que sean considerados en los planes o programas de desarrollo urbano correspondientes.

Como se advierte, la integración del marco jurídico federal, estatal y municipal se realizó bajo la perspectiva de establecer procesos de adaptación al cambio climático y gestión municipal de riesgos. Como parte de los resultados sobresale la falta de normatividad sobre estos rubros y, en el mejor de los casos, la desvinculación respecto de la planeación territorial, las políticas para la prevención y gestión integral del riesgo y la prácticamente nula capacidad de adaptación ante el cambio climático, lo que ha propiciado la expansión de los asentamientos humanos irregulares, el desarrollo de infraestructura hotelera en zonas no aptas e incremento de la vulnerabilidad debido al aumento de fenómenos hidrometeorológicos asociados al cambio climático, manejo inadecuado de cuencas hidrológicas y, entre otras, deterioro ambiental. Esta información sirvió para la construcción del índice de gobernabilidad, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Cumplimiento municipal de instrumentos normativos y de política pública en el marco de la gestión integral del riesgo y la adaptación al cambio climático.

INSTRUMENTOS NORMATIVOS Y DE POLÍTICA PÚBLICA	MUNICIPIOS QUE CUENTAN CON EL INSTRUMENTO	MUNICIPIOS QUE CARECEN DEL INSTRUMENTO
<b>Reglamento municipal en materia de protección civil</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Veracruz, Boca del Río, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta), Mazatlán, Benito Juárez, Solidaridad y Tulum	Huautulco
<b>Atlas Municipal de Riesgos</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Veracruz, Boca del Río, Mazatlán, Benito Juárez y Solidaridad	Huautulco, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta) y Tulum
<b>Programa municipal de Protección civil</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Los Cabos, Benito Juárez, Solidaridad y Tulum	Huautulco, Veracruz, Boca del Río, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta) y Mazatlán
<b>Plan de contingencias en caso de fenómenos hidrometeorológicos</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Los Cabos, Benito Juárez y Solidaridad y Tulum	Huautulco, Veracruz, Boca del Río, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta) y Mazatlán
<b>Identificación de refugios y albergues temporales</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Huautulco, Veracruz, Boca del Río, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta), Benito Juárez, Solidaridad y Tulum	Mazatlán
<b>Instrumento financiero municipal para enfrentar daños por desastres.</b>	Benito Juárez	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Huautulco, Veracruz, Boca del Río, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta), Mazatlán, Solidaridad y Tulum
<b>Convenios de coordinación en materia de protección civil y prevención de riesgos</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Boca del Río, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta) y Solidaridad	Huautulco, Veracruz, Los Cabos, Mazatlán, Benito Juárez y Tulum
<b>Plan de desarrollo municipal</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta), Mazatlán, Benito Juárez, Solidaridad y Tulum	Huautulco, Veracruz y Boca del Río

INSTRUMENTOS NORMATIVOS Y DE POLÍTICA PÚBLICA	MUNICIPIOS QUE CUENTAN CON EL INSTRUMENTO	MUNICIPIOS QUE CARECEN DEL INSTRUMENTO
<b>Reglamento municipal de construcción</b>	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta), Mazatlán, Benito Juárez, Solidaridad y Tulum	Huatulco, Veracruz, Boca del Río y Los Cabos
<b>Reglamentación sobre uso de suelo, orientada a la prevención y reducción de riesgos</b>	Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta)	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Huatulco, Veracruz, Boca del Río, Los Cabos, Puerto Vallarta, Mazatlán, Benito Juárez, Solidaridad y Tulum
<b>Programas municipales de ordenamiento territorial</b>	Ixtapa-Zihuatanejo, Veracruz, Benito Juárez, Solidaridad y Tulum	Acapulco, Huatulco, Boca del Río, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta) y Mazatlán
<b>Programa de Adaptación Climática Municipal</b>	Benito Juárez	Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Huatulco, Veracruz, Boca del Río, Los Cabos, Puerto Vallarta, Bahía de Banderas (Nuevo Vallarta), Mazatlán, Solidaridad y Tulum

Como se advierte, crear capacidades en materia de adaptación permitirá a los municipios enfrentar los desafíos e incertidumbre asociados al cambio climático y garantizar la infraestructura y el desarrollo, en especial de sectores estratégicos, como el turismo.

Entre las recomendaciones relativas al marco jurídico e institucional que podemos resaltar, se hallan:

- Basar la toma de decisiones en la planeación y gestión territorial, el ordenamiento ecológico del territorio y la gestión integral de riesgos.
- Actualizar el atlas nacional de riesgos, así como elaborar o actualizar, según sea el caso, los estatales y municipales.
- Actualizar o desarrollar, según sea el caso, el marco jurídico estatal y municipal relativo al desarrollo urbano y ordenamiento territorial (leyes y reglamentos de desarrollo urbano, leyes y reglamentos de fraccionamientos, planes o programa de desarrollo urbano, planes de ordenamiento territorial, leyes y reglamentos de construcción, etc.), a partir de la información contenida en el atlas de riesgos.
- Actualizar la reglamentación sobre uso del suelo, orientada a la prevención y reducción de riesgos y garantizar que los instrumentos asociados al cambio de uso de suelo consideren la información del atlas de riesgos en la autorización respecto de la aptitud para el desarrollo de infraestructura urbana y turística.
- Identificar e inventariar los suelos aptos para constituir reservas territoriales para la población de menores ingresos.
- Identificar los asentamientos humanos irregulares establecidos en zonas de riesgo, proceder a su reubicación y desarrollar una estrategia para el monitoreo que evite nuevos asentamientos en dichas zonas.

- Elaborar los ordenamientos ecológicos locales, a partir de las consideraciones del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Territorio y, en su caso, de los ordenamientos ecológicos regionales y estatales.
- Modificar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, a fin de sujetar al análisis de la información contenida en los atlas de riesgos toda autorización relativa a proyectos sujetos a evaluación de impacto ambiental.
- Trabajar en la coordinación institucional y formación de cuadros especializados en materia de adaptación.
- Elaborar el Programa de Adaptación Climática Municipal para evaluar la vulnerabilidad actual del municipio e identificar medidas de adaptación.
- Privilegiar las acciones de prevención de riesgos asociados al cambio climático y dejar en segundo plano la actuación reactiva.
- Actualizar el Programa municipal de protección civil, considerando las líneas generales que establezca el Programa Nacional y las etapas de la Gestión Integral de Riesgos y la legislación sobre planeación.
- Elaborar y/o actualizar, según sea el caso, el plan de contingencias en caso de fenómenos hidrometeorológicos.
- Realización de convenios de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno a fin de lograr la capacitación y equipamiento de los municipios en materia de protección civil y prevención de riesgos.
- Incorporar contenidos temáticos de protección civil en todos los niveles educativos públicos y privados, considerándola como asignatura obligatoria.
- Modificar la hacienda pública, estatal y municipal, para contar con mecanismos de financiamiento y aseguramiento para hacer frente a los retos planteados por el cambio climático.
- Mejorar el proceso de seguimiento, vigilancia y cumplimiento de los lineamientos establecidos en los ordenamientos ecológicos territoriales decretados, de tal forma que se puedan obtener los beneficios esperados de una planificación participativa del uso del suelo en las diferentes escalas territoriales.
- Diseñar una estrategia de comunicación y educación que involucre a la sociedad y consolide su participación el diseño de acciones preventivas y correctivas ante fenómenos hidrometeorológicos y gestión integral del riesgo.
- Cumplir con la normatividad en materia prevención de riesgos e implementar un sistema de alerta temprana que faculte a los tomadores de decisión, individuos y comunidades que enfrentan una amenaza a actuar con suficiente tiempo y de manera adecuada.
- Elaborar e instrumentar el Ordenamiento Turístico del Territorio, como instrumento de la política turística con un enfoque social, ambiental y territorial, cuya finalidad es conocer e inducir el uso de suelo y las actividades productivas a fin de lograr el aprovechamiento ordenado y sustentable de los recursos turísticos, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables en materia de medio ambiente y asentamientos humanos. Lo cual implica la consideración de los atlas de riesgos y el ordenamiento ecológico del territorio.
- Integrar el Atlas Turístico de México, que identifica todos los bienes, recursos naturales y culturales que puedan constituirse en atractivos turísticos nacionales, a partir de la información contenida en los atlas de riesgo, a fin de evitar la promoción y desarrollo de infraestructura turística costera en zonas vulnerables.
- Impulsar el turismo sustentable basado el uso óptimo de los recursos naturales y que asegure el desarrollo de las actividades económicas viables, que reporten beneficios socioeconómicos, para lo cual es fundamental considerar la gestión integral de riesgos y el ordenamiento ecológico del territorio.

## 2. MODELO CONCEPTUAL DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se refiere al grado de exposición y fragilidad de un sistema (p. ej. vida humana, economía, medio ambiente, etc.) frente a la intensidad de un evento natural. Los factores que configuran la vulnerabilidad ante el cambio climático se asocian a una amenaza derivada de los cambios o variaciones en el clima. Estos factores están determinados por el nivel de exposición ante una amenaza dada y la sensibilidad inherente de los sistemas naturales y humanos, contrarrestada por la habilidad de respuesta o capacidad adaptativa de dichos sistemas, que incluye recursos financieros, tecnológicos y capacidad de organización y planificación.

En este contexto, una amenaza se entiende como la probabilidad de que ocurra un evento en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños (*i.e.* tormentas tropicales de larga duración, ondas de calor, huracanes de alta intensidad, marejadas, etc).

Para la construcción del modelo conceptual de vulnerabilidad, se considera al riesgo como producto de una amenaza por la vulnerabilidad.

En la toma de decisiones existe la necesidad de cuantificar el grado de riesgo de una decisión, o la orientación o aplicación de una política pública. Por ejemplo, qué tan riesgoso es que se autorice la construcción de una colonia en una zona de alta probabilidad de deslizamientos de tierra, que se construyan casas dentro del cauce de un río seco, o que se construyan palapas sobre la playa. En cada caso hay factores climáticos, físicos, económicos y sociales diferentes, con resultados de riesgo también diferentes.

Este tipo de preguntas exigen conocer, por un lado la magnitud de la amenaza y por otro la vulnerabilidad del sitio. De ahí que sea prácticamente imposible hablar o sólo de amenazas o sólo de vulnerabilidad. Sin embargo, las amenazas (naturales) en términos prácticos, no pueden ser reducidas, al menos en términos cortos o con las tecnologías actuales. Por ejemplo, a pesar de los acuerdos internacionales, no se ha logrado que los grandes generadores de gases de efecto invernadero admitan su responsabilidad y compromiso para su reducción, por lo que la vulnerabilidad es la única variable en la que el factor humano puede introducir cambios para disminuir el riesgo.

Las amenazas para el sector turismo, en el contexto de cambio climático, provienen principalmente del impacto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (lluvias intensas, huracanes, tormentas tropicales) que provocan mareas de tormenta, inundaciones, deslizamientos de tierra y deslaves, entre otros. Por su parte la elevación de la temperatura constituye también una amenaza principalmente por las ondas de calor.

En este sentido, la vulnerabilidad puede ser abordada en una perspectiva de escenarios, es decir, considerando que las amenazas climáticas que experimentará la región de México (el incremento de la temperatura, la alteración del patrón de lluvias, el aumento del nivel del mar y una mayor frecuencia e intensidad de los eventos naturales extremos) se harán cada vez más graves, es necesario disminuir el grado de exposición construyendo

infraestructura resistente, adoptando planeaciones concertadas respecto del uso del suelo, etc. Todas estas medidas se enmarcan dentro de lo que se denomina adaptación, y en un enfoque de gestión del riesgo, la vulnerabilidad puede ser reducida vía adaptación.

De los numerosos métodos utilizados para evaluar la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático destacan aquellos que se integran a través de índices que expresan numéricamente dicha vulnerabilidad. Esto permite su aplicación en diferentes sitios, haciendo posible establecer comparaciones espaciales, objetivas y visualizar los cambios de la vulnerabilidad en el tiempo. No obstante, debido a que los factores que dan origen a la vulnerabilidad varían de acuerdo a la escala de análisis y características propias de cada lugar, la selección de dichos indicadores debe sujetarse a los ajustes correspondientes, es decir, ser dinámicos y multifactoriales, por lo que se deben seleccionar aquellas combinaciones de variables que cumplan con las siguientes características (Magaña, 2012):

- Provenir de fuentes oficiales, ser históricos, estar disponibles, ser relevantes y proyectables en el tiempo
- Que incluyan unidades de medida en aspectos físicos, económicos, sociales y de percepción social
- Que permitan evaluar el cambio en la vulnerabilidad de la región al aplicar las medidas de adaptación

Los sistemas más vulnerables son los más sensibles y menos adaptados a los fenómenos naturales, y lo que determina un desastre no es la intensidad del fenómeno sino la incapacidad del sistema afectado en absorberlo. Para los municipios es importante el conocimiento acerca de las amenazas naturales, de su propia vulnerabilidad y del riesgo que presentan, pues ello les permitirá formular medidas de adaptación en un contexto de cambio climático.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA COSTERA

La dinámica costera comprende un estudio complejo e integral de diferentes factores geológicos y oceanográficos. La metodología abarcó desde la selección de los sitios de muestreo, el análisis del cambio de la línea de costa, la determinación de la morfología de la zona litoral a partir de un levantamiento topográfico de playa y una caracterización batimétrica de la zona marina cercana a la costa, la determinación del tipo de sedimentos en la zona de playa, así como un análisis del clima de oleaje y un modelo hidrodinámico.

El estudio de la dinámica costera de los diferentes destinos turísticos se realizó considerando las características geomorfológicas particulares de la costa de cuatro regiones del país: costa del Pacífico Sur, costa del Pacífico Norte, costa del Golfo de México y costa del Mar Caribe.

La costa del Pacífico Sur comprende los destinos turísticos de Huatulco, Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Puerto Vallarta y Nuevo Vallarta, con una morfología costera conformada por bahías pequeñas “de bolsillo” (Huatulco), medianas (Acapulco) y grandes (Nuevo Vallarta), con costas acantiladas o porciones de la Sierra Madre del Sur, que entran directamente al mar, así como la presencia de llanuras fluviales de diferentes magnitudes donde se forman playas extensas como lo son las presentes en Nuevo Vallarta y Puerto Vallarta o pequeñas como las de Tangolunda y Santa Cruz en Huatulco.

La costa del Pacífico Norte comprende los destinos de Los Cabos situados sobre planicies fluviales al sur de la Península de Baja California con algunas puntas rocosas de las estribaciones de la sierra y Mazatlán con playas relativamente extensas y expuestas, con algunas áreas protegidas por islas en la planicie costera en la parte baja de la Sierra Madre Occidental.

En la costa del Golfo de México se encuentra el destino turístico Veracruz, localizado en la planicie costera del Golfo, siendo una zona plana de poca altura, extensa, con una gran influencia fluvial.

En la costa del Mar Caribe se encuentran los destinos turísticos de Cancún y Riviera Maya los cuales presentan una superficie muy plana con áreas muy bajas de lo que se conoce como la plataforma de Yucatán, sujetas frecuentemente a los embates del oleaje por ubicarse en trayectoria de huracanes. Cancún se encuentra sobre una barrera conformada entre la laguna Nichupté y el mar. Mientras que la Riviera Maya está representada por pequeñas bahías, y puntas rocosas calcáreas, con playas de dimensiones variables.

### a) MUESTREO DE SITIOS DE PLAYA EN CADA DESTINO TURÍSTICO

Para la selección de los sitios de muestreo se consideró estudiar de tres a cuatro playas representativas de los destinos turísticos, con una extensión aproximada de un kilómetro, abarcando playas turísticas, desembocaduras de ríos y lagunas, presencia de obras civiles como marinas, muelles, espigones y áreas con procesos erosivos.

A continuación se presentan las ubicaciones de las playas muestreadas en cada destino turístico para los relevamientos de campo de topografía, batimetría y sedimentología.

#### Los Cabos

En el destino turístico de los Cabos se consideraron las poblaciones de Cabo San Lucas y San José del Cabo, del municipio de Los Cabos, Baja California Sur. En la población de Cabo San Lucas se contempló el levantamiento de dos playas representativas, donde se encuentra la infraestructura hotelera (Figura 11).

En San José del Cabo, se llevaron a cabo dos levantamientos, el primero comprendió desde el puerto San José del Cabo y la barra de la laguna del mismo nombre hasta las playas ubicadas frente a la zona hotelera; el segundo se efectuó en la zona hotelera de Punta la Palmilla (Figura 12).

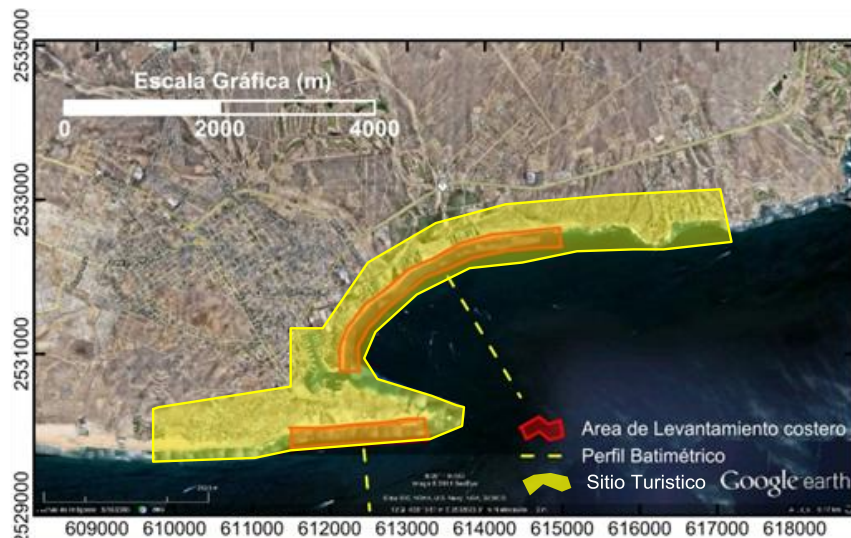


Figura 11. Área de levantamiento en Cabo San Lucas





Figura 12. Área de levantamiento en San José del Cabo

### Mazatlán

En este destino turístico, el área de muestreo abarcó del faro Mazatlán a Playa Cerritos. Comprendió las playas aledañas a la marina el CID, la playa frente a la laguna Camarón y las playas aledañas al estero Urías, siendo un total de 4 playas representativas (Figura 13).

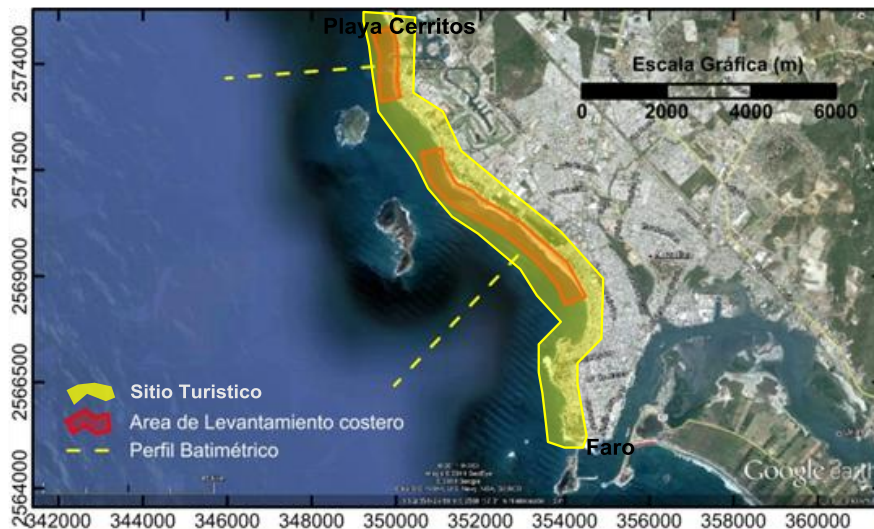


Figura 13. Área de levantamiento en Mazatlán

## Nuevo Vallarta

Se levantaron tres playas distribuidas hacia las partes norte, centro y sur del sitio, incluyendo los márgenes de la desembocadura del río Ameca, así como la entrada a la marina de los hoteles Paradise a Mayan Palace (Figura 14).

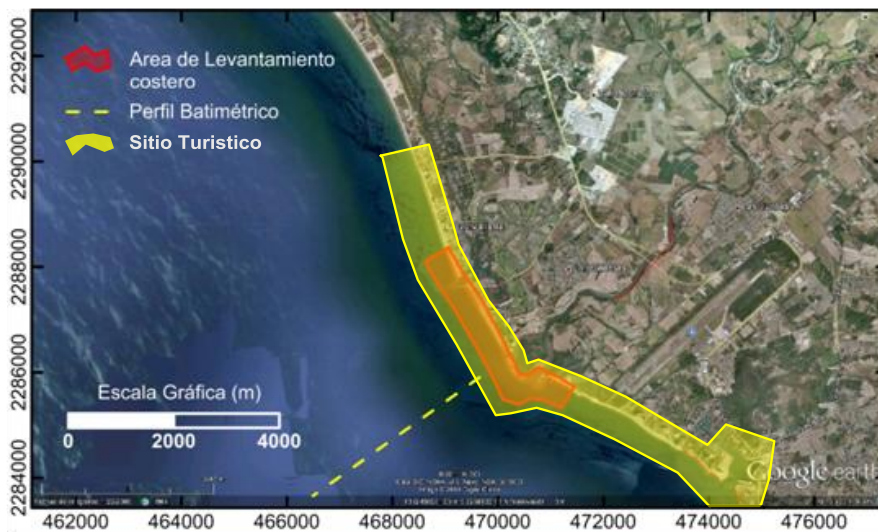


Figura 14. Área de levantamiento en Nuevo Vallarta

## Puerto Vallarta

Se levantaron dos playas representativas hacia el norte y sur del sitio que comprendieron los márgenes de la entrada a la Marina Vallarta y de la desembocadura del río Cuale (Figura 15).

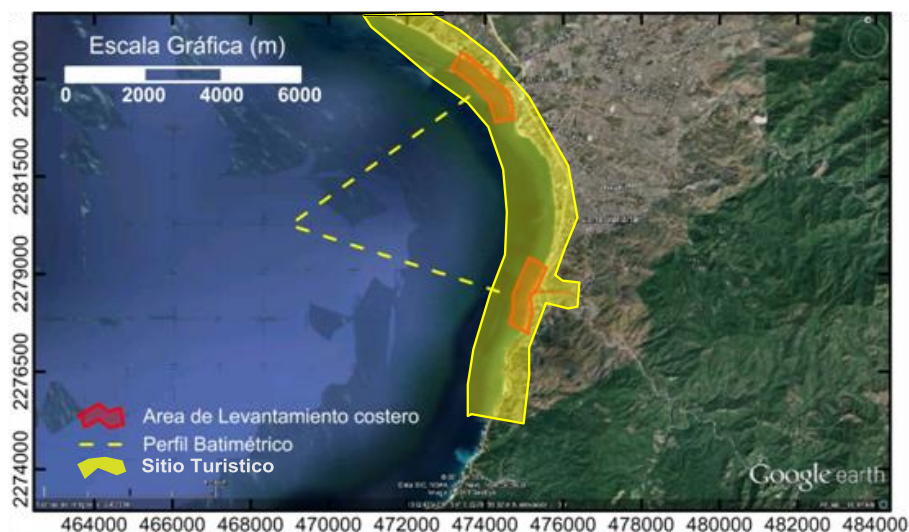


Figura 15. Área de levantamiento en Puerto Vallarta

### Ixtapa-Zihuatanejo

En este sitio se consideraron ambas bahías, llevando a cabo el levantamiento de dos playas distribuidas al norte y sur de cada bahía, tomando en cuenta los márgenes de la desembocadura del río Lerma, y la entrada de las playas más visitadas como son: Playa Ixtapa-Zona Hotelera, Playa Palamar y Playa Madera (Figura 16).

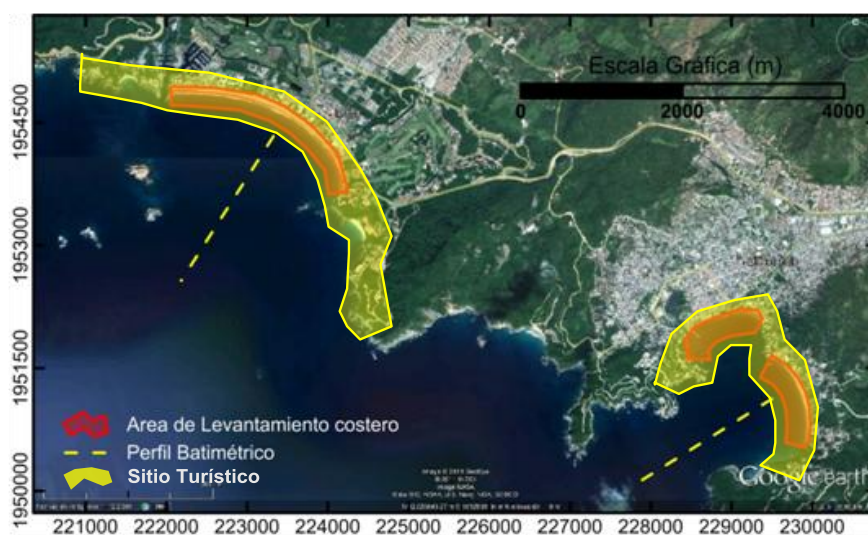


Figura 16. Área de levantamiento en Ixtapa-Zihuatanejo

### Acapulco

El destino turístico de Acapulco abarcó las bahías de Acapulco y Puerto Marqués. En Acapulco se levantaron tres playas distribuidas al norte, centro y sur de la bahía, comprendiendo las playas de Papagayo, la Condesa e Iacos respectivamente, así como la playa de la parte central de la bahía de Puerto Marqués, siendo un total de 4 playas (Figura 17).

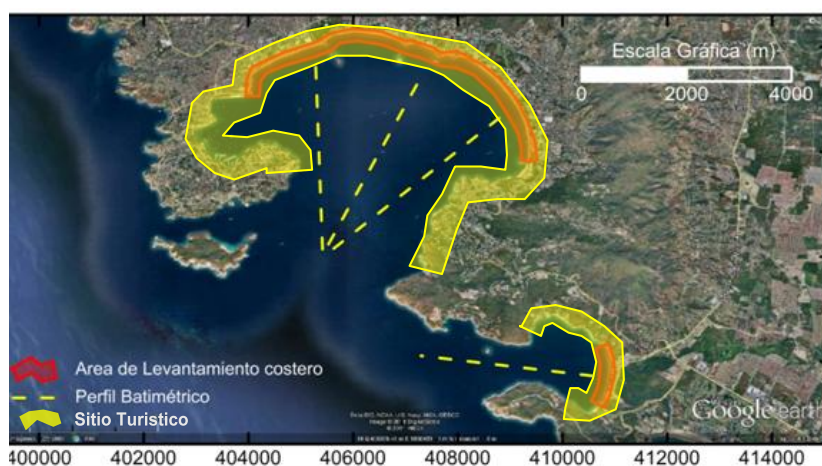


Figura 17. Área de levantamiento en Acapulco

## Veracruz

Este destino turístico abarcó desde la entrada del puerto a la desembocadura del río Jamapa. Se levantaron cinco playas: frente al Acuario, Hotel Camino real, Mocambo, y dos en la desembocadura del río Jamapa (Figura 18).

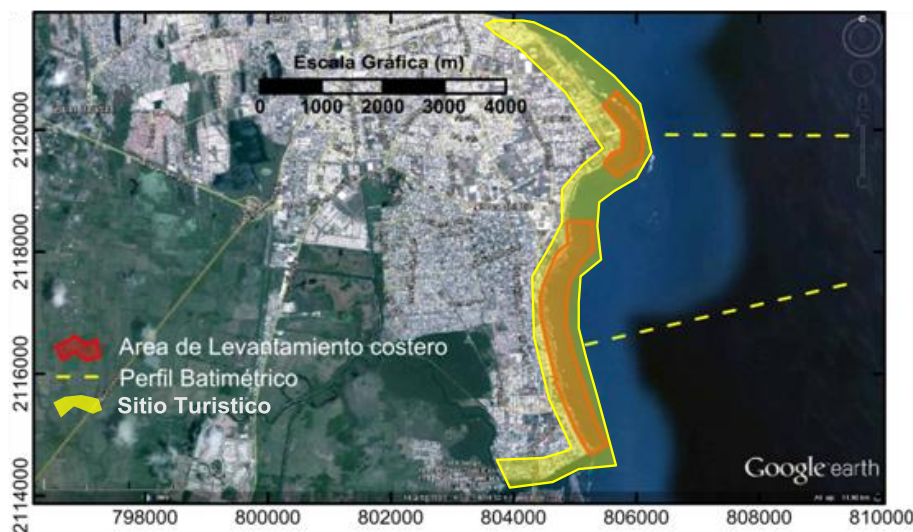


Figura 18. Área de levantamiento en Veracruz

## Huatulco

De las bahías de Huatulco se consideraron como playas representativas las comprendidas en las bahías de Tangolunda, Santa Cruz-Chahue y San Agustín. Por su extensión relativamente pequeña, se realizó un levantamiento total de las playas, abarcando infraestructura hotelera o restaurantera (Figuras 19 y 20).

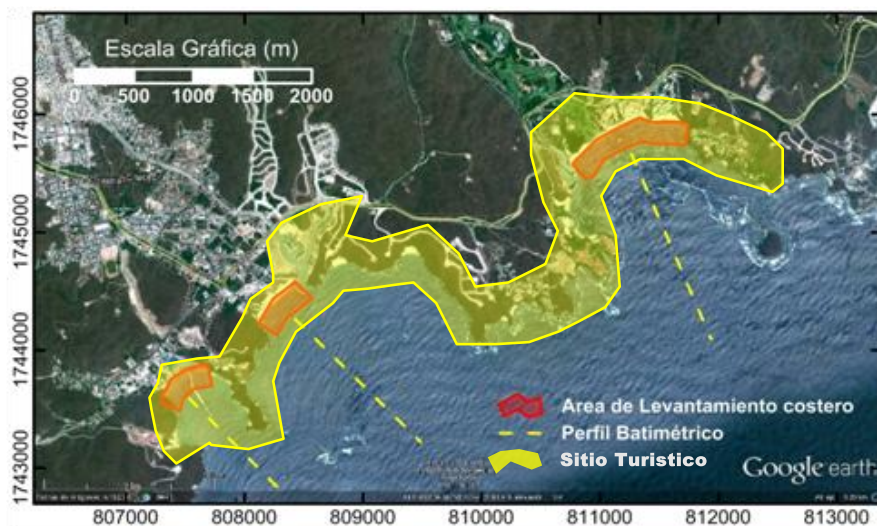


Figura 19. Área de levantamiento en las Bahías de Santa Cruz-, Chahue y Tangolunda

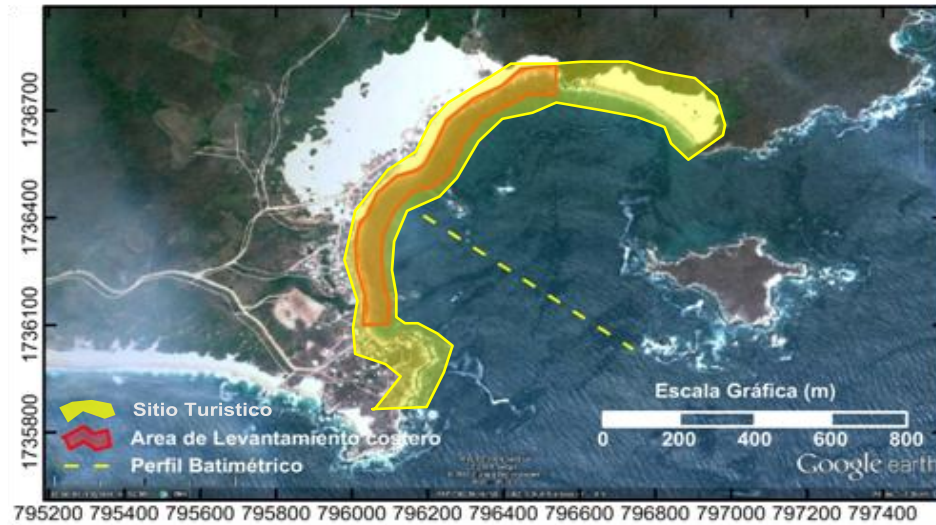


Figura 20. Área de levantamiento en la Bahía de San Agustín

### Cancún

En el destino turístico de Cancún se consideró desde Puerto Juárez hasta Punta Nizuc (Figura 21). Abarcó 5 playas distribuidas de la siguiente manera: dos en la parte norte, dos hacia el centro, y una al sur. En Cancún se realizó adicionalmente el levantamiento batimétrico de toda la zona costera y de su playa para evaluar, de manera dinámica, los cambios en los procesos de erosión-depósito (Figura 22).

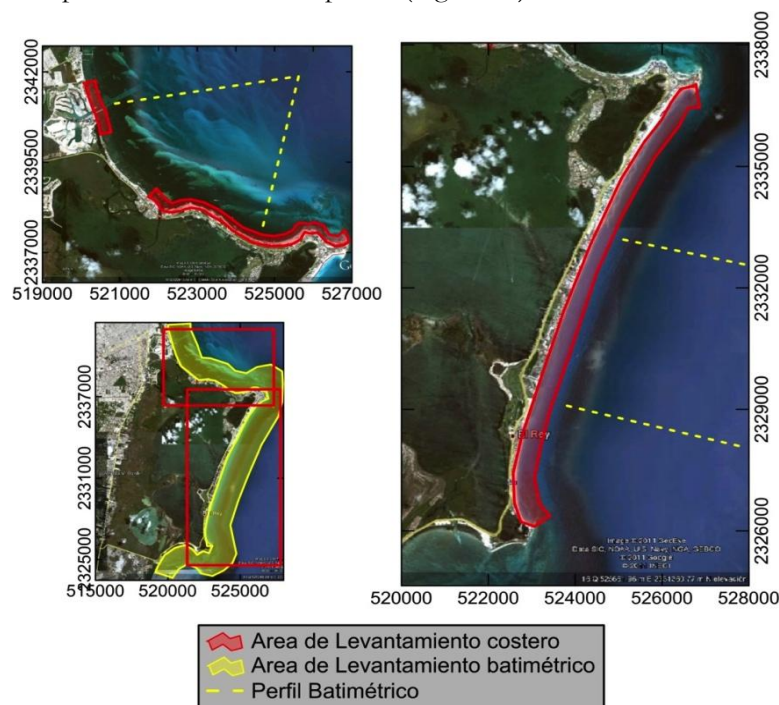
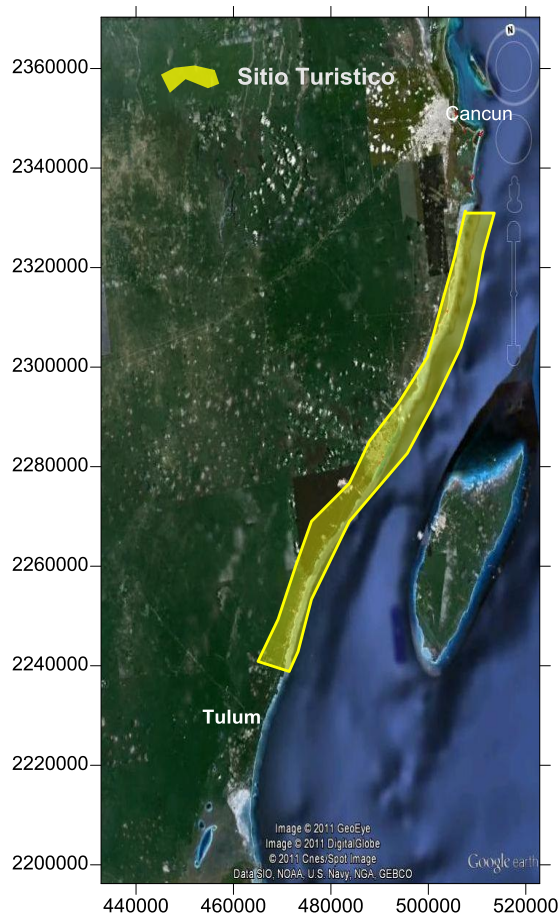


Figura 21. Área de levantamiento en Cancún

## Riviera Maya

La zona de estudio en la Riviera Maya abarcó la zona comprendida entre Puerto Morelos y X-Cacel. Se levantaron cinco playas: una en de Puerto Morelos, dos en Playa del Carmen y dos en Akumal (Figura 22).



**Figura 22.** Área de levantamiento de la Riviera Maya

En Puerto Morelos se consideró de la marina El Cid a la estación de la UNAM; en Playa del Carmen se abarcó a partir del Hotel Dorado Maroma (calle 34 norte) hasta Playacar. Se levantaron las playas frente a los muelles ultramarino y municipal (Figuras 23, 24 y 25)

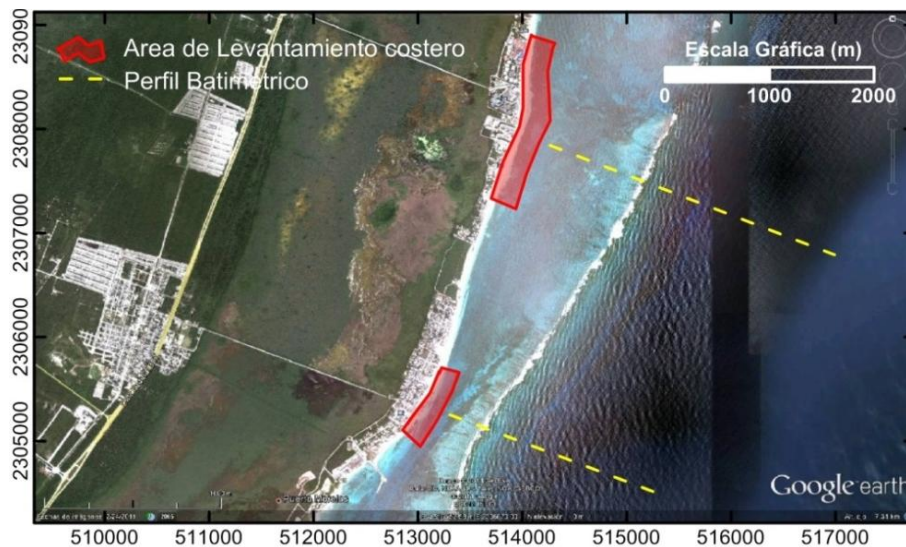


Figura 23. Área de levantamiento en Puerto Morelos

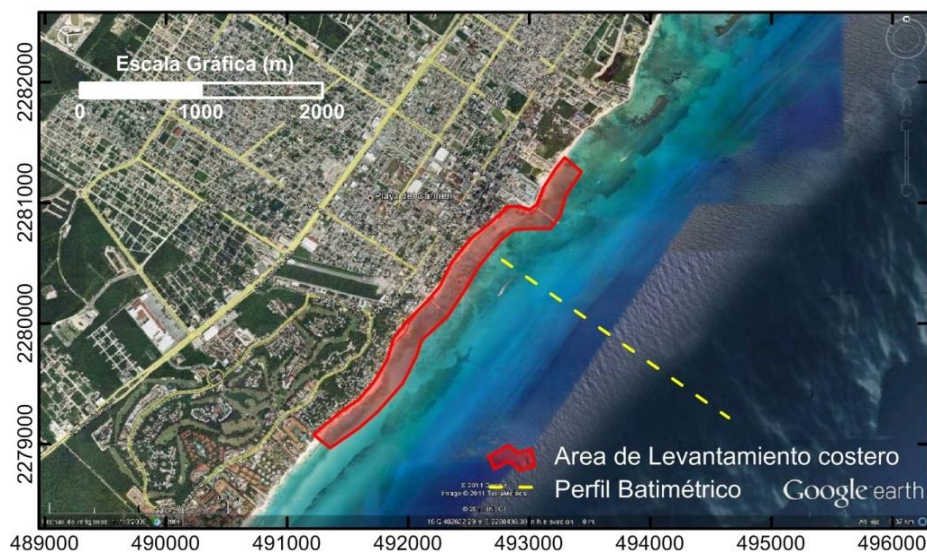


Figura 24. Área de levantamiento en Playa del Carmen

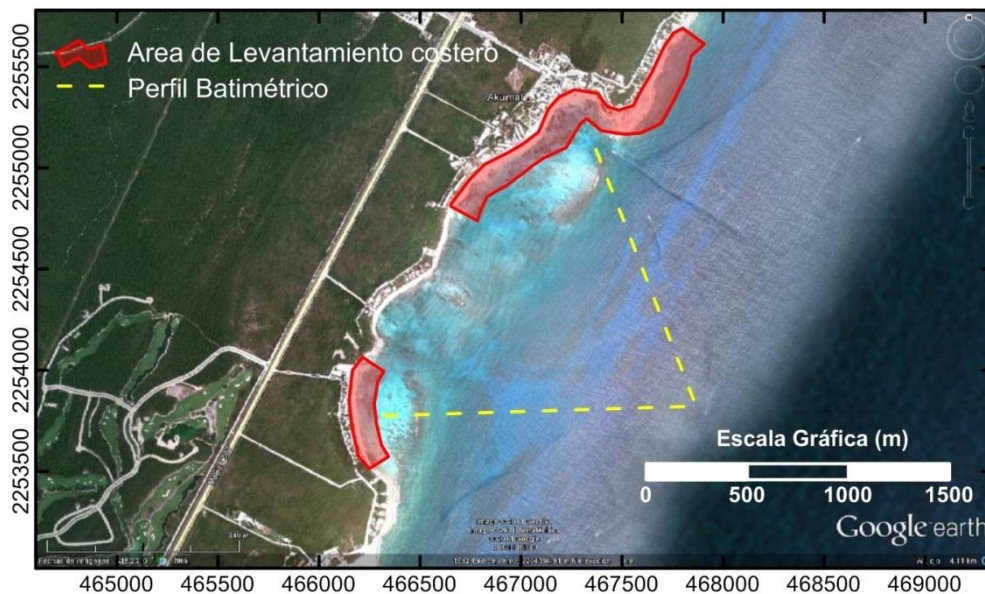


Figura 25. Área de levantamiento en Akumal



## b) MORFOLOGÍA DE LA ZONA LITORAL

Para conocer las características morfológicas de la playa se utilizaron métodos topográficos que permitieron obtener una caracterización topográfica precisa de las zonas estudiadas. Actualmente se utilizan métodos con los que se obtiene un mayor volumen de datos en tres dimensiones, lo que permite interpolar superficies, obtener la topografía más detallada y el cálculo de diferentes datos morfométricos como pendiente de playa, altura de playa, amplitud de playa, determinación de zonas de erosión y acumulación o volúmenes de material implicados en dichos procesos.

La morfología de la zona costera se obtuvo a través del establecimiento de una red topográfica, que consistió en monumental y/o localizar Bancos de Nivel (BN) en cada playa a levantar, ubicados con coordenadas UTM y referidas al elipsoide WGS 84.

Estos bancos fueron referidos al nivel medio del mar (NMM) a partir del traslado de las cotas de los vértices Geodésicos pertenecientes a la Red Geodésica Nacional. El traslado de cotas se realizó por medio de una nivelación espacial con GPS, la cual consiste en colocar un receptor base sobre la placa de la red geodésica y otro receptor en el vértice a ubicar. El referir los BN al NMM asegura que los datos obtenidos tengan este mismo marco de referencia y no deban hacerse correcciones por marea. Sin embargo, el dato de marea se usó para determinar la amplitud de la playa.

El levantamiento topográfico consistió en representar los elementos singulares de la playa en las tres zonas en que se divide ésta, supraplaya, mesoplaya e infraplaya (Figura 26).

Los perfiles abarcan tres subzonas de playa:

- Supraplaya (Sp)- nivel de marea alta hacia el continente delimitado por vegetación, dunas o construcciones.
- Mesoplaya (Mp)- zona intermareal.
- Infraplaya (Ip)- zona de marea baja hacia el mar.

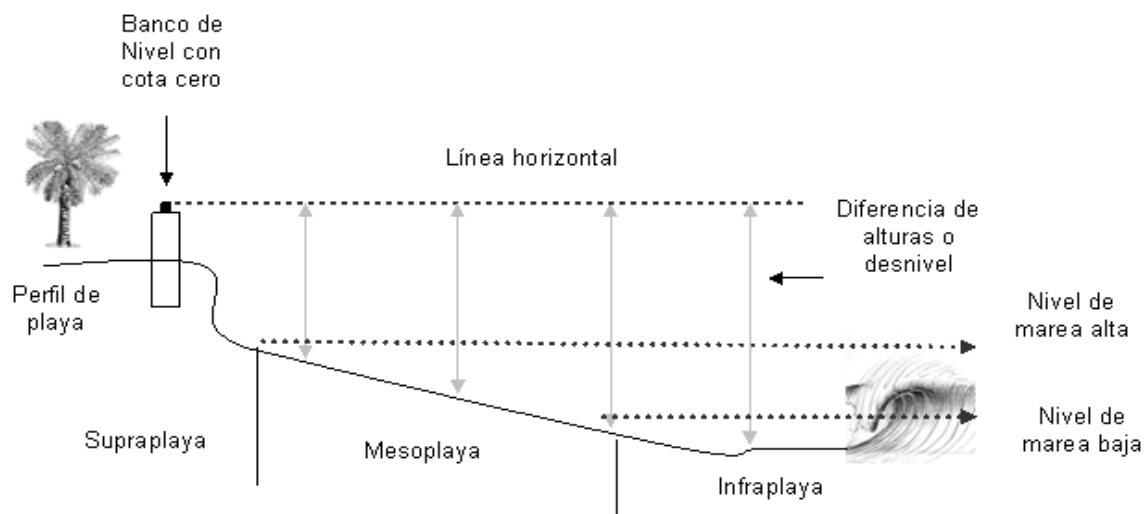
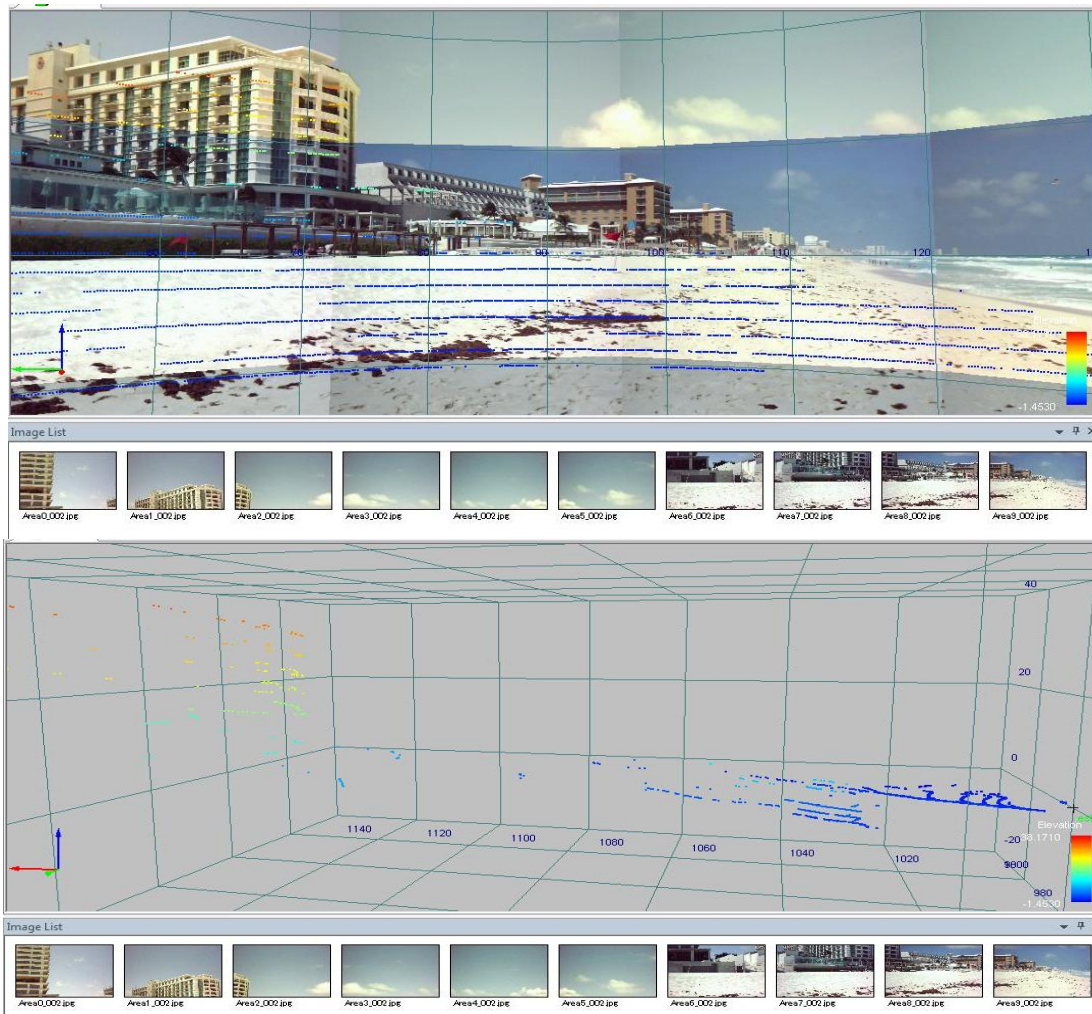


Figura 26. Esquema del perfil de playa

Los levantamientos topográficos se realizaron en todas las playas mediante el uso de una estación Robótica iSCAN (Figura 27). El método de trabajo fue radial a partir de los BN, empleando la modalidad de escaneo, obteniendo entre 1000 y 1200 puntos por playa, y por la modalidad de radiaciones obteniendo un mínimo de 100 puntos por playa, como se muestra en la Figura 27.



**Figura 27.** Perspectiva del levantamiento y puntos escaneados en la playa Cancún centro nube de puntos escaneados en el mismo sitio con valores 3d (latitud, longitud y altitud).

En los 10 destinos se llevó a cabo el levantamiento de tres o cuatro playas representativas del sitio con un kilómetro de longitud aproximadamente.

Para realizar el análisis morfológico de las playas se generaron los mapas topográficos utilizando el software Arcgis 9.3, Civil CAD, Surfer e Image master Topcon, utilizando el método de interpolación del “Natural Neighbor”.

### c) BATIMETRÍA DE LA ZONA MARINA

Para conocer las características morfométricas del fondo marino cercano a la zona de playas, de los 10 destinos turísticos, se llevó a cabo, levantamientos batimétricos en campo perpendiculares a la línea de costa y obtención de información batimétrica a partir de las cartas batimétricas de la Secretaría de Marina y de INEGI, a partir de ello, se elaboraron secciones batimétricas.

En el caso de Cancún se realizó un levantamiento batimétrico en las temporadas de secas y lluvias 2012. En estos levantamientos, las profundidades se registraron con una ecosonda Naviger S de forma continua con una frecuencia de 5 mm a escala del plano y una secuencia de sondeo (Distancia entre líneas de sondeo o transectos batimétricos) de aproximadamente 600 m en la zona litoral (Figura 28). La calibración de la ecosonda se realizó mediante cable graduado y escandallo dos veces durante el sondeo, una al inicio y otra al final.

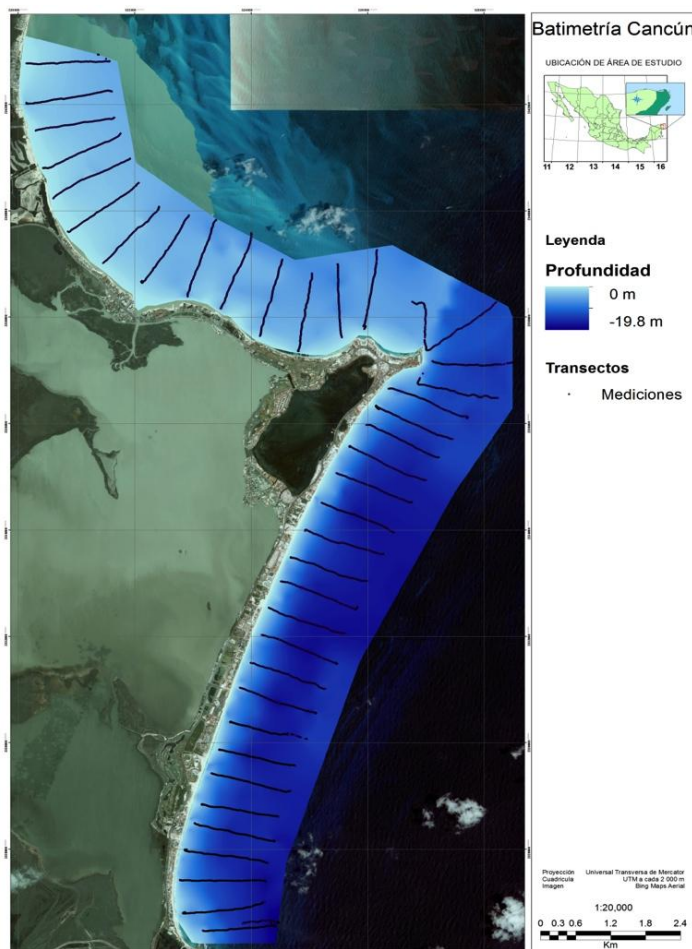


Figura 28. Ejemplo de la distribución de las perfiles batimétricos: Caso Cancún

El aseguramiento altimétrico para determinar el nivel medio del mar, se realizó con una regla de marea, donde se tomaron lecturas cada 15 minutos, para luego promediarlas a los registros horarios. La nivelación de la regla se realizó mediante nivelación diferencial con el empleo de un nivel automático, desde una cota existente con altura conocida sobre el Nivel Medio del Mar (NMM).

Para garantizar la calidad y continuidad de las observaciones del nivel del mar se cumplió con extrema rigurosidad las siguientes medidas técnicas.

- Todas las observaciones se refirieron con relación al tiempo, al huso horario local
- El tiempo durante las observaciones se midió con una exactitud de  $\pm 2$  minutos.
- La lectura de la regla de control se realizó con una exactitud no mayor a los  $\pm 2$  cm, que es el error permisible para el mareógrafo GR - 38.
- El período de las observaciones garantizó la corrección de las profundidades durante la realización del sondeo.

En el caso de los destinos restantes sólo se realizaron secciones batimétricas con una ecosonda Navigator S de forma continua y se complementó la información con las cartas batimétricas. Estas secciones se levantaron en transectos perpendiculares a la línea de costa.

#### **d) CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA ZONA LITORAL**

En los sitios donde se llevaron a cabo los levantamientos topográficos de playa se realizó un muestreo de sedimentos en las tres zonas de playa: la parte expuesta o sub-aérea (supraplaya), la zona de lavado o de rompiente (mesoplaya) y de la zona sumergida (infraplaya). A los sedimentos colectados se les efectuó un análisis granulométrico y de composición mineralógica para determinar la energía presente en la zona litoral y la procedencia de los sedimentos. Cada una de estas tres muestras brindó información sobre el efecto de corrientes y oleaje en la infraplaya; oleaje y viento en mesoplaya y viento o acción del oleaje de tormenta en supraplaya.

#### **Análisis Granulométrico de los sedimentos**

Comprendió la medición del tamaño de los sedimentos mediante el método de tamizado, usando tamices a cada 0.25 phi, y se calcularon los 4 parámetros granulométricos (tamaño gráfico promedio, desviación estándar gráfica inclusiva, asimetría gráfica inclusiva y Curtosis) según Folk, 1974.

El análisis de tamaños o textura de sedimentos se realizó de acuerdo a la escala de tamaños de Wentworth (1922), utilizando los criterios propuestos por Folk (1974). (Tabla 2)

**Tabla 2.** Límites de parámetros granulométricos (Modificado de Folk, 1974)

<p><b>TAMAÑO GRÁFICO PROMEDIO</b>  <math>Mz = (r_{16} + r_{50} + r_{84})/3</math></p>	<p>Arena muy gruesa: -1 a 0 phi (2 a 1 mm)                  Arena gruesa: 0 a 1 phi (1 a 0.5 mm)                  Arena media: 1 a 2 phi (0.5 a 0.25 mm)                  Arena fina: 2 a 3 phi (0.25 a 0.125 mm)                  Arena muy fina: 3 a 4 phi (0.125 a 0.0625 mm)                  Limo muy grueso: 4 a 5 phi                  Limo grueso: 5 a 6 phi                  Limo medio: 6 a 7 phi                  Limo fino: 7 a 8 phi                  Arcilla: &gt; 8 phi</p>
<p><b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR GRÁFICA INCLUSIVA</b>  <math>S_1 = \frac{r_{84} - r_{16}}{4} + \frac{r_{95} - r_5}{6.6}</math></p>	<p>Muy bien clasificado: menor de 0.35 phi                  Bien clasificado: 0.35 a 0.50 phi                  Moderadamente bien clasificado: 0.50 a 0.71 phi                  Moderadamente clasificado: 0.71 a 1.00 phi                  Mal clasificado: 1.00 a 2.00 phi                  Muy mal clasificado: 2.00 a 4.00 phi                  Extremadamente mal clasificado: mayor de 4.00 phi</p>
<p><b>GRADO DE ASIMETRÍA GRÁFICA INCLUSIVA</b>  <math>SK_i = \frac{r_{16} + r_{84} - 2r_{50}}{2(r_{84} - r_{16})} + \frac{r_5 + r_{95} - 2r_{50}}{2(r_{95} - r_5)}</math></p>	<p>Muy asimétrico hacia finos: SKi(+1.00 a +0.30)                  Asimétrico hacia finos: SKi(+0.30 a +0.10)                  Simétrico: SKi(+0.10 a -0.10)                  Asimétrico hacia gruesos: SKi(-0.10 a -0.30)                  Muy asimétrico hacia gruesos: SKi(-0.30 a -1.00)</p>
<p><b>CURTOSIS</b>  <math>Kg = \frac{r_{95} - r_5}{2.44(r_{75} - r_{25})}</math></p>	<p>Muy platicúrtico: Kg menor de 0.67                  Platicúrtico: Kg(0.67 a 0.90)                  Mesocúrtico: Kg(0.90 a 1.11)                  Leptocúrtico: Kg(1.11 a 1.50)                  Muy leptocúrtico: Kg(1.50 a 3.00)                  Extremadamente leptocúrtico: Kg mayor de 3.0</p>

□

### Composición mineralógica de sedimentos

El análisis mineralógico de los sedimentos se realizó por el método de “frotis” (Rothwell, 1989) con microscopio estereoscópico para la fracción arenosa, identificando los minerales terrígenos (silicatos, filosilicatos, óxidos, entre otros) y carbonatados (biogénicos, fragmentos de rocas calcáreas, etc.). A partir de la composición se determinaron las posibles fuentes de proveniencia de los sedimentos formadores de las playas de los sitios turísticos.

### e) CLIMA DEL OLEAJE

El oleaje es el principal fenómeno que afecta las playas, generando las corrientes responsables de la erosión, produciendo inundación en zonas costeras debido al incremento del nivel medio, y generando daños sobre la infraestructura costera. Tanto el oleaje normal como el extremal son de interés, como controladores del transporte longitudinal y perpendicular de los sedimentos y por tanto puede ser una de los factores responsables de la erosión presente en la costa.

En este informe se presentan los datos obtenidos de investigaciones oceanográficas Golfo de México y Mar Caribe, así como para el Pacífico Tropical.

Por otro lado en el destino turístico de Cancún, se llevo a cabo, la medición de corrientes durante la época de secas y lluvias del 2012, como parte del monitoreo dinámico de este sitio.

En la época de secas del año 2012, el registro de las direcciones y velocidades de las corrientes marinas, oleaje y marea se obtuvo con el anclaje de un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP), modelo AWAC de 600 kHz (Figura 29).



**Figura 29.** a) Perfilador de corrientes acústico doppler (ADCP) AWAC de 600 kHz. b) ADCP AWAC de 600 kHz instalado en la base listo para el fondeo.

La estación de medición de corrientes se ubicó entre Punta Cancún e Isla Mujeres (ADCP 600 kHz). Las coordenadas de la estación oceanográfica se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Coordenadas de la estación oceanográfica.

Estación	X	Y	Prof.
ADCP AWAC 600 kHz	527092	2342585	8 m

Para mostrar la información sobre las distribuciones de velocidad y la frecuencia de variación de las direcciones de la corriente, se representaron gráficamente mediante rosas de corriente basadas en los datos de magnitud y dirección. Las rosas se dividieron en 16 sectores, abarcando cada uno 22.5°, proporcionando información sobre las velocidades y las frecuencias relativas de los parámetros en diferentes direcciones.

Cabe mencionar, que a diferencia de las rosas de vientos, que dan información de la dirección desde donde sopla el viento, las rosas de corrientes proporcionan información de hacia dónde se dirige la corriente.

El muestreo de las corrientes marinas, en época de lluvias del año 2012, se realizó por el método de arrastre del equipo ADCP en lugar de sembrarlo o anclarlo. Esto debido a que en esta época, la zona de Cancún, es paso de huracanes, donde la fuerza generada por el oleaje de un huracán pone en riesgo la localización y recuperación del equipo.

## f) **MODELO HIDRODINÁMICO**

A partir del conjunto de datos registrados en campo e información estadística y bibliográfica de corrientes, marea y oleaje se elaboraron varios modelos hidrodinámicos, entre ellos: Modelo de refracción de oleaje, Modelo de oleaje máximo, Modelo de sobre elevación del nivel del mar y Modelo Hidrodinámico de corrientes marinas. A continuación se presenta la metodología de cada uno de ellos.

### 1. **Modelo de refracción de oleaje**

El modelo hidrodinámico de refracción se realizó para todos los destinos turísticos para definir el impacto que pueda tener el oleaje de diferentes direcciones e intensidades en la zona litoral de los diferentes destinos turísticos.

Al igual que los rayos de luz se curvan cuando viajan de un medio a otro, las olas son distorsionadas por cambios en la profundidad (campo de velocidad) en aguas relativamente someras. Este curvamiento de las crestas de las olas, o frentes, es llamado refracción. Si una serie de olas largas (longitud de onda  $L$  larga) regulares se aproximan a la costa con algún ángulo oblicuo, y los contornos del fondo (isóbatas) son relativamente uniformes, la porción de cresta de ola más cercana a la costa sentirá el fondo primero y tendrá un retardo relativo a la porción de la cresta de ola en aguas más profundas. En general, las crestas de las olas tienden a hacerse paralelas con los contornos del fondo (Aldeco, 1986).

La importancia del análisis de refracción según la U.S. Army Corps of Engineers (1984) es:

1. La refracción y el someramiento definen la altura del oleaje a determinada profundidad y bajo ciertas condiciones de altura de oleaje, periodo y dirección de propagación

2. El cambio en la dirección del oleaje de diferentes partes de la ola resulta en la convergencia o divergencia de energía y afectaciones por oleaje en estructuras
3. La refracción contribuye a la alteración de la topografía por erosión y deposición de sedimentos. En este aspecto, Munk y Taylor (1947) determinaron la relación entre refracción, distribución de la energía de oleaje a lo largo de la costa y procesos de erosión-deposición de materiales en la playa.

El método de ortogonales es el más adecuado para el análisis de refracción de oleaje, por ser más rápido que el método gráfico de frentes de ola para la construcción de diagramas de refracción, el cual requiere dibujar las crestas de ondas sucesivas, lo que permite después la construcción de ortogonales; mientras que el método de refracción por espectro requiere que exista un espectro del oleaje para la región de interés. Las ortogonales son líneas perpendiculares a la cresta de la ola y extendidas en la dirección de que avanza la ola. El programa que se utilizó fue REDSEA (Refraction and diffraction simultaneous effects approximation) de Worthington y Herbich, desarrollado por la "Texas A&M University". Este programa FORTRAN calcula las coordenadas de avance de ortogonales sobre una malla de datos (campo de velocidad) y realiza un análisis de refracción y uno de difracción de oleaje para la costa de California, sin embargo únicamente se utilizó la parte de refracción del oleaje, adaptado por Montañó y Aldeco (1985).

Se utilizó dicho método considerando que:

- El análisis de refracción está basado en la Ley de Snell y en la Teoría Lineal de ondas oceánicas
- La energía de las olas entre ortogonales permanece constante.
- La dirección de avance de las olas es en dirección de las ortogonales.
- La velocidad de una ola en un período dado depende solamente de la profundidad a la que se encuentra.
- Los cambios en la topografía del fondo son graduales.
- Las olas son suaves (no picudas), de periodo constante, de pequeña amplitud y monocromáticas.
- El efecto de corrientes, vientos, difracción y reflexión por playas o estructuras es considerado despreciable.

Por otra parte, debido a que la refracción del oleaje depende esencialmente de la profundidad en la que viajan las olas, en la modelación numérica de ortogonales que atraviesan una zona de transición de agua profunda a agua somera, se utiliza el modelo denominado "campo de velocidad". En la misma tónica de un haz luminoso que atraviesa un medio de diferentes densidades (velocidades), el programa de refracción genera un campo de velocidad a partir de los datos batimétricos. La impedancia de este medio a las ortogonales monocromáticas será la que determine las desviaciones de una trayectoria de otra manera recta.



## 2. Modelación de oleaje máximo

Con el fin de conocer el clima del oleaje que puede impactar a los diferentes destinos turísticos se realizó una modelación del oleaje máximo, considerando lo siguiente:

Las intensidades de las tormentas y las alturas de las olas son afectadas por el cambio climático global, esto incluye las olas extremas generadas por huracanes y tormentas extratropicales (“nortes”), procesos que se atribuyen al calentamiento global. El incremento en las alturas de ola se han documentado por datos recogidos por boyas en el Atlántico del Norte, Golfo de México y Océano Pacífico Tropical del Este, con importantes tasas de incremento para el diseño y desarrollo de alertas a la zona costera.

Para conocer las características del oleaje producido por una perturbación meteorológica, como puede ser un ciclón o huracán, existen diversos criterios o metodologías. Los trabajos analizados utilizan el método del huracán estándar SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider), descritos en el Shore Protection Manual (CERC, 1984). Cabe señalar que para la aplicación práctica de esta metodología es necesario contar con los siguientes datos generales de la perturbación: su máxima depresión, radio de vientos máximos, diámetro del ojo, velocidades de vientos máximos y de traslación, y trayectoria. Se acostumbra, de acuerdo a la experiencia y a la literatura, seleccionar la(s) posición(es) del huracán más desfavorable(s), en relación a un determinado punto en donde se quiera conocer las características del oleaje, concepto importante para trasladar información a un sitio de interés. Las variables específicas que alimentan a cada uno de los métodos se obtuvieron a partir de la información que proporciona la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), el NODC (National Oceanographic Data Center), y la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, SARH, tanto en sus “Trayectorias Ciclónicas” como en las cartas sinópticas de tiempo.

La información se trabajó a partir de gráficas y tablas de la información relevante para los destinos turísticos en estudio. De la información de boyas se obtuvieron las estadísticas que correspondieron a aguas profundas próximas a los destinos turísticos, y se realizó el análisis de las series de tiempo observadas por boyas de la NOAA, modelos numéricos y observaciones desde barcos.

La cuenca del Caribe está sujeta a condiciones medias, generalmente benignas y persistentes, debidas a los vientos alisios, pero por confirmación de datos recientes del escatómetro de satélites, el régimen de los vientos puede tornarse bastante severo en ciertas regiones y estaciones del año. En todas las áreas del Caribe, los extremos están dominados por los ciclones (tormentas tropicales, huracanes), y la frecuencia de dichos ciclones se incrementa de manera abrupta en dirección meridional de la cuenca, de sur a norte. Por lo tanto se revisó la presencia de estos ciclones y el oleaje que se generó a partir de un estudio de simulación elaborado por CARIMOS (Caribbean Sea Metocean Statistics), el cual utilizó un modelo con asililación de datos para simular el oleaje sobre una malla anidada y mediante un modelo hidrodinámico bidimensional (2-D) para describir corrientes y sobre elevación del nivel del agua (Calverley et al., 1999). El dominio de CARIMOS consistió en la cuenca del Mar Caribe. La simulación se

extendió a todos los ciclones tropicales significantes en 79 años, desde 1921 a 1999 y al periodo de 15 años continuos, del año 1981-1995. En el Mar Caribe existe una notoria carencia de datos de oleaje contra los cuales validar la metodología de simulación (Carverley et al., 1999) y, dado lo anterior, para aliviar esta carencia, en este estudio se utilizó la fuente de Lee (1995). El Golfo de México se analizó a partir de las boyas de la NOAA y del trabajo de Wilson (1964); cabe señalar que este último autor es referencia de trabajos actuales (Carverley et al., 1999, entre otros). Del trabajo de Komar *et al.* (2008) se utilizaron las pendientes de cambio de altura significativa, a manera de tener la aproximación de altura significativa en el año 2013, con una posibilidad de valores ciertos de altura de ola significativa para periodos de retorno de 25 y 50 años. El Océano Pacífico Tropical Oriental cuenta con dos fuentes de datos; se analizaron los datos de Lee (1995), a partir de datos de boyas, y se trasladaron a las zonas de la costa de México bajo una justificación y verificación acorde, y de nueva cuenta se revisaron los datos de Komar *et al.* (2008) para predicciones futuras.

### 3. Modelo de sobreelevación del nivel del mar

Este modelo se llevó a cabo solamente en la Riviera Maya como una información de los efectos de la sobre-elevación del nivel del mar por huracán en una zona de trayectoria de huracanes, se consideró el cálculo de la sobre-elevación del nivel del mar, a partir de dos metodologías ampliamente aceptadas. La primera es la del Shore Protection Manual (Coastal Engineering Research Center), y la otra de un modelo numérico aplicado a las ecuaciones hidrodinámicas que se resuelven por medio de elementos finitos en un campo de profundidad. Este último modelo, fue desarrollado por investigadores del Coastal and Hydraulics Laboratory del U.S. Army Engineers Research and Development Center. Se calcularon las características de los huracanes con oleajes de un periodo de retorno de 100, 50 y 25 años.

Cabe mencionar que en los cálculos se consideraron las condiciones más adversas, esto es la entrada de un huracán en línea normal a la costa. Las elevaciones están referidas a la cota cero.

### 4. Modelo Hidrodinámico de corrientes marinas

Como parte del estudio dinámico de Cancún se describió el campo de velocidad de las corrientes marinas mediante la modelación numérica frente a la zona hotelera de Cancún, Quintana Roo, en época de lluvias y de secas. Esta información se utilizó para entender la dinámica de las corrientes y con ello conocer a más detalle la dinámica costera.

Para el modelado de corrientes frente a la zona hotelera se usó el software FLOW-3D para evaluar la circulación de la corriente generada por la presencia de la corriente de Yucatán en la proximidad de la línea de costa.

El modelo es bidimensional y los cálculos se realizaron sobre una cuadrícula de profundidades que reproducen los márgenes de la costa, de la laguna y del mar adyacente. El modelo es dependiente del tiempo, utiliza las ecuaciones de agua somera con diferentes coeficientes de fricción. La solución de las ecuaciones es mediante la técnica de diferencias finitas y la codificación se realiza en lenguaje fortran. Las condiciones iniciales que se propusieron en cada experimento son las direcciones de la Corriente de Yucatán, que son frente a la costa con dirección NNE, N y NNW. Las intensidades de la corriente utilizadas para la modelación hidrodinámica fueron de 75 y 150 cm/s (casos cuando se aleja y cuando se pega el núcleo de la corriente a la costa).

El sistema de brisa mantiene su influencia en la circulación costera a una periodicidad de 12 h, por lo que sobrepuesto a los alisios, con periodicidad de 90 d, no ejerce una influencia determinante en el flujo de agua, y menos cuando se consideran las velocidades de la corriente por arriba de 75 cm/s. La corriente litoral generada por el oleaje se sobrepone a la generada por la brisa. La marea de la región es semidiurna con una amplitud media de 20 cm, por lo que su influencia es de poca consideración en la generación de corrientes de marea, comparada con las velocidades de la Corriente de Yucatán.

La base matemática de la metodología utilizada en la modelación numérica hidrodinámica en el programa FLOW-3D, comprende las soluciones analíticas de las ecuaciones de flujo de fluidos donde una serie de simplificaciones y linealizaciones fueron introducidas. Por otro lado, estas ecuaciones aplicadas a la simulación en oceanografía se enfrentan a la complejidad de la geometría de las cuencas reales bajo consideración.

#### 4. AMENAZAS POR CAMBIO CLIMÁTICO

El informe “Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad”, promovido por la Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para Casos de Desastres, (UNDRO) (1994), define el concepto de amenaza natural como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso, durante cierto período de tiempo, en un sitio dado. Con frecuencia la cuantificación de la amenaza resulta difícil, por lo que a menudo ésta se describe en términos cualitativos. Este proceso requiere información histórica o la consideración de un experto.

En este caso, se consideró que los fenómenos hidrometeorológicos son eventos atmosféricos que, por su elevado potencial energético, frecuencia, intensidad y aleatoriedad representan una amenaza para el ser humano y el medio ambiente (Strahler, 2005). En México, los riesgos meteorológicos son muy abundantes y frecuentes, debido a su ubicación geográfica, ya que está situado en una zona de convergencia de eventos atmosféricos de diversa naturaleza, como son las tormentas tropicales, los huracanes, las ondas del Este, las masas de aire frío y caliente, las corrientes de chorro, los efectos del sistema atmosférico El Niño, entre otros.

Así también, los efectos del cambio climático en la zona costera se ven reflejados principalmente en un evento mundial que es el aumento del nivel medio del mar y el incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos. Estas amenazas son muy críticas para el medio ambiente, y se prevé que tendrán un impacto negativo sobre la salud humana, la seguridad alimenticia, las actividades económicas, la infraestructura, la disponibilidad del agua y otros recursos naturales.

Las consecuencias o peligros de estas amenazas (aumento del nivel medio del mar y en la intensidad de huracanes) son principalmente las inundaciones y procesos de erosión-depósito, bajo este apartado y siendo más específicos:

- a) Aumento del nivel del mar por cambio climático
- b) Erosión costera
- c) Inundaciones por marea de tormenta
- d) Inundación fluvial por huracanes y lluvias extremas
- e) Refracción de oleaje

## a) ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

### Datos y Procesamiento

Para el presente estudio se recopilaban datos de precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima y temperatura media de 20 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de monitoreo meteorológico de la Comisión Nacional del Agua (CNA) de cada una de las regiones estudiadas. Se creó una base de datos climatológicos, esta información fue integrada en archivos de hojas de cálculo en el programa Excel de Microsoft® y se revisó con el objetivo de identificar datos anómalos y faltantes.

Se realizó un análisis de la calidad de los datos que se basa en verificar la calidad mediante el programa R-Climdex (Zhang y Yang, 2004). Con él, se identificaron datos incorrectos como temperaturas mínimas mayores o iguales a las temperaturas máximas; temperaturas por encima de los 50 °C, y precipitaciones mayores a los 500 mm en 24 hrs y menores a 0, la mayoría de ellas correspondientes a errores de captura en las bases de datos originales. Además se revisó la homogeneidad de las series a través del programa RHtest.

Una vez revisada la calidad y coherencia de la información, se eliminaron algunas otras estaciones con datos anómalos, quedando en total 11 estaciones climáticas útiles.

Las estaciones elegidas para el estudio se detallan en la Tabla 4 y Figura 30. Las mismas fueron escogidas además por la longitud de la serie de datos. El período seleccionado fue 1961-2009, que comprende un total de 49 años que representan 588 meses. Con los datos diarios (escala temporal más pequeña con que se cuenta) se calcularon las medias mensuales en el caso de las temperaturas y la suma mensual en el caso de la precipitación. Finalmente se decidió escoger aquellas estaciones cuyas series comenzaran en 1961, y que dentro del período 1961-2009, estuvieran más completas. El criterio que se tuvo en cuenta fue que como máximo le faltara el 10 % de los meses, lo cual representa 59 meses de un total de 588.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) establece de forma general, 30 años como la longitud recomendable que han de tener los registros meteorológicos para que su media y los demás índices estadísticos tengan significación climática. Es entonces una recomendación general, obviamente aplicable, entre otras variables a las temperaturas y las precipitaciones mensuales y anuales. La recomendación de la OMM precisa incluso el treintenio, estableciendo unos períodos de 30 años internacionales, tales como 1901-1930, 1931-1960 y el último, 1961-1990. Esto permite comparar mejor los valores climáticos obtenidos para diferentes lugares. Este fue el motivo para escoger el período en 1961-1990 para hallar las normales en la zona estudiada. Además los escenarios climáticos con que se trabajó están referidos a ese mismo período.

Se realizaron cálculos de diferentes parámetros estadísticos de cada una de las series estudiadas los cuales incluyeron el cálculo del estadígrafo de Mann-Kendall ( $\alpha = 0.05$  y  $0.1$ ), para analizar la tendencia (Sneyers, 1990).

Las estaciones seleccionadas están ubicadas dentro de los Estados de Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco, Nayarit, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo y Veracruz.

**Tabla 4.** Estaciones Meteorológicas utilizadas en el estudio

Estación	Nombre	Municipio	Estado	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m)
3005	Cabo San Lucas	Los Cabos	BCS	-109.91	22.88	15
3056	San José del Cabo	Los Cabos	BCS	-109.70	23.07	10
12127	Zihuatanejo	Zihuatanejo	Guerrero	-101.55	17.64	20
12142	Acapulco de Juárez	Acapulco de Juárez	Guerrero	-99.90	16.86	20
12052	La Unión	La Unión	Guerrero	-101.88	17.98	60
14081	La Desembocada	Puerto Vallarta	Jalisco	-105.21	20.73	250
20120	San Miguel Xuchitepec	San Miguel Xuchitepec	Oaxaca	-96.46	16.07	2370
23011	Kantunilkin	Lázaro Cárdenas	Quintana R	-87.48	21.09	15
23032	Chetumal	Othon P. Blanco	Quintana R	-88.32	18.5	11
25078	Rosario	Mazatlán	Sinaloa	-105.86	22.99	32
30056	El Tejar	Medellín	Veracruz	-96.16	19.07	10



**Figura 30.** Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el área de estudio

## Cálculo de Índices Climáticos Extremos

De las series de datos (Temperatura Media, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Precipitación) se calcularon los promedios de 30 años de registros (1961-1990); a estos registros se les hicieron análisis de tendencias y anomalías anuales. Para ello se utilizaron algunos de los índices recomendados por Grupo de Expertos para la Detección del Cambio Climático y el Seguimiento de Índices (The Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices, ETCCDMI) (Tabla 5).

De los 27 índices recomendados por el ETCCDMI, sólo se utilizaron aquellos que muestran cambios en la intensidad, frecuencia y duración de los eventos climáticos basados en las variables de temperatura y precipitación.

- Índices basados en percentiles que representan la ocurrencia de noches frías (TN10p) y cálidas (TN90p), de días fríos (TX10p) y cálidos (TX90p), y de días con precipitación extrema (DP90p). Todos ellos se calcularon de forma anual.
- Índices que definen períodos de excesivo calor, frío, humedad o sequía. De entre ellos se han elegido el número máximo de días secos consecutivos (CDD) y el número máximo de días húmedos consecutivos (CWD).
- Otros índices, como el de precipitación total anual (PRCPTOT) y el número de días con precipitación (DP).

Los índices fueron calculados teniendo como período base 1961-1990. Los índices mensuales fueron calculados si no faltaban más de 3 días en el mes, mientras que los anuales se calcularon si no faltaban más de 15 días en el año.

**Tabla 5.** Lista de Los Índices Climáticos básicos de ETCCDMI (\*Tomada de R-Climdex (Zhang y Yang, 2004)

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
SU25	Summer days (Días de verano)	Número de días en un año cuando TX (máximo diario) $>25^{\circ}\text{C}$	Días
TR20	Tropical nights (Noches tropicales)	Número de días en un año cuando TN (mínimo diario) $>20^{\circ}\text{C}$	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}\text{C}$
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}\text{C}$
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}\text{C}$
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}\text{C}$
TN10p	Cool nights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando TN $<10$ th percentil	Días
TX10p	Cool days (Días fríos)	Porcentaje de días cuando TX $<10$ th percentil	Días
TN90p	Warm nights (Noches calientes)	Porcentaje de días cuando TN $>90$ th percentil	Días
TX90p	Warm days (Días calientes)	Porcentaje de días cuando TX $>90$ th percentil	Días
WSDI	Warm spell duration indicador (Indicador de la duración de periodos calientes)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX $>90$ th percentil	Días
CSDI	Cold spell duration indicador (indicador de la duración de periodos fríos)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN $<10$ th percentil	Días
DTR	Diurnal temperature range (rango diario de temperatura)	Diferencia media mensual entre TX y TN	$^{\circ}\text{C}$
RX1day	Max 1-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en un día)	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días)	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
R10	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP $\geq 10$ mm	Días
R20	Number of very heavy precipitation days (Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP $\geq 20$ mm	Días
CDD	Consecutive dry days (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR $<1$ mm	Días
CWD	Consecutive wet days (Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR $\geq 1$ mm	Días
R95p	Very wet days (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que RR $>95$ percentil	mm
R99p	Extremely wet days (Días extremadamente húmedos)	Precipitación anual total en que RR $>99$ percentil	mm
PRCPTOT	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR $\geq 1$ mm)	mm



## Escenarios climáticos

Los escenarios climáticos que se presentan en este informe fueron obtenidos del sistema SIECCRe que se encuentra disponible en línea en la dirección <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios>. El sistema permite descargar datos de los escenarios de cambio climático regionalizados para México, en una escala espacial de 50 km x 50 km. Éstos fueron obtenidos mediante la aplicación de la herramienta estadística de Predictibilidad del Clima (CPT), del Instituto Internacional para la Investigación del Clima y la Sociedad, de Estados Unidos; a los resultados de 24 modelos de circulación global (MCG) que consideran los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) A2, A1B, B1 y Committed. A partir de los escenarios regionalizados de cambio climático (temperatura y precipitación) se integraron las proyecciones considerando períodos de 30 años, con lo cual se obtuvieron tres climatologías, la de los: a) 2020s (representa el periodo 2010-2039); b) 2050s (representa el periodo 2040-2069), y c) 2080s (representa el periodo 2070-2099). El año que se tomó como referencia fue el de 1990.

Se utilizaron los mapas de temperatura y precipitación, de los cuales se obtuvieron los valores mínimo y máximo de los pixeles que cubren las áreas turísticas descritas anteriormente y se calculó el promedio. Por la resolución del modelo (50 km), dichas áreas quedan cubiertas por uno o dos pixeles. A partir de estos archivos se extrajeron los datos pertenecientes a los puntos que se muestran en la Tabla 6 ubicados en el Estado correspondiente (Figura 31).



**Figura 31.** Puntos de la malla utilizados en la generación de los escenarios climáticos

Con los valores promediados se obtuvieron los valores de anomalía y dispersión para temperatura y precipitación, para los escenarios A2 y A1B. Se calculó también el rango de cambio, sumando y restando del valor de anomalía el valor de la dispersión en ambas variables.

**Tabla 6.** Coordenadas de los Puntos de la malla de escenarios

ID	Latitud (n)	Longitud (w)
1	15.75	-96.25
2	16.75	-99.75
3	17.25	-100.25
4	17.75	-101.75
5	19.25	-96.25
6	20.75	-105.25
7	20.75	-87.25
8	23.25	-109.75
9	23.25	-106.25

### Regionalización de Escenarios Climáticos

Con el objetivo de cuantificar impactos relacionados a variaciones climáticas, se generaron series climáticas de futuros potenciales para las estaciones meteorológicas de la zona de estudio, afectando las estadísticas que describen el clima local con los cambios derivados de los modelos globales.

La estrategia que se siguió a fin de regionalizar los datos producidos por el Modelo Global consistió en la utilización de un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico (GETM): el LARS-WG, herramienta que permite la simulación de los datos del tiempo en un sitio en particular bajo condiciones actuales y futuras del clima. Estos datos se producen en la forma de series de tiempo diario para un conjunto de variables del clima (precipitación, temperatura máxima, mínima y radiación solar).

El modelo utilizado tiene la habilidad de producir series sintéticas a escala diaria con las mismas características estadísticas de la serie real de la estación en cuestión. La suposición fundamental es que las correlaciones estadísticas entre las variables del clima derivadas de datos observados, son válidas bajo una suposición de cambio en el clima.

Los pasos fundamentales que se siguen para la generación de series sintéticas son:

1. Calibración del modelo: Los datos reales de cada estación meteorológica (observados) son analizadas a fin de determinar sus características estadísticas. Esta información es almacenada en dos archivos de parámetros.
2. Validación: Mediante una herramienta (Qtest), el mismo programa permite corroborar si las series generadas pueden considerarse como provenientes de la misma "población". Esta comprobación que determina si las distribuciones, valores medios y desviaciones estándar de los datos sintéticos son perceptiblemente diferentes de las del archivo original, se realiza mediante las pruebas estadísticas: chi-cuadrado, t-student y F Senecor.

3. Generación de series sintéticas de tiempo: Los archivos construidos durante la calibración con los datos reales son utilizados para la generación de las series sintéticas (con las mismas características de los datos originales pero difieren en la base del día a día).
4. Generación series futuras: Si se pretende obtener series sintéticas que correspondan a un cambio de clima en particular, pueden también ser generadas indicando los cambios derivados de un modelo climático global a un archivo llamado "escenario", que el LARS-WG utiliza cuando genera las series.

El archivo "escenario" es el que utiliza el programa para perturbar los parámetros estadísticos a fin de incorporar cambios en valores medios (temperatura, precipitación y radiación solar) y cambios en variabilidad (cambios a la desviación estándar de la temperatura o a la longitud de series de días de lluvia y series de días secos).

Para este estudio, los datos observados de las variables meteorológicas fueron obtenidos de las 11 estaciones meteorológicas, en el período 1961-2009 (cuyo control de calidad se efectuó con anterioridad). Con la aplicación de LARS-WG a estas series, se generaron los archivos de parámetros que corresponden a una descripción estadística de las características del clima en cada punto de medición.

Para los datos de las proyecciones (el archivo "escenario"), se utilizaron los provenientes de los modelos descargados del sistema SIECCRe ya descritos anteriormente. Los datos tomados corresponden a las proyecciones basadas en los escenarios A2 y A1B, así como para las climatologías 2020, 2050 y 2080, para cada uno de los pixeles correspondientes a las áreas de estudio.

Finalmente con estos datos, se obtuvieron los valores extremos. Existen diversos índices para expresar la intensidad y variabilidad de eventos climáticos extremos. En el caso de las temperaturas los índices de extremos utilizados fueron el percentil 90 de las temperaturas máximas diarias en el periodo cálido del año y el percentil 10 de las mínimas diarias en el periodo frío, considerando los años analizados. En el caso de la precipitación se utilizó el percentil 90 en el periodo de lluvias.

## b) AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

El incremento del nivel mar se ha convertido en una seria amenaza en los últimos años, ya que además del aumento generado por el cambio climático, estimado en 3 mm/año (MAGICC, 2009) (Figura 32), existen variaciones del nivel del mar por otros factores que pueden estar presentes en la zona litoral como son: las mareas de tormenta, las mareas normales o pleamares, fenómenos de subsidencia o hundimientos de terreno, e inclusive la morfología de la costa, como son las bahías, que por su forma dificultan el libre flujo de las corrientes producidas por los vientos durante las tormentas, provocando un aumento de la marea de tormenta, inundación de aguas marinas en zonas terrestres, erosión, fallamiento de estructuras de obras civiles, arrastre de objetos, salinización del terreno y afectación a ecosistemas.

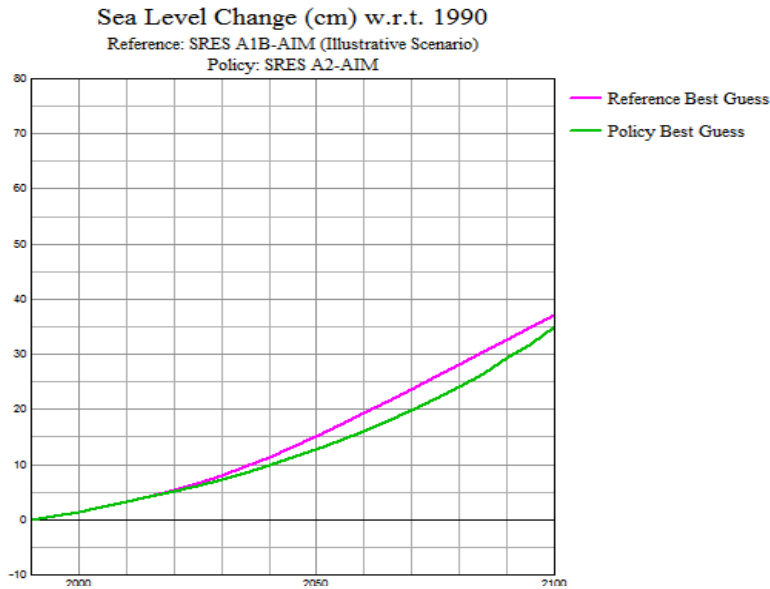


Figura 32. Determinación del cambio del nivel del mar (MAGICC, 2012)

Además se realizó una análisis de la elevación del nivel medio del mar a partir del análisis de los datos mareográficos del Servicio Mareográfico Nacional (Zavala *et al.*, 2011) (Figuras 33 y 34).

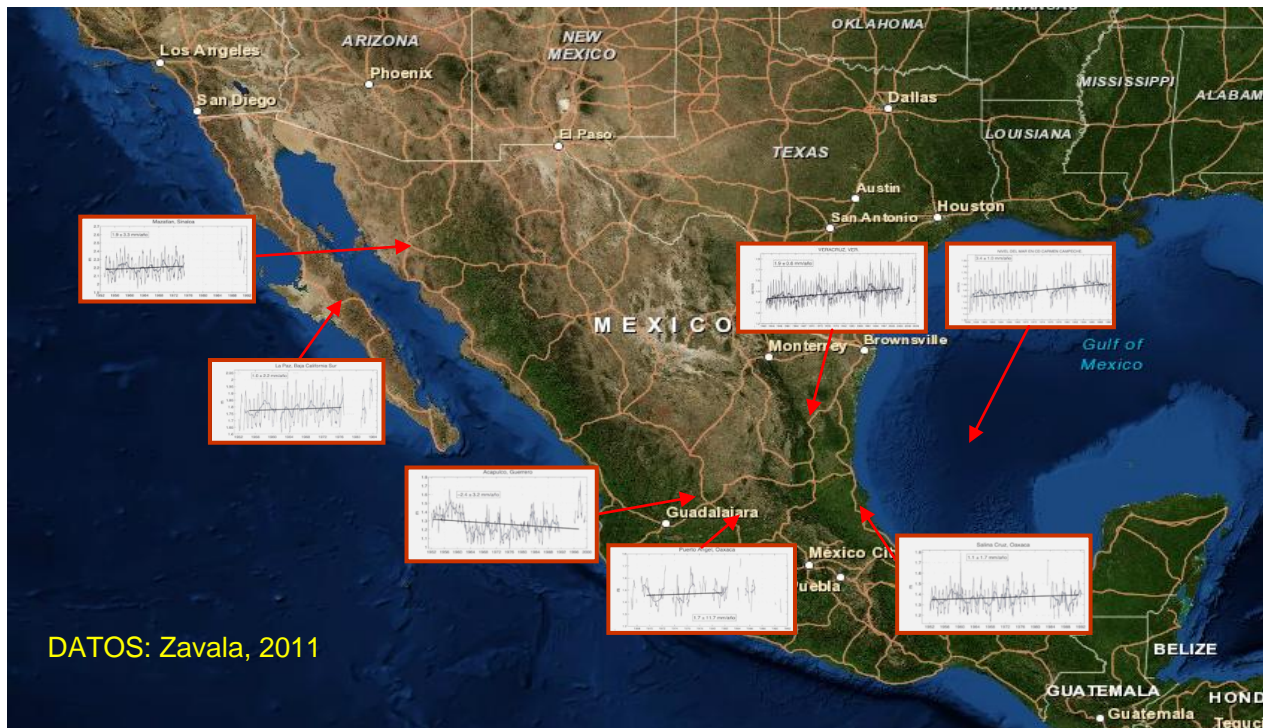
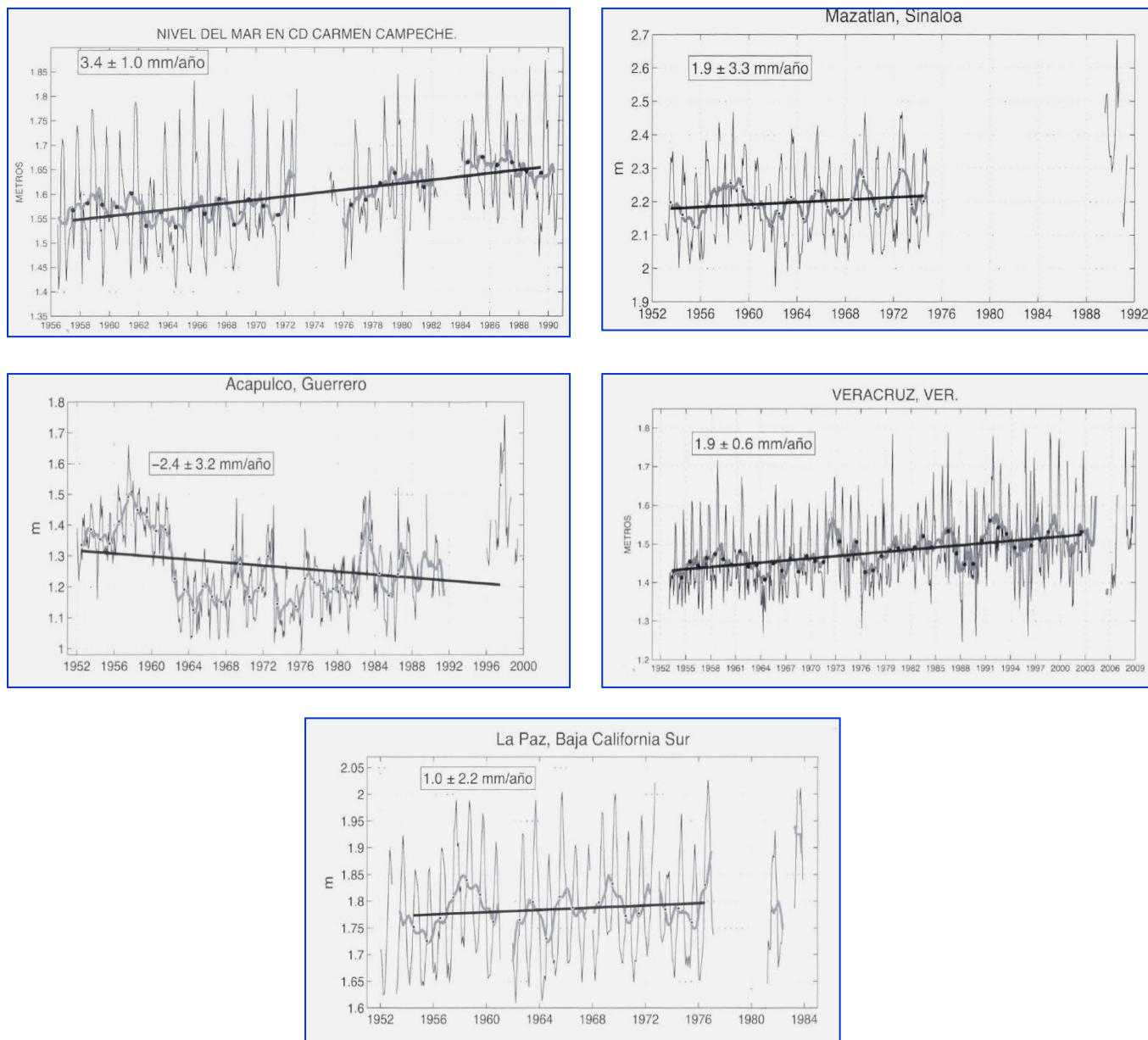


Figura 33. Localización de estaciones mareográficas en zonas de turismo costero en México (Servicio Mareográfico Nacional). Elaborado a partir de datos de Zavala *et al.*, 2011)



**Figura 34.** Tendencias de variación del nivel medio del mar en estaciones mareográficas del Servicio Mareográfico Nacional. Datos analizados por Zavala *et al.*, 2011.

### c) EROSIÓN COSTERA

La determinación de las zonas de erosión/acreción costera se realizó por medio del análisis espacial de imágenes satelitales y de ortofotografías. En efecto, cuando se cuenta con imágenes del terreno debidamente georreferenciadas de varias épocas, pueden delimitarse las costas en diversos momentos y mediante álgebra de mapas obtener información relacionada con los fenómenos de erosión o de acreción, según sea el caso, tales como longitud de la costa, áreas ganadas o perdidas al mar y, finalmente, refiriendo esta información con el tiempo, poder calcularse tasas de erosión y conocer las tendencias de evolución en el tiempo de la línea de costa. Estos cálculos son independientes del origen de los procesos de erosión o acreción dominantes en cada sitio.

El cálculo de la tasa de erosión se realizó a escala de detalle (escala menores a 1:1,000). El periodo de observación fue de 1993 a 2012, con algunas diferencias de pocos años en cada sitio en particular, dependiendo de la disponibilidad de imágenes en las áreas de estudio. Las fuentes documentales cartográficas fueron ortofotografías INEGI a escala 1:20,000 (Tabla 7) e imágenes Quickbird, Ikonos y GeoEye obtenidas de la plataforma Google Earth (Tabla 8).

**Tabla 7.** Características de las ortofotografías 1:20,000 del INEGI de la zona de estudio

<b>Fuente</b>	Fotografías aéreas escala 1:75,000 del año 1995
<b>Rectificación</b>	Fotogramétrica con auxilio de puntos de control geodésico y Modelo Digital de Elevación
<b>Proyección</b>	Universal Transversa de Mercator (UTM)
<b>Datum:</b>	ITRF92 y NAD 27
<b>Tamaño del píxel</b>	2 m

**Tabla 8.** Resoluciones espectrales y espaciales de algunos satélites ópticos de observación de la Tierra

RANGO ESPECTRAL		QUICKBIRD		IKONOS		GEOEYE	
RANGO	REGION*	BANDA ID	RESOL (m)	BANDA ID	RESOL (m)	BANDA ID	RESOL (m)
0.45-0.52	VIS (Azul)	1	4	1	2.4	1	1.6
0.52-0.60	VIS (Verde)	2	4	2	2.4	2	1-6
0.63-0.69	VIS (Rojo)	3	4	3	2.4	3	1.6
0.76-0.86	NIR	4	4	4	2.4	4	1.6
	PAN		1		0.6		0.41

## Proyección cartográfica y vectores utilizados

Todo el material cartográfico y digital utilizado se convirtió a la proyección Universal Transversa de Mercator para las Zonas 12, 13, 14, 15 y 16 del país sobre un esferoide definido por WGS84. Se utilizó información vectorial de referencia para la ubicación de rasgos como ciudades, curvas de nivel, vías de comunicación, hidrografía, rasgos culturales, cuerpos de agua, etc., elementos geográficos auxiliares en todo el trabajo de proyección y georreferenciación que se verá más adelante. La información vectorial fue adquirida a través del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en formatos shape y dxf a escala 1:50,000. Todas las coberturas vectoriales se transformaron a la proyección WGS84 a partir de los formatos originales (ITR92 y NAD27). Cabe mencionar que la información vectorial en formato dxf se cambió a un formato compatible con el SIG utilizado ArcGIS 9.3.1 ®, particularmente al formato shp (shape file), el cual contiene además una base de datos asociada a los vectores con datos de longitud, perímetro, área, etc, según la característica espacial del objeto cartográfico en cuestión. Adicionalmente se introdujeron coberturas como límites estatales y municipales.

## Marco de referencia geográfico

De acuerdo a los procedimientos de INEGI para la creación de ortofotografías, las utilizadas en el presente estudio tienen una escala 1:20,000 y una resolución de 2 metros. Para su elaboración el INEGI empleó técnicas de restitución ortofotogramétrica, con puntos de control de campo durante el vuelo y el empleo de vértices geodésicos de primer orden. Por lo anterior la cobertura de ortofotografías de INEGI se tomó como marco de referencia geográfico, a partir del cual se georreferenció todo el material cartográfico restante. Cabe destacar que los vuelos empleados por el INEGI para la obtención de las ortofotografías corresponden a la temporada 1994-1995 (excepto una que fue tomada en 2002), mismos de los que se obtuvieron las coberturas vectoriales proporcionadas por INEGI.

En caso de encontrar algún error geodésico, en el proceso de la georreferenciación de todo el material con respecto al citado de INEGI, estos no afectan la detección de los cambios que se presentan en la zona costera, ya que se trata de una operación de diferencia algebraica entre áreas. En todo caso se tendría un error sistemático de origen, que se elimina automáticamente toda vez que se están estudiando las diferencias de área en tiempos antes y después de la cobertura de INEGI tomada como base.

## Georreferenciación de imágenes satelitales

Todas las imágenes satelitales tienen errores de posicionamiento de origen y de las limitaciones propias de los sensores. En el presente trabajo se utilizaron imágenes Ikonos, Quickbird y GeoEye, todas ellas de la compañía Digital Globe y publicadas en Google Earth. Cada imagen individual tiene errores propios de la toma. El objetivo de la georreferenciación es el de llevar a un solo sistema cartográfico y de proyección las diversas tomas satelitales y

corregir el error inherente a las propias tomas satelitales. Para ello se utilizó la técnica de georreferenciación mapa a mapa (o imagen a imagen) utilizando puntos de control comunes a una imagen origen (georreferenciada, IBEGI) y al mismo punto obtenidos en la imagen destino (no georreferenciada, Digital Globe). Finalmente la imagen destino adquiere una nueva geometría acorde con la que se utilizó como referencia. Las correcciones geométricas incluidas dentro del procesamiento fueron aplicadas en base al ortomosaico de INEGI antes descrito, con el objetivo de relacionar las filas y columnas de la matriz original de la imagen con coordenadas geodésicas, logrando así que una imagen digital tenga validez cartográfica (Pinilla, 1995). El método utilizado para la georreferenciación de las imágenes fue el que presenta el módulo Autosync de Erdas. En este método se utiliza la rectificación imagen contra imagen (*Image to image rectification*), el cual se basa en la deconvolución cúbica usando puntos de control (GCP). El valor del error medio cuadrático (RMS) se mantuvo en el límite 0.5-1.2, lo que significa un error menor de un píxel (Figura 35).

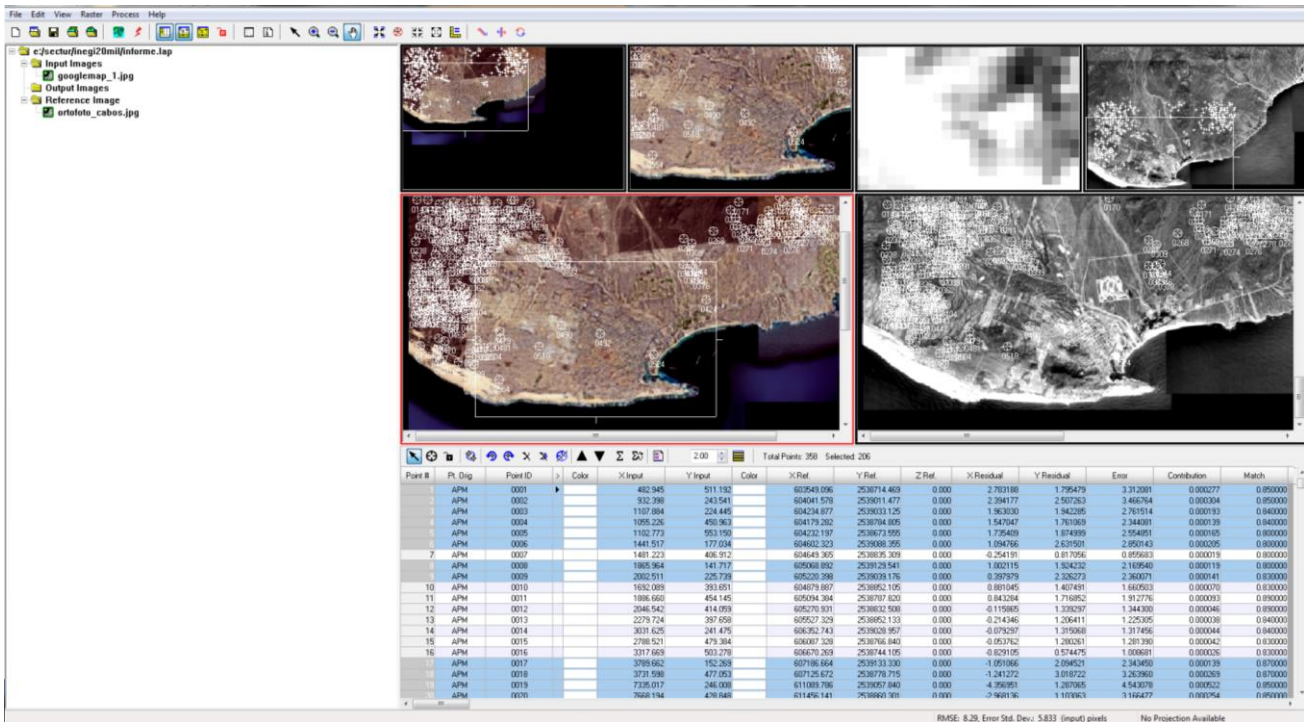


Figura 35. Georreferenciación de Imágenes de Satélite en Erdas 2011 con el módulo Autosync

### Formación del Ortomosaico

Una vez que las imágenes fueron georreferenciadas y transformadas en el mismo sistema de coordenadas espaciales, se realizó el procesamiento y conformación de un ortomosaico (ensamble de dos o más imágenes adyacentes o con superposición), en donde se creó una representación continua del área geográfica cubierta en su totalidad por ortofotos. El mosaico se realizó con ayuda de ArcGIS 9.3.1®, (Figuras 36 y 37).



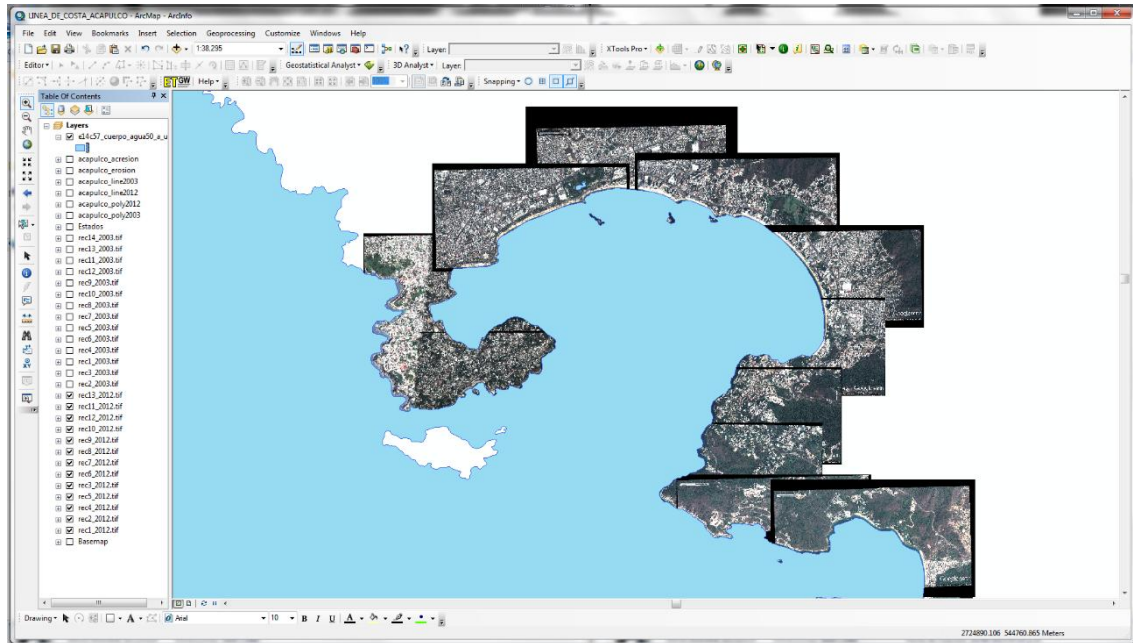


Figura 36. Creación de un ortomosaico

El método utilizado para la georreferenciación de las imágenes fue el que presenta el módulo ArcGIS 9.3.1 ®, (Figuras 37 y 38).

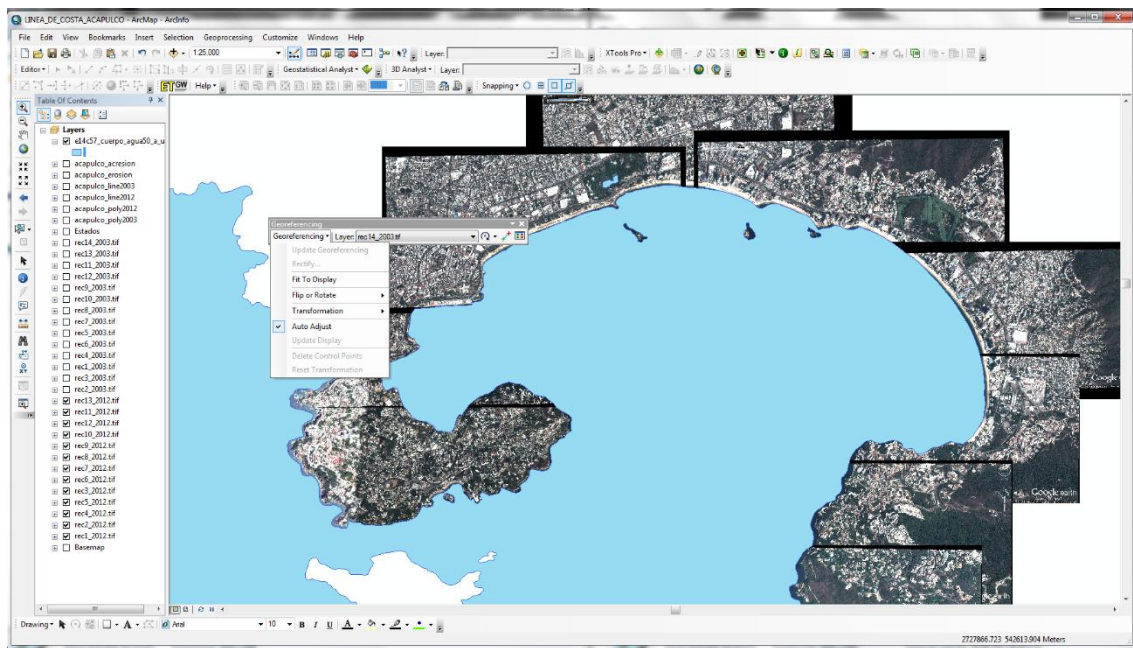


Figura 37. Georreferenciación de Imágenes de Satélite en ArcGis Arc/Info v. 9.3.1

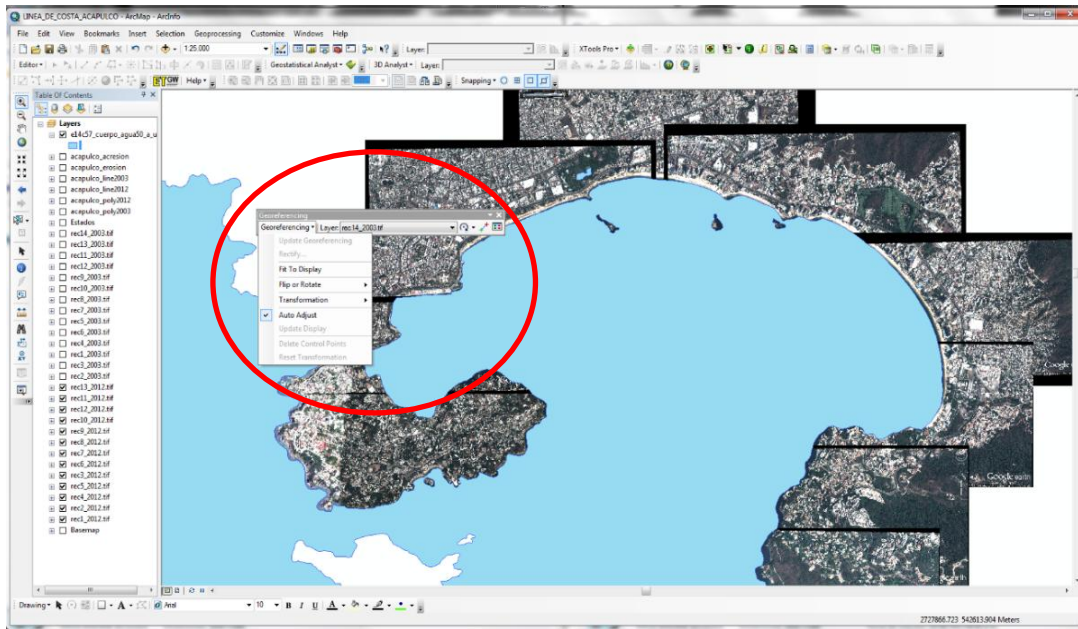


Figura 38. Georreferenciación de Imágenes de Satélite en ArcGIS Arc/Info v. 9.3.1

La georreferenciación a través de puntos de control es llamada modelación o corrección polinomial, este método también incluye todas las deformaciones de la imagen.

La obtención de puntos de control en la región no fue sencilla, ya que existen pocos elementos de referencia como caminos o instalaciones permanentes que son reconocidos o detectables en las diferentes resoluciones espaciales durante el periodo de análisis, por lo que muchos de los puntos de control o Ground Control Point (GCP) utilizados fueron principalmente accidentes geográficos que son poco variables en el tiempo (Figura 39).

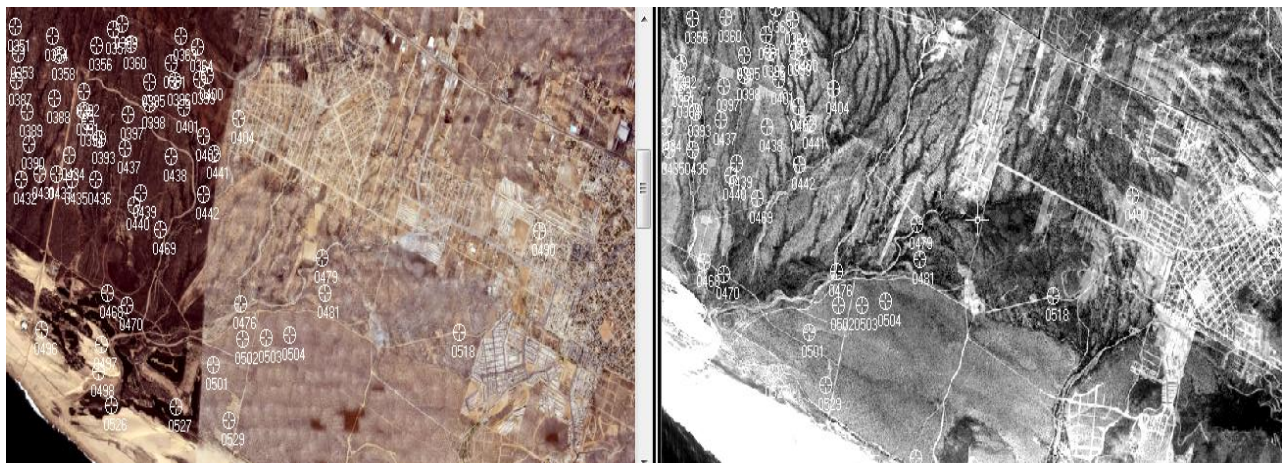


Figura 39. Ejemplos de ubicaciones de GCP utilizados en la georreferenciación

## Delineamiento de la línea de costa

A partir de las ortofotos y de las imágenes georreferenciadas se obtuvieron las líneas de costa por interpretación directa y vectorización en pantalla (Figura 40). No se emplearon métodos automáticos de detección de bordes dada la precisión que se deseaba obtener y la posible extracción de objetos geomorfológicos no deseables de las imágenes, tales como zonas de rompiente, infraestructura costera, etc.

El trabajo de delineamiento de la línea de costa se realizó considerando la línea intermareal interpretada de cada una de las imágenes satelitales. El resultado consistió en la obtención de líneas de costa conformes cartográficamente (polilíneas), que representan la geometría de la costa del momento en que fue obtenida la imagen satelital y/o las fotografías aéreas. Este insumo, las polilíneas, será la base para realizar operaciones algebraicas para determinar la magnitud y dirección de los cambios en la conformación de la línea de costa

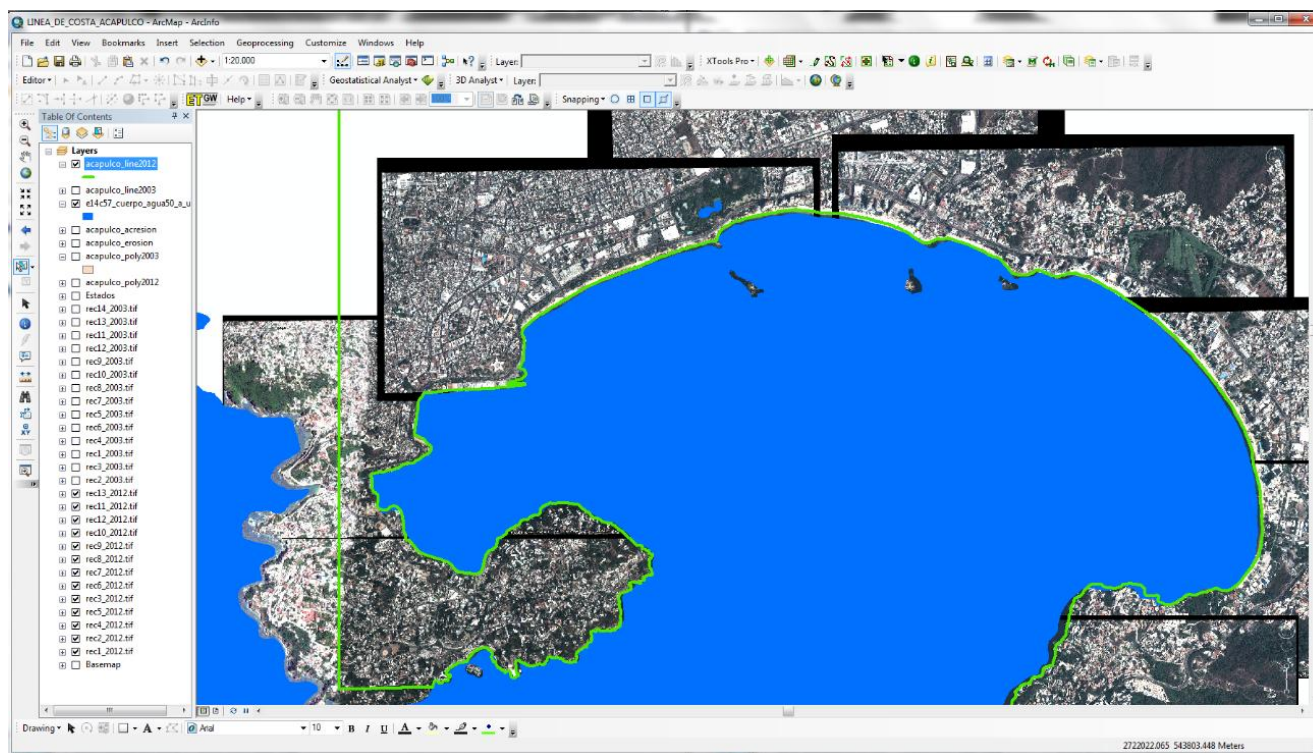


Figura 40. Despliegue de Imagen de Línea de Costa

## Estimación de la tasa de erosión

La estimación de la tasa de erosión se realizó mediante el método de cálculo de áreas de referencia. Para cada polilínea de un año determinado se marcó un polígono de referencia alrededor de ella y se calcularon el área continental ( $m^2$ ) y la longitud de la línea de costa ( $m$ ) (Figura 41). Con fines de homogenización del análisis, todos los polígonos tuvieron un ancho aproximado de 5 km.

Para conocer la tasa de erosión costera ( $tec$ ) se calculó el desplazamiento de la línea de costa ( $dlc$ ) durante los periodos de observación de dos imágenes digitales de dos fechas diferentes (Año 1 y Año 2, p. ej. 2003, 2012). (Figura 42) Se utilizaron las siguientes ecuaciones (ANIDE, 2005):

Erosión:

$$dlce(m) = \frac{\text{ÁreaCont}_2 - \text{ÁreaCont}_1}{\text{LongCosta}_2} \quad (\text{Ec. 1a})$$

Acreción:

$$dlca(m) = \frac{\text{ÁreaCont}_1 - \text{ÁreaCont}_2}{\text{LongCosta}_1} \quad (\text{Ec. 1b})$$

Para el cálculo del desplazamiento de la línea de costa, tanto para erosión como para acreción ( $dlc$   $dlca$ ) durante los periodos de observación, se utilizó la siguiente ecuación (ANIDE, 2005):

$$tec, tac(m/año) = \frac{dlc_{(a,e)}}{\text{Año}_2 - \text{Año}_1} \quad (\text{Ec. 2a})$$

La utilización del método de áreas de referencia nos proporciona el valor neto de desplazamiento de la línea de costa de toda la longitud de costa comprendida dentro del polígono resultante de ambas diferencias.

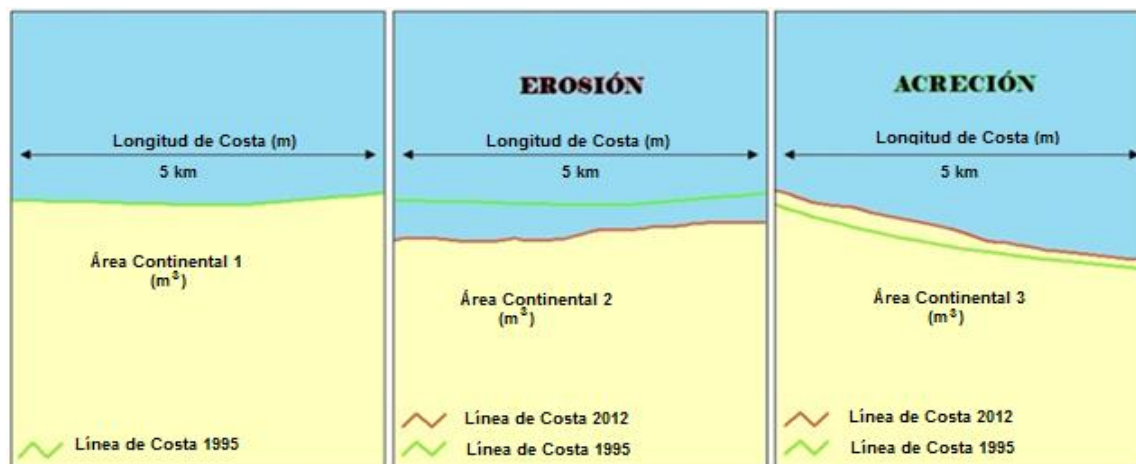


Figura 41. Áreas de referencia para el cálculo de la tasas de erosión y acreción



**Figura 42.** Digitalización del estudio de cambio de la línea de costa dos años distintos. Acapulco, Gro.

La utilización del método de áreas de referencia nos proporciona el valor neto de desplazamiento de la línea de costa de toda la longitud de costa comprendida dentro del polígono resultante de ambas diferencia.

## d) INUNDACIÓN POR MAREA DE TORMENTA

### 1. Definición de marea de tormenta

La marea de tormenta, se define como la elevación del nivel medio del mar, ocasionada por la acción de los vientos asociados a ciclones tropicales dentro de una región oceánica que puede abarcar de 80 a 160 kilómetros de extensión. Dicha elevación puede alcanzar los 7 metros y semeja un domo de agua que sobresale de la superficie usual del mar. Este fenómeno puede tener una duración que varía entre 12 horas y tres días, originando daños en las zonas bajas del continente por su acción dinámica y erosiva. En el caso de coincidencia entre la marea de tormenta y la pleamar (marea ordinaria o astronómica), la sobreelevación del nivel del mar es todavía mayor.

De los últimos huracanes registrados desde 1955 se tiene que los meteoros Janet (1955), Isidore, Kenna (2002) y Wilma (2005) provocaron mareas de tormenta del orden de 4 metros de altura asociadas a un fuerte oleaje, causando fuertes daños en México (Tabla 9).

**Tabla 9.** Relación de algunos huracanes en México y altura de marea de tormenta asociada

Relación de algunos de los huracanes más intensos en México y altura de marea generada			
Nombre	Categoría	Año	Marea de tormenta (m)
Janet	4	1955	4.8
Gilbert	5	1988	2.4 – 4
Keith	4	2000	2.7 – 3.6
Isidore	3	2002	1.8 – 3.1
Kenna	5	2002	2.7 – 3.7

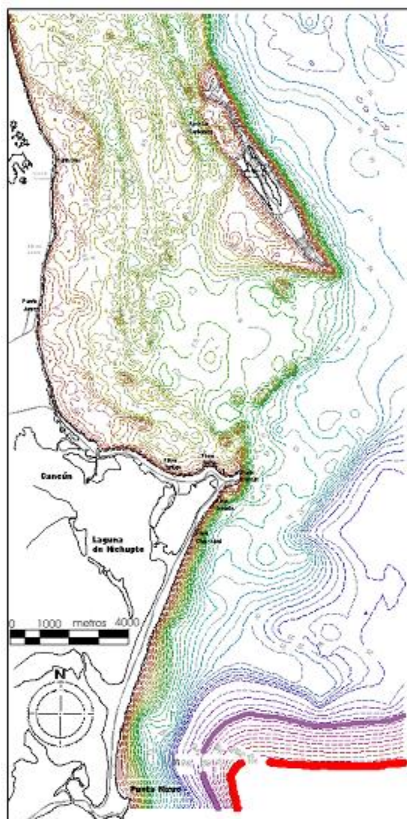
Fuente: CENAPRED (2001)

### 2. Aspectos físicos que influyen en la amplitud de las mareas de tormenta

La elevación de las mareas de tormenta depende de diversos factores físicos del sitio sujeto a análisis, como es el fondo marino (batimetría), la forma de la línea de costa y su posición con respecto a la trayectoria del ciclón y los vientos de éste.

- **Batimetría.** Las mareas de tormenta adquieren relevancia en las regiones marinas donde la profundidad del mar es menor a 200 metros, adquiriendo amplitudes mayores a un metro. Por lo anterior, para obtener una buena estimación de los valores que pueden adquirir las mareas de tormenta, se requiere contar con las curvas batimétricas de la zona de estudio.

- **Configuración de la línea de costa.** La geometría de la línea de costa es relevante debido a que de ello depende la cantidad de agua que se acumula. Por ejemplo, la sobrelevación del nivel medio del mar será mayor en las bahías, debido a que su contorno impide el flujo hacia los extremos. (Figura 43)



**Figura 43.** Ejemplo de configuración de la línea de costa de Cancún y batimetría de esta región

- **Posición con respecto a la trayectoria del ciclón.** Otra consideración de gran importancia es el ángulo que forma la trayectoria del huracán con la línea de costa, debido a que cuando forma un ángulo de  $90^\circ$ , se puede acumular más agua cerca de la costa, ya que la superficie del mar recibe una mayor cantidad de energía del viento, aumentando la amplitud de la marea de tormenta.

### 3. Estimación de la altura máxima de la marea de tormenta

La magnitud, dirección y sentido de los vientos que desarrolla un huracán para cada una de las posiciones que ocupa a lo largo de su trayectoria de desplazamiento, son la base del cálculo de la máxima elevación que alcanza el nivel medio del mar durante la marea de tormenta

La elevación  $h$  (m) más grande que alcanza a elevarse el nivel medio del mar por la marea de tormenta (amplitud de la marea de tormenta), puede calcularse a partir de la velocidad  $V$  del viento sostenido (km/h) y del radio de máximo viento  $R$  (km), mediante la expresión:

$$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F \quad (1.1)$$

donde:

$h = (0.03R + 0.000119V^2 - 1.4421)F$  = Elevación (m) más alta que alcanza la marea de tormenta en el mar, cerca de la costa.

$R$  = Radio de máximo viento (km).

Para estimar el valor  $R$  del radio de máximo viento (km), se utiliza la siguiente expresión:

$$R = 0.0007e^{0.01156p_0} \quad (1.2)$$

donde:

$p_0$  es la presión central

$e$  es la base del logaritmo natural ( $e = 2.71828\dots$ )

$V$  = Velocidad máxima del viento sostenido (km/h) calculado a 10 m sobre la superficie media del mar a la distancia  $R$  del centro del ciclón tropical. Esta velocidad se calcula a partir de la ecuación 1.3:

$$V = 20.1834(1013 - p_0)^{0.5} - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.3)$$

donde  $p_0$  es la presión en el centro del ciclón tropical en milibares (mb);  $V_d$  la velocidad de desplazamiento del ciclón tropical (km/h) y  $\phi$  es la latitud del centro del ciclón (en grados).

En el caso de un ciclón tropical estacionario, es decir cuando su velocidad de desplazamiento es cero ( $V_d = 0$ ), la velocidad máxima del viento sostenido (km/h) puede obtenerse a partir de la gráfica de la Figura 44 (CENAPRED, 2001), donde se requieren como datos de entrada la presión central y la latitud  $\phi$  (en grados) del ojo del ciclón.

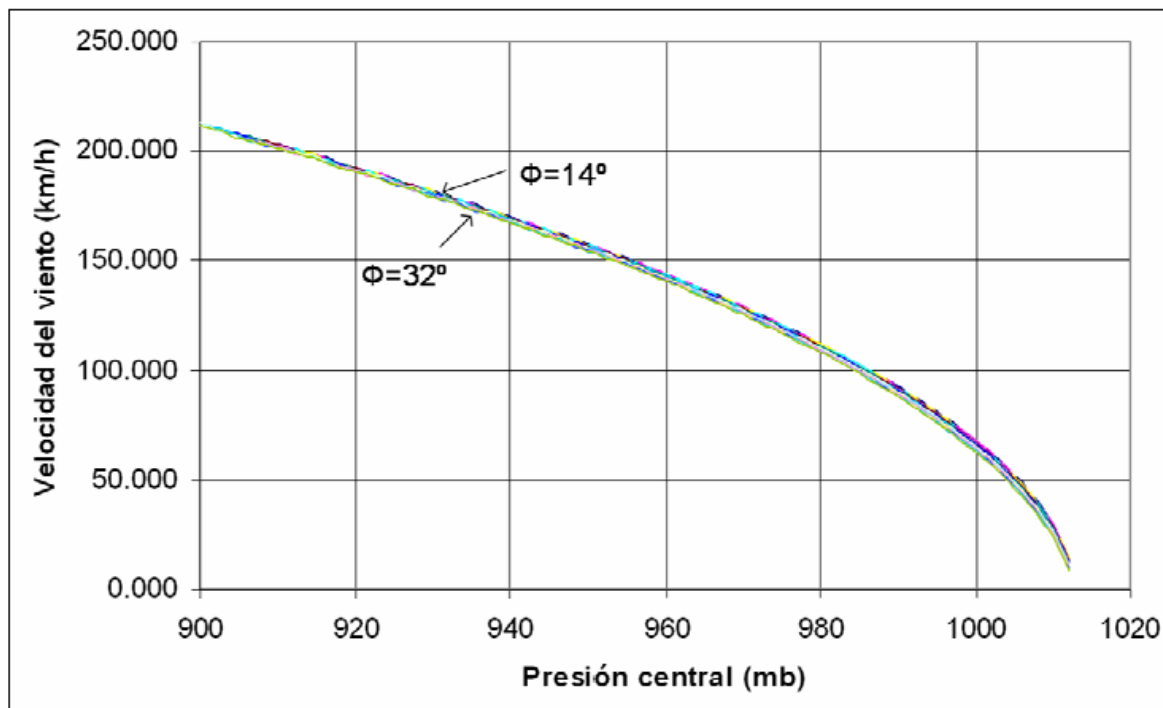
Algunos valores de la velocidad del viento sostenido para distintas presiones centrales en un ciclón tropical, obtenidos a partir de la Ec. 1.1, se muestran en la Tabla 10. En caso de que el ciclón tropical se traslade a otros sitios, se aumenta al valor la mitad de la velocidad de desplazamiento  $V_d$ .



**Tabla 10.** Velocidad del viento sostenido para algunos valores de presión

$\phi$ $P_0$	Latitud en grados								
	15	17	19	21	23	25	27	29	31
995.0	80.94	80.33	79.73	79.13	78.55	77.97	77.40	76.84	76.29
982.5	107.41	106.88	106.36	105.84	105.34	104.84	104.34	103.86	103.38
972.5	124.83	124.36	123.90	123.44	122.98	122.54	122.10	121.67	121.25
955.0	150.76	150.37	149.99	149.62	149.25	148.89	148.53	148.18	147.83
932.5	178.81	178.52	178.22	177.93	177.65	177.37	177.09	176.82	176.56
920.0	192.67	192.41	192.16	191.91	191.66	191.42	191.18	190.995	190.72

Fuente: CENAPRED

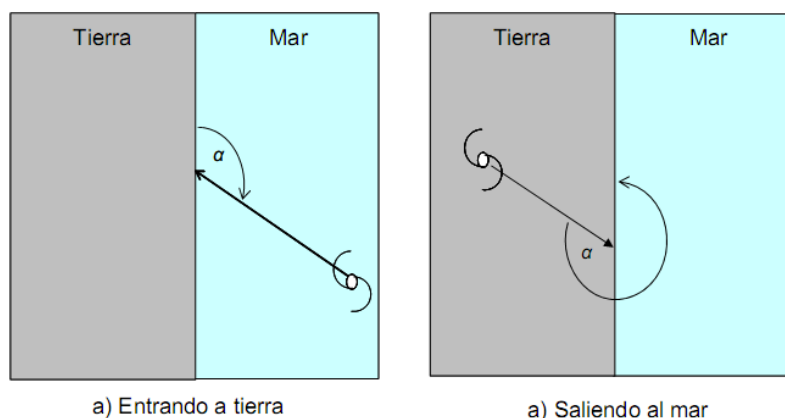


**Figura 44.** Velocidad del viento sostenido para distintos valores de presión central y latitudes del centro de un ciclón tropical sin desplazamiento. Fuente: CENAPRED.

Por último, el componente  $F$  = Factor de corrección por dirección del viento se determina a partir del ángulo  $\alpha$  que forma la dirección de desplazamiento del ciclón tropical con respecto a la línea de costa más próxima al lugar de interés. Este factor se estima por medio de la expresión:

$$F = \begin{cases} 0.6 (1 + \text{sen}\alpha) & \text{si } 0^\circ < \alpha < 180^\circ \\ 0.6 & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (1.4)$$

Lo anterior considerando la Figura 45 mostrada a continuación:



**Figura 45.** Trayectorias del ciclón tropical con respecto a la línea de costa. Fuente: CENAPRED.

#### 4. Herramientas de apoyo para estimación de altura máxima de marea de tormenta

##### Velocidad de desplazamiento ( $V_d$ )

Cuando no se dispone de la velocidad de desplazamiento de los ciclones tropicales, se puede asignar un valor de 20 km/h (según Sistema de Alerta Temprana SIAT-CT de la Secretaría de Gobernación de México) o bien, obtenerla de las Figuras 46 y 47 que se muestran a continuación. A la velocidad de traslación se le asigna el valor de la velocidad media de desplazamiento (en km/h) de los ciclones tropicales que se obtiene a partir de la latitud y longitud del sitio de interés.

##### Factor de corrección por dirección del viento ( $F$ )

Otra forma de obtener el factor correctivo ( $F$ ) es por medio de la gráfica mostrada en la Figura 48, considerando el ángulo que forma la trayectoria del ciclón tropical con la línea de costa. Cuando el ángulo está fuera del intervalo entre los  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , el factor de corrección es igual a 0.6.

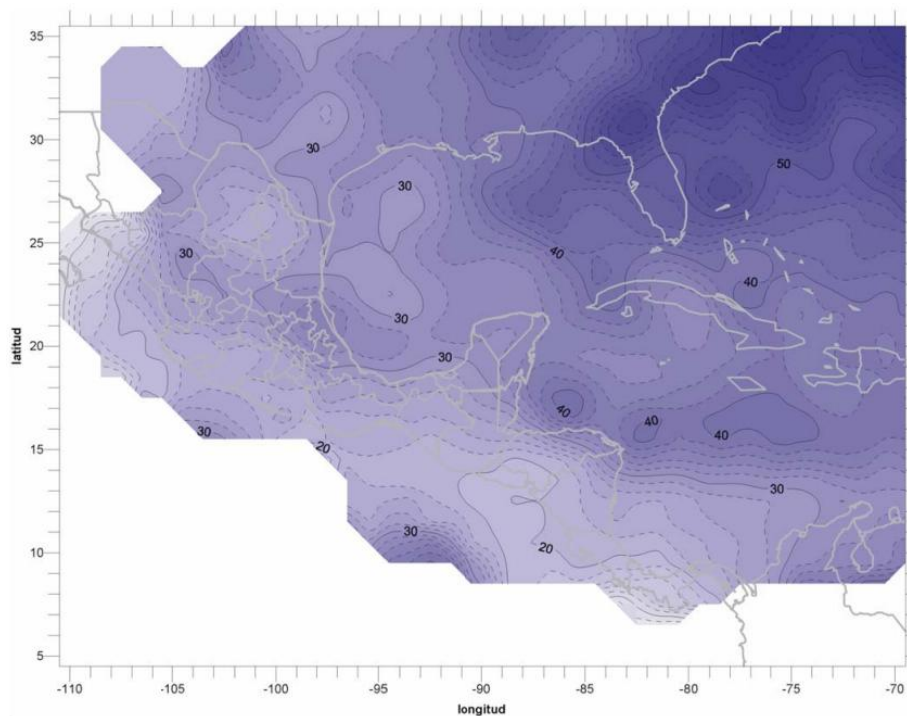


Figura 46. Máxima velocidad de los ciclones tropicales en el Atlántico (Rosengaus *et al.*, 2002)

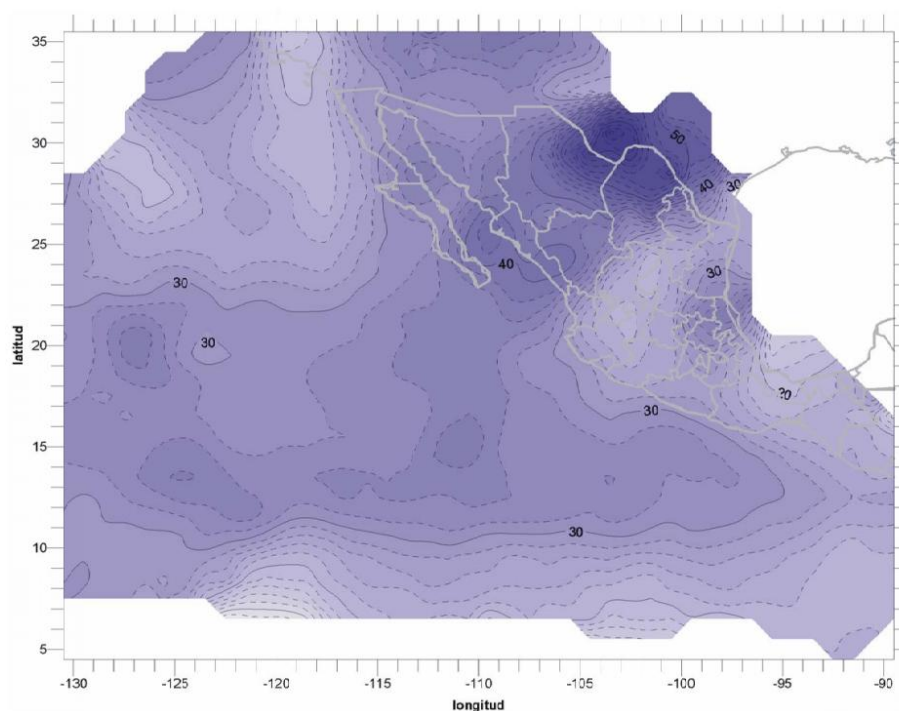


Figura 47. Máxima velocidad de traslación de los ciclones tropicales en el Pacífico (Rosengaus *et al.*, 2002)

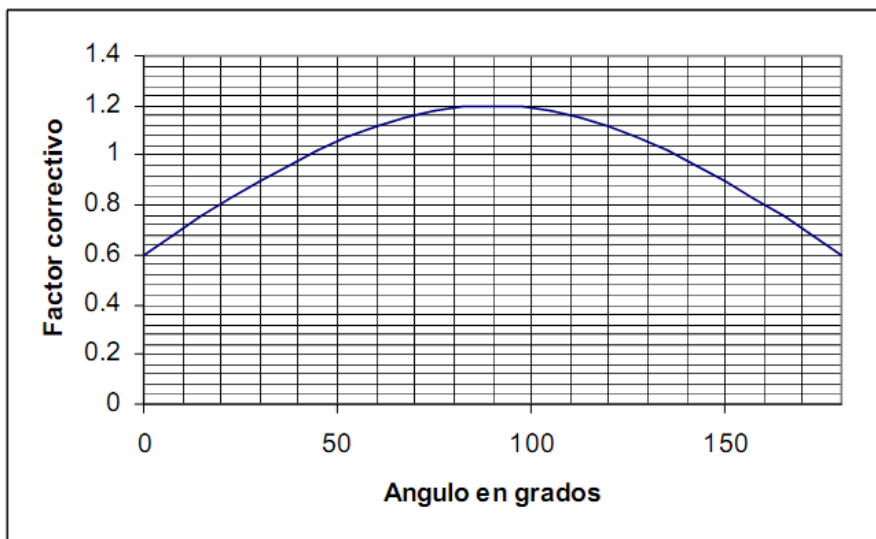


Figura 48. Gráfica para estimar el factor de corrección por la dirección del viento

### Zona del ciclón tropical con vientos fuertes

En la región cercana al centro del ciclón tropical es donde se presentan los vientos con mayor intensidad, principalmente entre  $0.5 R$  y  $2.5 R$ , siendo  $R$  el radio de máximo viento. Esta región con forma de anillo es donde se presentan los vientos más intensos (Figura 49).

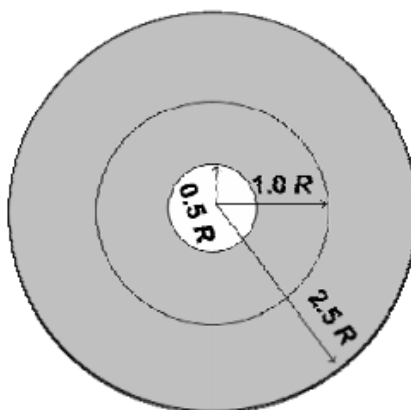
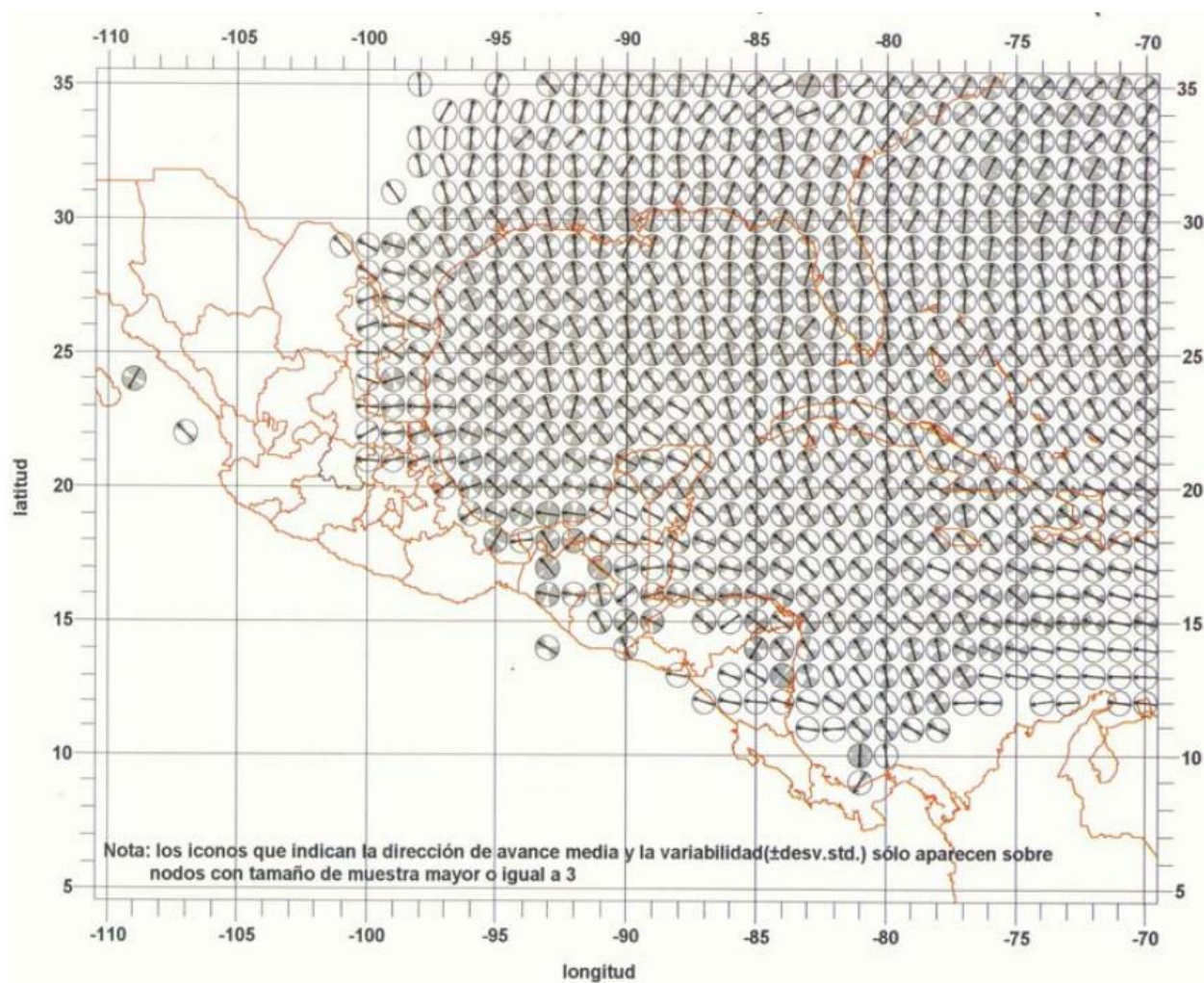


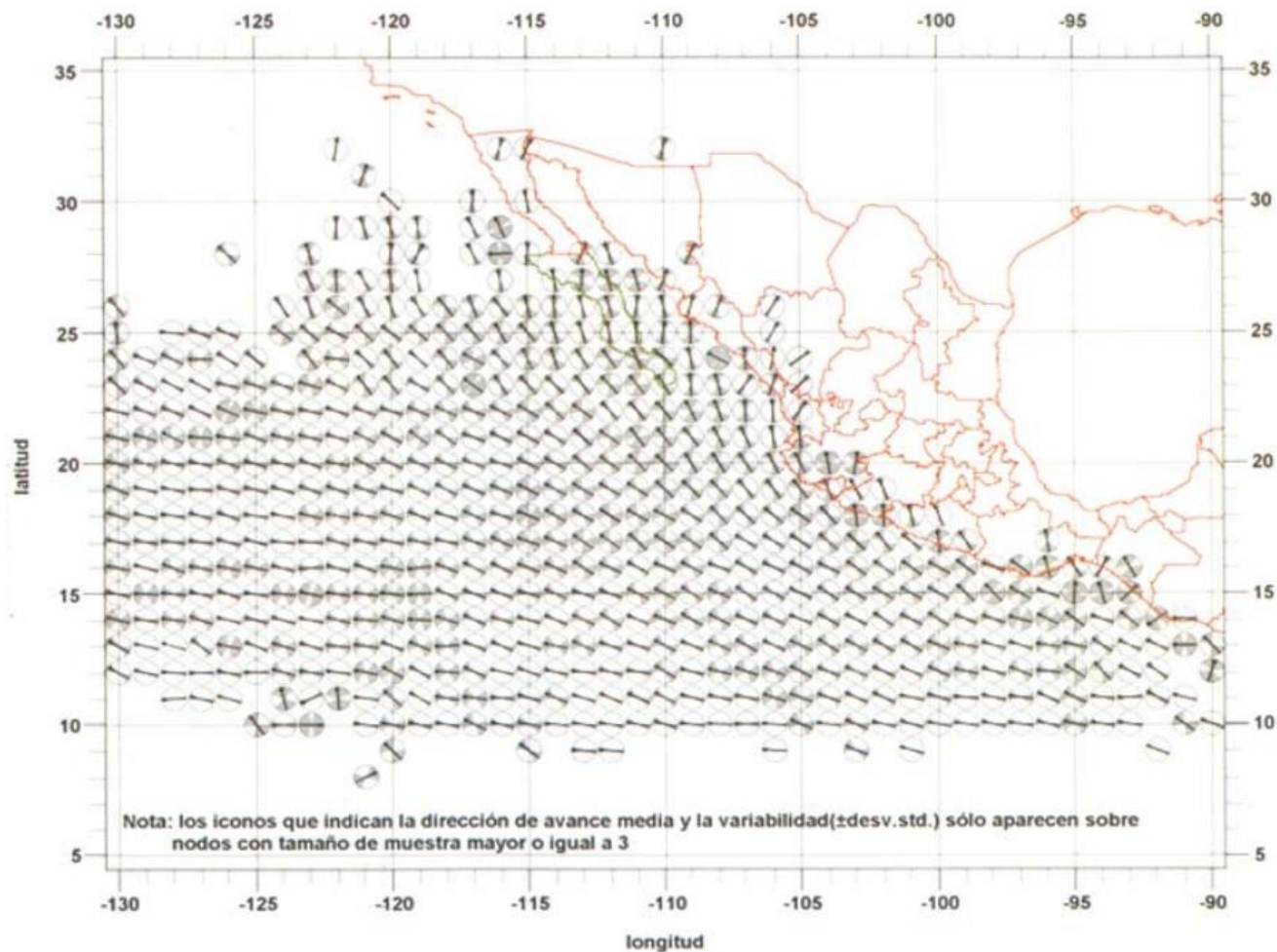
Figura 49. Localización del radio de máximos vientos (en color gris).  
Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)

## Dirección de trayectoria

Cuando no existen datos sobre la dirección de la trayectoria del ciclón tropical, ésta se obtiene a partir de las trayectorias medias de traslación mostradas en las Figuras 50 y 51:



**Figura 50.** Dirección de la traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Atlántico norte 1851-2000. (Rosengaus *et al.*, 2002)



**Figura 51.** Dirección de traslación (media y variabilidad) para ciclones tropicales en el Pacífico nororiental. 1949-2000 (Rosengaus *et al.*, 2002)

## Probabilidad de ocurrencia de ciclones tropicales

Para las funciones de peligro y los periodos de retorno, asociados a un sitio de estudio en las costas de la república mexicana, se utiliza un mapa de probabilidades por la presencia de ciclones tropicales y otro de eventos totales de estos fenómenos, elaborados por el CENAPRED. La obtención de las probabilidades de un punto específico sujeto a análisis, es a partir de los mapas correspondientes a la categoría de cada ciclón (Figuras 52 a 59), realizando una estimación visual de la probabilidad conforme a las isolíneas mostradas en los mapas, registrando en una tabla dichos valores, tal como se muestra a continuación (Tabla 11).

**Tabla 11.** Ejemplo de valores de probabilidad

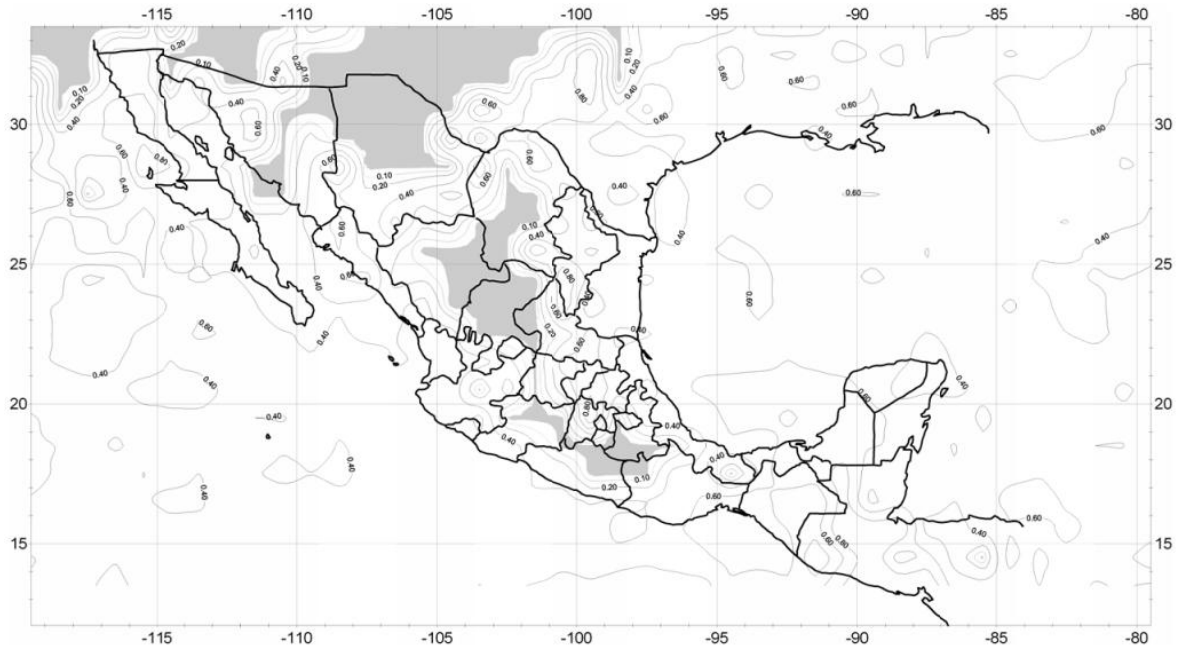
Tipo de ciclón	P(i) estimado en mapa
DT	0.35
TT	0.30
H1	0.30
H2	0.05
H3	0.00
H4	0.00
H5	0.00

Fuente: CENAPRED

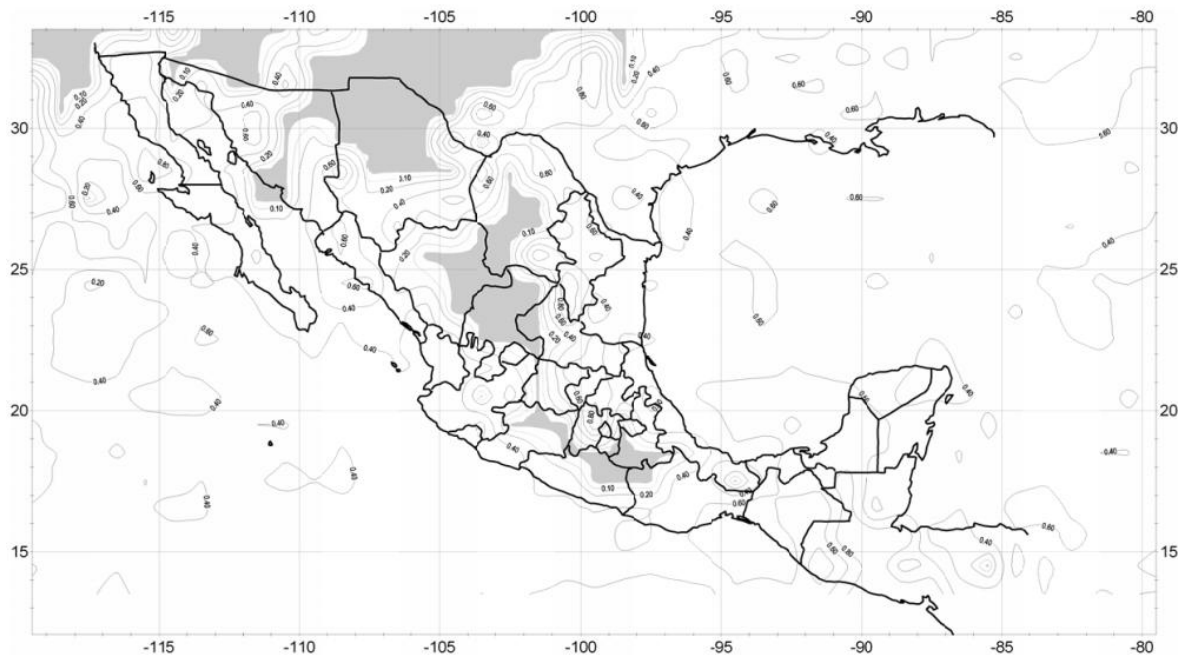
En el ejemplo de la Tabla 11, la probabilidad de que ocurra una depresión tropical (DT) es 0.35, una tormenta tropical (TT) es 0.30; ciclones tipos 1 (H1) y 2 (H2), 0.3 y 0.5, respectivamente; y en el caso de huracanes tipo 3, 4 y 5 (H3, H4 y H5), no se registran eventos de esa magnitud. Posteriormente, se observa en el mapa correspondiente (Figura 59) el número total de ciclones tropicales para el mismo punto, registrándose dicho dato.

## Periodos de retorno de cada tipo de ciclón

A partir de los valores de probabilidad obtenidos se procesan dichos datos en la hoja de Excel: Cálculo\_Tr\_Ciclones2005. Xls, elaborado por el CENAPRED, para la costa del Atlántico (Golfo de México y Mar Caribe) o del Pacífico, tomando en cuenta que sólo se procesan los datos de los huracanes de alta intensidad, cuando éstos han sido registrados en el sitio de interés.

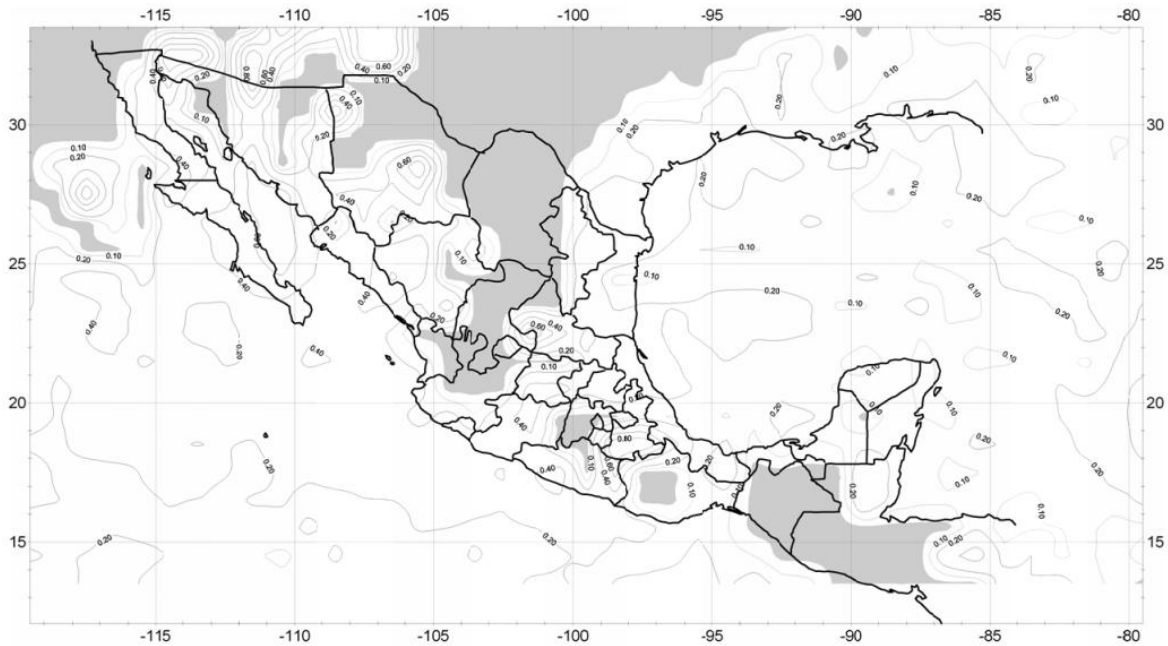


**Figura 52.** Probabilidad de ocurrencia de las depresiones tropicales (DT) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)

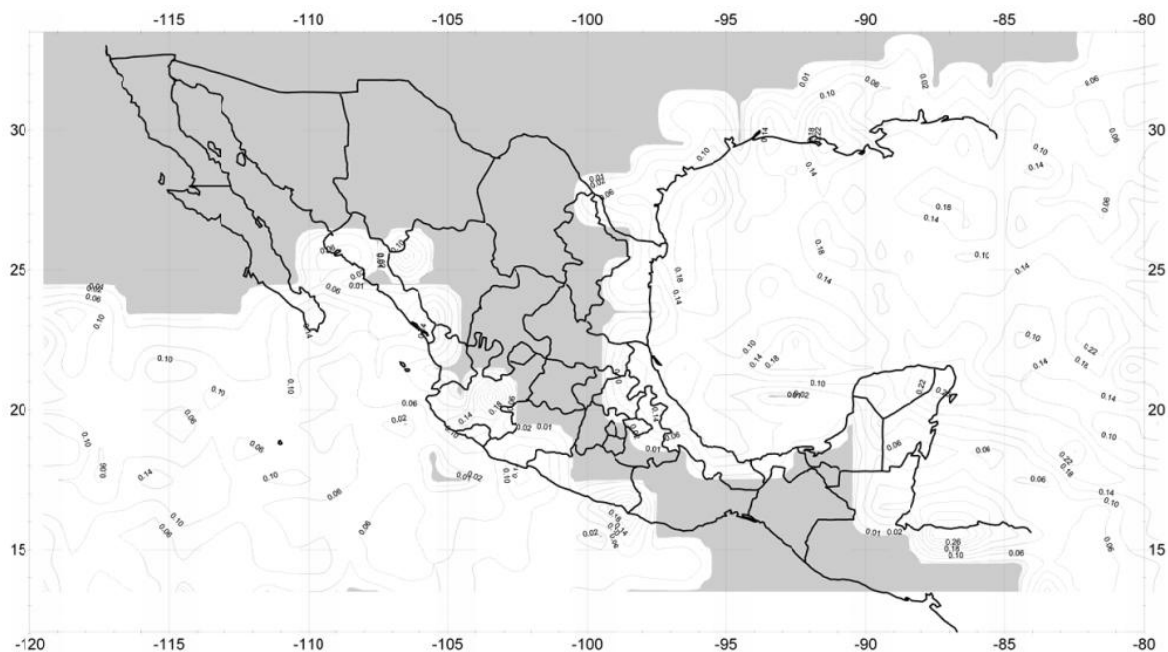


**Figura 53.** Probabilidad de ocurrencia de tormentas tropicales (TT) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)

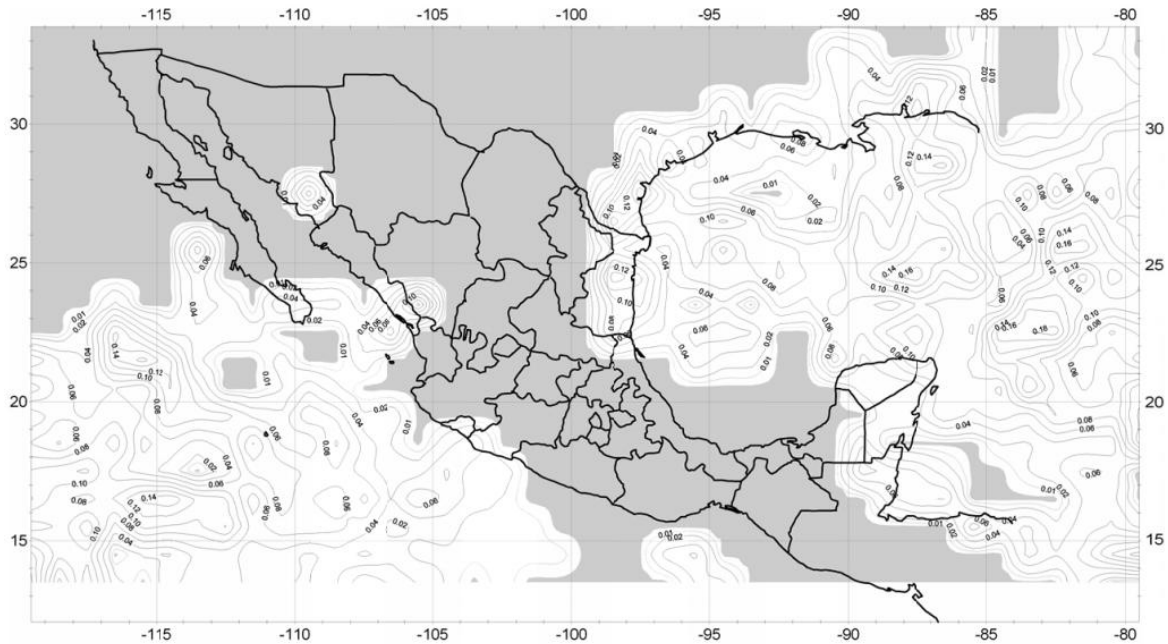




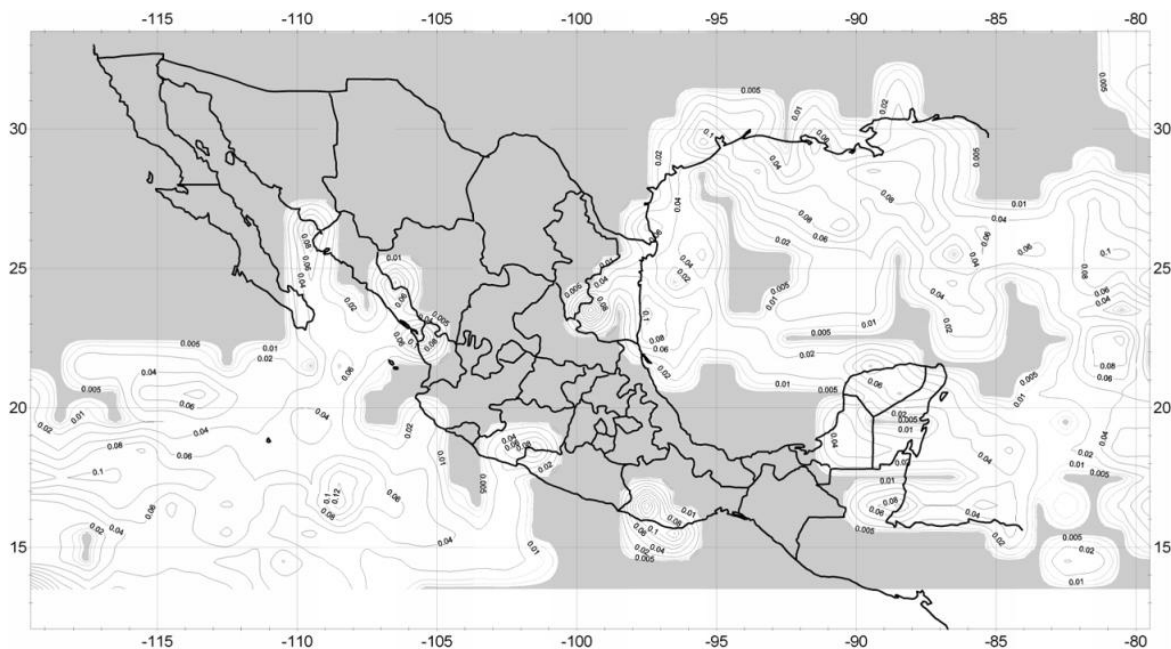
**Figura 54.** Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 1 (H1) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)



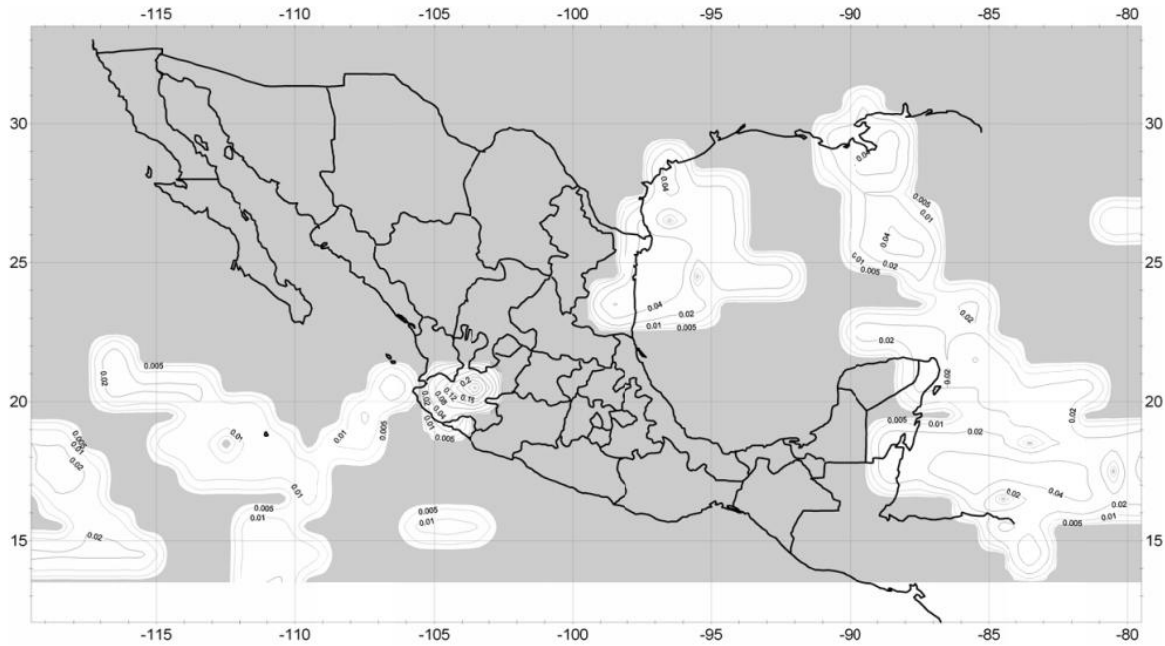
**Figura 55.** Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 2 (H2) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)



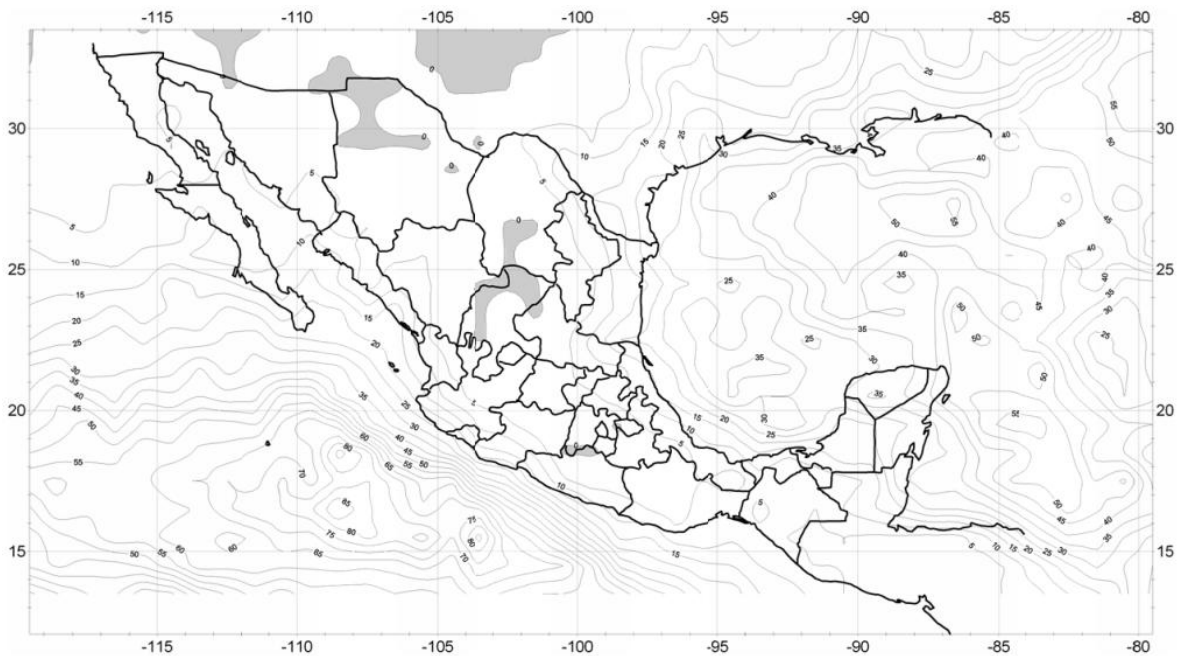
**Figura 56.** Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 3 (H3) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)



**Figura 57.** Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 4 (H4) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)



**Figura 58.** Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 5 (H5) en México. Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)



**Figura 59.** Número total de ciclones tropicales en México (Golfo de México y Mar Caribe, 1851-2005 y Océano Pacífico, 1949-2005). Fuente: CENAPRED (Rosengaus *et al.*, 2002)

A partir de los valores de probabilidad obtenidos, es posible estimar la magnitud de la amenaza, la tasa de excedencia de los eventos y los periodos de retorno para cada una de las intensidades de los ciclones tropicales en las zonas de análisis. Para esto, se utiliza el libro de Excel: Cálculo\_Tr\_Ciclones2005. xls, elaborado por el CENAPRED.

Velocidad de viento máxima sostenida para distintos tipos de tormentas y huracanes

### **Inundación costera provocada por mareas de tormenta de una tormenta tropical**

En la expresión de la velocidad de viento máximo sostenido (Ec. 1.3) de un ciclón tropical, la presión central de la tormenta tropical  $p_0$  se considera igual a 985 mb (la presión más baja dentro del intervalo de clase de tormentas tropicales de la escala Saffir-Simpson), obteniéndose mediante la siguiente ecuación:

$$V_{TT} = 106.80 - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.5)$$

Cuando no se dispone del valor del radio de máximo viento  $R$ , éste puede ser calculado con la ec. 1.2, a partir de la presión central  $p_0 = 985$  mb, obteniéndose el valor de 61.69km.

Para el cálculo de la velocidad máxima del viento sostenido  $V_{TT}$ , se toma en cuenta la latitud del lugar  $\phi$  y a la velocidad de traslación del ciclón tropical  $V_d$ , ya definidos.

De los resultados anteriores y el factor de corrección  $F$ , se calcula el valor de la amplitud de la marea de tormenta  $h_{TT}$ .

### **Inundación costera provocada por marea de tormenta de un huracán categoría 1.**

En la ecuación para calcular el viento máximo sostenido, se considera la presión central más baja que pueden tomar los huracanes categoría I, según la escala Saffir-Simpson, que es:  $p_0 = 980$  mb, por lo que dicha velocidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{H1} = 115.95 - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.6)$$

Si no se dispone del valor del radio de máximo viento  $R$ , éste puede ser calculado con la ec. 1.2, a partir de la presión central  $p_0 = 980$  mb, obteniéndose el valor de 58.23km.  $\phi$  y  $V_d$ , ya han sido definidas.

Conocidos el radio de máximo viento, la velocidad del viento máximo sostenido VH1 y el factor correctivo F, se puede obtener la amplitud de la marea de tormenta H1.

### Inundación costera provocada por marea de tormenta de un huracán categoría 2

Considerando que la presión central más pequeña que pueden tomar los huracanes categoría 2, según la escala Saffir-Simpson,  $p_0$  es igual a 965 mb, obteniendo el siguiente resultado:

$$V_{H2} = 139.84 - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.7)$$

Cuando no se tiene el valor del radio de máximo viento R, éste puede ser calculado con la ec. 1.2, a partir de la presión central  $p_0 = 965$  mb, obteniéndose el valor de 48.96km.  $\phi$  y  $V_d$ , ya han sido determinadas.

Conocidos el radio de máximo viento R, la velocidad del viento máximo sostenido VH2 y el factor correctivo F, se puede obtener la amplitud de la marea de tormenta H2.

### Inundación costera provocada por marea de tormenta de un huracán categoría 3

Dicha inundación puede ocurrir únicamente si en la zona de interés existe la probabilidad de ocurrencia anual de un huracán categoría 3; por lo que de otra forma no aplica la obtención de zonas inundables por marea de tormenta de huracanes categorías 3, 4 y 5.

De acuerdo con la velocidad del viento máximo sostenido de un ciclón de esta categoría, se tiene que la presión central más pequeña que pueden tomar según la escala Saffir-Simpson,  $p_0$  es igual a 945 mb, por lo que se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{H3} = 166.44 - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.8)$$

Cuando no se tiene el valor del radio de máximo viento R, éste puede ser calculado con la ec. 1.2, a partir de la presión central  $p_0 = 945$  mb, obteniéndose el valor de 38.85 km.  $\phi$  y  $V_d$ , ya han sido determinadas.

Conocidos el radio de máximo viento R, la velocidad del viento máximo sostenido VH3 y el factor correctivo F, se puede obtener la amplitud de la marea de tormenta H3.

### Inundación costera provocada por mareas de tormenta de un huracán categoría 4

Su cálculo implica la existencia de un valor de probabilidad en la zona de interés, de otra forma no procede dicha estimación.

En la ec. 1.3 se considera que la presión central del huracán categoría 4 es la presión más baja que pueden tomar estos huracanes, de acuerdo con la escala Saffir-Simpson, por lo que  $p_0 = 920$  mb, sustituyendo dicho valor en la ec. 1.3, se tiene:

$$V_{H4} = 194.64 - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.9)$$

Si no se cuenta con el valor de máximo viento  $R$ , dicho valor puede estimarse con la ec. 1.2 considerando que  $p_0 = 920$  mb; por lo que el radio es igual a 29.10 km.  $\phi$  y  $V_d$ , ya han sido determinadas.

Con los valores del radio de máximo viento  $R$ , la velocidad del viento máximo sostenido  $V_{H4}$  y el factor correctivo  $F$ , se puede obtener la amplitud de la marea de tormenta  $H_4$ .

### Inundación costera provocada por mareas de tormenta de un huracán categoría 5

Este tipo de inundación sólo es considerada en caso de que la zona de interés presente un valor de probabilidad de ocurrencia anual de un huracán categoría 5.

En la ecuación para calcular la velocidad del viento máximo sostenido, se considera que la presión central del huracán categoría 5 es igual a la presión más pequeña que pueden tomar estos huracanes, la cual es  $p_0 = 882$  mb (valor de la presión central más baja del huracán Wilma de 2005; también la más baja registrada cerca de México), por lo que la velocidad se obtiene a partir de la expresión:

$$V_{H5} = 231.01 - 0.2618R \sin \phi + 0.5V_d \quad (1.10)$$

Si no se conoce el valor del radio máximo del viento  $R$ , éste puede obtenerse a partir de la ec. 1. con  $p_0 = 882$  mb; por lo que el radio será de 18.76 km.  $\phi$  y  $V_d$ , ya han sido determinadas.

Con los valores del radio de máximo viento  $R$ , la velocidad del viento máximo sostenido  $V_{H5}$  y el factor correctivo  $F$ , se puede obtener la amplitud de la marea de tormenta  $H_5$ .

## 5. Elaboración de mapas de peligro para mareas de tormenta

Los mapas de peligro por mareas de tormenta se han elaborado en un SIG mediante el software ArcMap 9.3 de ESRI, realizando el siguiente procedimiento:

- a) Adquisición del modelo de elevación digital (MDE) del área de estudio
- b) Elaboración de mapa base, abarcando aproximadamente un área 3 veces mayor que el sitio de análisis , con una equidistancia entre curvas de nivel de 1 metro.
- c) Determinación de la altura de mareas de tormenta y áreas de inundación
- d) Determinación de latitud y longitud del sitio de análisis
- e) Obtención de velocidad máxima de desplazamiento del ciclón tropical  $V_d$  , en km/h
- f) Estimación de la amplitud de mareas de tormenta y áreas inundables (cuya elevación se considerará similar a la amplitud de la marea de tormenta, ecuaciones 1.5 a 1.10)

Esta se clasifica según el siguiente cuadro (Tabla 12):

**Tabla 12.** Clasificación de inundaciones causadas por mareas de tormenta (CENAPRED, 2012)

CLASIFICACIÓN DE LA INUNDACIÓN CAUSADA POR MAREA DE TORMENTA	
Amplitud de la marea de tormenta (m)	Categoría
< 0.5	Somera
0.51 a 1.00	Baja
1.01 a 2.00	Moderada
2.01 a 3.50	Alta
3.51 a 5.00	Muy alta
> 5.00	Extraordinaria

## e) INUNDACIÓN FLUVIAL

El punto de partida más importante para la determinación de la vulnerabilidad de un sistema, ya sea éste social, económico y/o ambiental, es el conocimiento del grado de amenaza a que éste se encuentra expuesto. En éste caso, las inundaciones por lluvias extraordinarias se presentan a lo largo de los ríos o cauces cuya sección hidráulica resulta insuficiente para contener los escurrimientos extraordinarios que generalmente se encuentran asociados a tormentas tropicales y huracanes. Por consecuencia, la cuidadosa caracterización hidrológica de las cuencas que concurren en cada sitio, redundará en una mejor estimación de su comportamiento hidrológico y la evaluación del peligro que puede representar para un sitio en particular. Durante el desarrollo del estudio hidrológico de cada sitio de interés, se ha establecido una metodología basada principalmente en manuales del CENAPRED, así como otras investigaciones relacionadas con el tema de diversos autores, describiendo a continuación la secuencia de dicho proceso y avance correspondiente.

### **Modelación geométrica del cauce**

Como primer paso se ha recopilado información cartográfica del INEGI, consistente en modelos de elevación digital (Continuo de Elevación Mexicano, CEM), a partir del cual se obtiene la configuración o relieve del terreno que permite caracterizar un sistema hidrológico en particular.

### **Modelación hidrológica**

Del CEM citado y utilizando el software Hec-geoRAS (M.R.) elaborado por el cuerpo de ingenieros de la armada de los E.U.A. (US Army Corps of Engineers), se establecen las características hidráulicas de la corriente bajo diferentes caudales o tránsito de avenidas. Los diferentes periodos de retorno ( $T_r$ ) se obtienen a partir de los datos publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en forma de cartas de isovalores para el territorio mexicano. Con los datos anteriores y el programa SIATL del INEGI, se pueden estimar los caudales esperados en la cuenca, cuyos valores morfométricos, coeficiente de escurrimiento y gasto máximo pico ( $Q_p$ ) han sido desarrollados por el organismo referido.



## Modelación del área de inundación en SIG ArcGis de ESRI (M.R.)

Como último paso, se exportan los archivos generados en el programa HecGeoRAS a ArcGIS, obteniéndose el área de inundación sobrepuesta a una base cartográfica, en éste caso una ortofoto aérea.

La metodología empleada consiste en el desarrollo de cinco etapas, siendo estas:

1. Elaboración de cartografía base, la cual comprende: el modelo digital del terreno, la ubicación de las cuencas y cauces objeto del análisis, así como la ubicación de áreas urbanas sujetas a una probable inundación y que se encuentran asociadas a la presencia de infraestructura turística en cada sitio.
2. Recopilación de parámetros hidrológicos, a través de consultas de los sitios: Simulador de Flujos de Agua en Cuencas Hidrográficas (SIATL) del INEGI y el Sistema de Visualización de Escenarios y Análisis de Riesgo (SAVER) del CENAPRED. En el primer caso, se obtuvieron parámetros tales como: área de las cuencas, longitud de los cauces principales, tiempos de concentración, pendiente media y coeficientes de escurrimiento. A partir del Sistema de Visualización de Escenarios y Análisis de Riesgo (SAVER), se obtuvieron los diferentes valores de intensidad de lluvia para 1 h y 24 h en diferentes periodos de retorno.
3. Cálculo de precipitaciones para cada tiempo de concentración, intensidad de lluvia promedio, caudales pico y áreas de secciones hidráulicas permisibles para diferentes periodos de retorno.
4. Estimación de grados de amenaza en cada corriente, de acuerdo con los caudales pico estimados en un periodo de retorno de 500 años, según recomendaciones del CENAPRED.
5. Para tal efecto se elaboró la Tabla 13 de indicadores que se muestra a continuación:

**Tabla 13.** Indicador de inundación fluvial

Indicador: Caudal en m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> con un Tr= 500 años						
Muy Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	Muy Alto
<5	5 a 10	10.1 a 30	30.1 a 50	50.1 a 70	70.1 a 100	> 100

6. Delimitación de zonas de peligro adyacentes a cada cauce, en función de su grado de amenaza y la clasificación de vulnerabilidad del área urbana e infraestructura según su cercanía a dichos cauces y bajo un escenario de avenidas extraordinarias en 500 años.

## f) REFRACCIÓN DEL OLEAJE

La población turística en los polos de desarrollo para este fin se ha incrementado considerablemente en los últimos años. La industria llamada “sin chimeneas” genera recaudación de impuestos y empleos, y da esparcimiento a cientos de miles de paseantes. El gusto por hospedarse junto a la playa ha generado un fuerte establecimiento de infraestructura costera (hoteles) de diversa índole. La estabilidad estructural de estas construcciones depende en gran medida del transporte litoral, y debido a que la energía de este transporte es principalmente el oleaje, se considera evaluarlo a partir de fuentes de información fundamentales.

### 1. Definición de refracción de las olas

Al igual que los rayos de luz se curvan cuando viajan de un medio a otro, las olas son distorsionadas por cambios en la profundidad (campo de velocidad) en aguas relativamente someras. Este curvamiento de las crestas de las olas, o frentes, es llamado refracción. Si una serie de olas largas (longitud de onda  $L$  larga) regulares se aproximan a la costa con algún ángulo oblicuo, y los contornos del fondo (isóbatas) son relativamente uniformes, la porción de cresta de ola más cercana a la costa sentirá el fondo primero y tendrá un retardo relativo a la porción de la cresta de ola en aguas más profundas. En general, las crestas de las olas tienden a hacerse paralelas con los contornos del fondo (Aldeco, 1986).

La velocidad de la ola decrece con la profundidad y la longitud de onda decrece proporcionalmente. La variación de la velocidad ocurre a lo largo de la cresta de la ola, moviéndose en un ángulo hacia el contorno bajo el agua. La parte de la onda en agua más profunda se mueve más rápido que en agua de poca profundidad. Esta variación causa que la cresta de la ola se alinee con el contorno (U.S. Army Corps of Engineers, 1984).

En regiones donde la profundidad (Figura 60) es mayor que la mitad de la longitud de onda ( $L$ ) (aguas profundas), la refracción por batimetría no será significativa. Donde la profundidad está entre  $1/2$  y  $1/25$  de la longitud de onda (aguas de transición) y en las regiones donde la profundidad es menor a  $1/25$  de la longitud de onda (aguas someras), los efectos de refracción pueden ser significantes; así, en aguas de transición y someras, la velocidad depende de la profundidad. La importancia del análisis de refracción según la U.S. Army Corps of Engineers (1984) es:

1. La refracción y el someramiento determinan la altura del oleaje a determinada profundidad y bajo determinadas condiciones de altura de oleaje, periodo y dirección de propagación.
2. El cambio, en la dirección del oleaje de diferentes partes de la ola resulta en la convergencia o divergencia de energía y afectaciones por oleaje en estructuras.
3. La refracción contribuye a la alteración de la topografía por erosión y deposición de sedimentos. En este aspecto, Munk y Taylor (1947) determinaron la relación entre refracción, distribución de la energía de oleaje a lo largo de la costa y procesos de erosión-deposición de materiales en la playa.

El oleaje se transforma por efecto de la profundidad al acercarse una onda a aguas someras. El movimiento del agua bajo el paso de una ola describe una trayectoria circular que disminuye en diámetro de manera exponencial en función de la profundidad. Las velocidades orbitales, compuestas por componentes vectoriales  $u$  y  $w$ , en aguas profundas describe círculos cuasi-perfectos, mientras que en la costa los círculos se aplanan por la presencia del fondo y la energía cinética se transforma en energía potencial, proceso que se manifiesta como crecimiento de altura del oleaje. Finalmente la ola rompe.

Para aplicar el concepto de ola significativa es necesario definir los parámetros de altura y periodo de las observaciones de la ola. La altura significativa de ola es escrita como  $H_{1/3}$  o simplemente  $H_s$ . En esta conceptualización, el movimiento orbital de ola en rotura está determinado por medio de la Teoría Lineal, donde la celeridad de la ola se define como:  $c = \sqrt{gD}$ , donde  $g$  es la aceleración de la gravedad, y  $D$  la profundidad (U.S. Army Corps of Engineers, 1984).

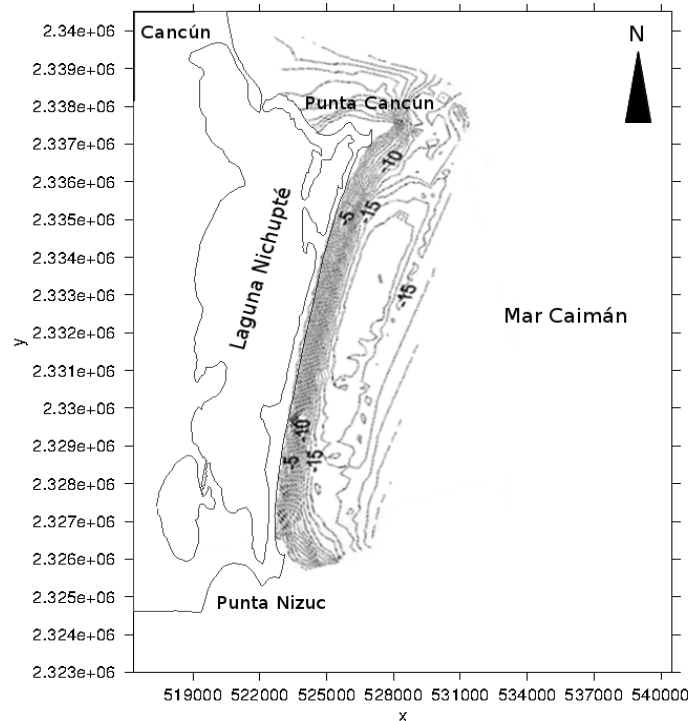


Figura 60. Batimetría parcial frente a la zona Cancún.

## 2. Teoría Lineal de Airy y la refracción del Oleaje

La teoría lineal de Airy tiene las siguientes consideraciones: un océano infinitamente profundo, longitudes de onda siempre mayores que la profundidad, altura de la ola de pequeña amplitud, el movimiento orbital es no rotacional, y no hay fricción. De estas consideraciones surge el modelo para calcular la refracción de oleaje.

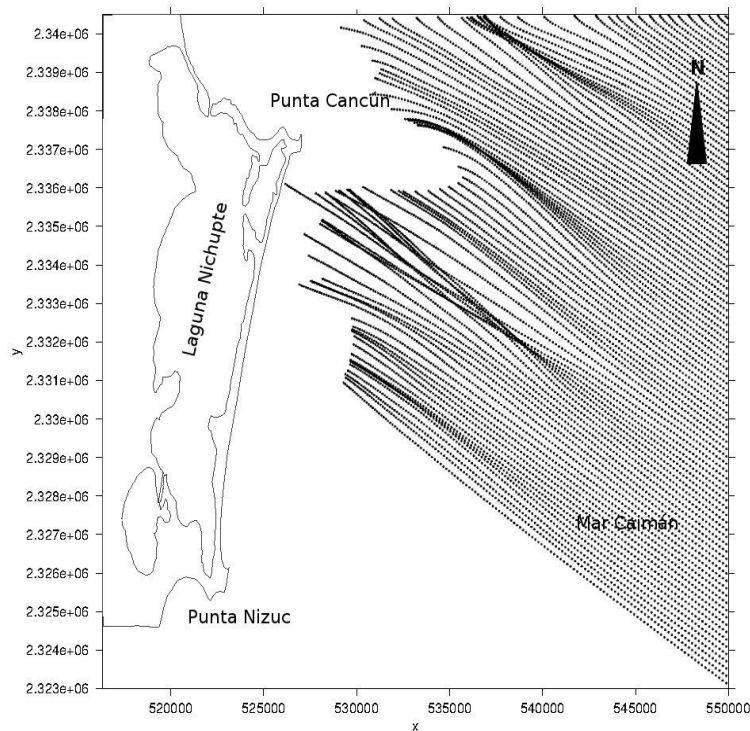
## 3. Método de Ortogonales

El método de ortogonales es el más adecuado para el análisis de refracción de oleaje, por ser más rápido que el método gráfico de frentes de ola para la construcción de diagramas de refracción, el cual requiere dibujar las crestas de ondas sucesivas, lo que permite después la construcción de ortogonales; mientras que el método de refracción por espectro requiere que exista un espectro del oleaje para la región de interés. Las ortogonales son líneas perpendiculares a la cresta de la ola y extendidas en dirección de que avanza la ola. El programa que se utilizó fue REDSEA (Refraction and diffraction simultaneous effects approximation) de Worthington y Herbich (1971), desarrollado por la "Texas A&M University". Este programa FORTRAN calcula las coordenadas de avance de ortogonales sobre una malla de datos (campo de velocidad). Este programa realiza un análisis de refracción y uno de difracción de oleaje para la costa de California, sin embargo, de este programa únicamente se utilizó la parte de refracción del oleaje, adaptado por Montaña y Aldeco (1985).

Se utilizó dicho método considerando que:

- El análisis de refracción está basado en la Ley de Snell y en la Teoría Lineal de ondas oceánicas
- La energía de las olas entre ortogonales permanece constante.
- La dirección de avance de las olas es en dirección de las ortogonales.
- La velocidad de una ola en un período dado depende solamente de la profundidad a la que se encuentra.
- Los cambios en la topografía del fondo son graduales.
- Las olas son suaves (no picudas), de periodo constante, de pequeña amplitud y monocromáticas.
- El efecto de corrientes, vientos, difracción y reflexión por playas o estructuras es considerado despreciable.

Un ejemplo de resultado de modelado de refracción del oleaje se ilustra en la Figura 61, correspondiente a un escenario en la zona hotelera de Cancún para un oleaje de  $T=12s$ , proveniente del SE.



**Figura 61.** Ejemplo de modelado de refracción de oleaje para la zona hotelera de Cancún, Q. Roo. Se muestran las líneas ortogonales para un oleaje de  $T=12s$ , proveniente del SE.

#### 4. Campo de velocidad versus batimetría

Debido a que la refracción del oleaje depende esencialmente de la profundidad en la que viajan las olas, en la modelación numérica de ortogonales que atraviesan una zona de transición de agua profunda a agua somera, se utiliza el campo de velocidad. En la misma tónica de un haz luminoso que atraviesa un medio de diferentes densidades (velocidades), el programa de refracción genera un campo de velocidad a partir de los datos batimétricos. La impedancia de este medio a las ortogonales monocromáticas será la que determine las desviaciones de una trayectoria de otra manera recta.

## 5. VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física se evaluó a partir de los siguientes índices e indicadores:

- Índice de vulnerabilidad costera (CVI), que consideró variables geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y oceanográficas.
- Indicador de inundación de marea de tormenta (IIMT).
- Indicador de inundación fluvial ante lluvias extremas (IIF).

### a) ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (CVI)

Para determinar este índice se llevo a cabo de acuerdo al Coastal Vulnerability Index (CVI), desarrollado por el USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos), el cual se compone de variables cuantitativas en su mayoría. Para la obtención dicho índice se han considerado las condiciones regionales de la zona costera del Pacífico, Golfo y Mar Caribe de nuestro país y cabe subrayar que los resultados obtenidos por éste método, corresponden con un índice relativo de la vulnerabilidad de la costa ante el potencial aumento del nivel del mar.

La metodología propuesta establece un conjunto de 6 variables que tienen una clara influencia en la dinámica de la costa, estas variables se agrupan en: Para el estudio de la vulnerabilidad costera se eligieron 6 variables que determinaron los riesgos de la zona costera ante el cambio climático, las cuales incluyen parámetros geológicos, geomorfológicos y oceanográficos.

#### Variables geológicas-geomorfológicas:

- a) Geología y geomorfología (que determina la resistencia que ofrece el medio a la erosión)
- b) Tasa de erosión (las tendencias del cambio de la línea de costa a largo plazo)
- c) Índice topográfico: Pendiente de la costa (mide la susceptibilidad a los procesos de inundación marina)

#### Variables oceanográficas:

- d) Altura del oleaje significativo y prevaleciente
- e) Tasa de cambio del nivel del mar
- f) Rango mareal medio.

Una vez ponderadas las diferentes variables se sustituyen sus valores en la siguiente ecuación:

$$CVI = \sqrt[2]{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

## Geología-geomorfología (GG)

Dentro de esta variable se modificó con respecto los rasgos morfológicos originales y se ajustó a la erodabilidad de las diferentes unidades litoestratigráficas del tramo costero en estudio, en éste caso los 10 sitios seleccionados. La asignación de valores para esta variable cualitativa exige una detallada información sobre la morfología y geología de la costa analizada. Al respecto se desarrolló un extenso trabajo topográfico en campo y análisis de la cartografía generada a partir de imágenes satelitales, obteniéndose una serie de parámetros que permiten establecer los criterios de clasificación que se muestran en la siguiente Tabla para su ponderación (Tabla 14).

**Tabla 14.** Ponderación de variable Geología/geomorfología

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
<b>Geología – Geomorfología (GG)</b>	Bahías de bolsillo o pequeñas con rocas resistentes a la erosión	Amplias bahías con rocas resistentes a la erosión	Playas extensas con protección de islas o puntas con rocas de resistencia media	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas	Playas adosadas a formaciones de islas-barrera. También zonas de marismas mareales o fluvio-mareales

## Tasa de erosión (m/año) (Tero)

La estimación de tasas de cambio en la línea de costa se obtuvo a partir de la tasa de erosión anual promedio en cada uno de los 10 sectores seleccionados, de acuerdo al análisis comparativo histórico. A las tasas calculadas se les aplicó la siguiente clasificación y asignación de valores entre 1 y 5, utilizando los rangos establecidos para el CVI por el USGS (Tabla 15):

**Tabla 15.** Ponderación de variable Tasa de erosión

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
<b>Tasa de erosión Tero (m/año)</b>	[2, max]	[1, 2]	[-1, 1]	[-2, -1]	[min, -2]

## Índice topográfico (Itop)

Este índice se integra por tres variables que se determinaron a través de los levantamientos topográficos de playa, realizados en cada uno de los sitios mencionados y consiste de los siguientes datos:

- Distancia “D”, indicador del alcance tierra adentro de un potencial incremento en el nivel del mar, que en el presente estudio se estimará a partir de la configuración de la curva de nivel o cota referida.
- Pendiente media “P”, estimada en cada sitio de estudio a partir del perfil topográfico de la playa.
- Altura media “A”, calculada por el mismo procedimiento anterior, en cada punto

Los datos obtenidos se clasifican de acuerdo a los intervalos mostrados en la siguiente Tabla 16:

**Tabla 16.** Componentes del índice topográfico

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
Distancia del alcance tierra adentro de una potencial subida del nivel del mar* del área en estudio, D (m)	[0 – 250]	(250 – 500]	(500 – 1000]	(1000 – 3 000]	(3 000, max.]
Pendiente media del área en estudio, P (%)	[8, máx.]	[4 – 8]	[2 – 4]	[1 – 2]	[0 – 1]
Altura media del área en estudio, A (m)	[8, máx.]	[6 – 8]	[4 – 6]	[2 – 4]	[0 -2]

Finalmente se evalúa un índice topográfico como la media aritmética de los tres valores anteriores, cuyo resultado se califica de 1 a 5 (Tabla 17):

**Tabla 17.** Ponderación de índice Topográfico (Itop)

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
Itop	[0, 1]	[1, 2]	[2, 3]	[3, 4]	[4, 5]



### Altura de oleaje significativo medio (HS)

Los datos considerados para este parámetro se obtuvieron de la información bibliográfica ya existente de la Secretaría Marina. Dicha información permitió tener las características básicas del oleaje, tanto en condiciones normales como en condiciones hidrometeorológicas extremas, Su calificación se obtiene de la siguiente Tabla 18:

**Tabla 18.** Ponderación de la variable Oleaje significativo medio

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
<b>Oleaje significativo medio, HS (m)</b>	[0, 0.75]	[0.75, 0.85]	[0.85, 0.95]	[0.95, 1.05]	[1.05, 1.15]

### Tasa de cambio del nivel del mar (LEV)

Al respecto se consideraron los valores que se tienen de los diferentes modelos que se han realizado a nivel mundial principalmente el MAGICC (2009), así como, como se hizo una revisión para los diferentes sitios de la información existente sobre las tasas de elevación del mar, incluyendo los datos de las estaciones mareográficas. Determinando la siguiente clasificación (Tabla 19):

**Tabla 19.** Ponderación de la variable Tasa de cambio del nivel del mar

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
<b>Tasa de cambio del nivel del mar LEV (mm/año)</b>	[0, 1.8]	[1.8, 2.5]	[2.5, 3.0]	[3.0, 3.5]	[3.5, máx.]

### Rango mareal medio (TID)

Las amplitudes de las mareas se obtuvieron de los datos obtenidos del Servicio Mareográfico Nacional, de la Secretaría de Marina o de bibliografía existente. Se calificó de acuerdo a la Tabla 20 siguiente:

**Tabla 20.** Ponderación de la variable Rango mareal medio

Variable	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
<b>Rango mareal medio, TID (m)</b>	> 6	4 - 6	2 - 4	1 - 2	0 - 1

## Cálculo y clasificación del CVI

El valor CVI se divide en cuatro clases (percentiles 25%, 50% y 75%) con el fin de identificar los rangos según su vulnerabilidad relativa. Se considerará los resultados del CVI entre el valor mínimo y máximo, Los rangos para la clasificación de vulnerabilidad total calculada son los siguientes (Tabla 21):

**Tabla 21.** Clasificación del CVI

Variable	Baja	Media	Alta	Muy Alta
<b>Vulnerabilidad clasificada</b>	1	2	3	4
<b>Valor del CVI</b>	(0-25%)	(25%, 50%)	(50%, 75%)	(75%, 100%)

De acuerdo con esta clasificación se obtendrá el índice de vulnerabilidad en cada sitio, según la clasificación de vulnerabilidad relativa de la Tabla anterior

### b) INDICADOR DE INUNDACIÓN POR MAREA DE TORMENTA

La construcción del Indicador de Inundación por Marea de Tormenta (IIMT) se describió ampliamente en el inciso de inundación por marea de tormenta de este mismo capítulo. El indicador se muestra a continuación (Tabla 22):

**Tabla 22.** Clasificación de la inundación causada por marea de tormenta

<b>CLASIFICACIÓN DE LA INUNDACIÓN CAUSADA POR MAREA DE TORMENTA</b>	
Amplitud de la marea de tormenta (m)	Categoría
< 0.5	Somera
0.51 a 1.00	Baja
1.01 a 2.00	Moderada
2.01 a 3.50	Alta
3.51 a 5.00	Muy alta
> 5.00	Extraordinaria

### c) INDICADOR DE INUNDACIÓN FLUVIAL

La construcción del Indicador de Inundación Fluvial (IIF) se describió ampliamente en el inciso de inundación fluvial de este mismo capítulo. El indicador se muestra a continuación (Tabla 23):

**Tabla 23.** Indicador de inundación fluvial

Indicador: Caudal en m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> con un Tr= 500 años						
Muy Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	Muy Alto
<5	5 a 10	10.1 a 30	30.1 a 50	50.1 a 70	70.1 a 100	> 100

**d) ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA**

El Índice de Vulnerabilidad Física (IVF) se calculó considerando el número de variables que intervienen en la determinación de los índices de vulnerabilidad costera (CVI), el indicador de marea de tormenta (IIMT) y el Indicador de inundación fluvial (IIF), así se tiene que:

$$IVF = 0.46(CVI) + 0.23(IIMT) + 0.307(IIF)$$

**Clasificación del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)**

Debido a que cada índice tiene escalas de vulnerabilidad propias, ya que provienen de diversas fuentes, fue necesario normalizarlos, para llevarlos a solo cuatro categorías: Bajo, Medio, Alto y Muy Alto, tomando como referencia los valores del CVI. En la Tabla 24 se ilustran los rangos originales y los normalizados.

**Tabla 24.** Normalización de índices de vulnerabilidad física

Clasificación CVI	Categoría	Categoría Normalizada	Clasificación IIMT	Categoría	Categoría Normalizada	Clasificación IIF	Categoría	Categoría Normalizada
1	Bajo	Bajo	Menor de 0.5	Somera	Bajo	Menor 5	Muy Bajo	Bajo
2	Medio	Medio	0.51 a 1	Baja	Bajo	5 a 10	Bajo	Bajo
3	Alto	Alto	1.01 a 2	Moderada	Medio	10.1 a 30	Medio Bajo	Medio
4	Muy Alto	Muy Alto	2.01 a 3.5	Alta	Alto	30.1 a 50	Medio	Medio
			3.51 a 5	Muy Alta	Muy Alto	50.1 a 70	Medio Alto	Alto
			Mayor de 5	Extraordinaria	Muy Alto	70.1 a 100	Alto	Alto
						Mayor de 100	Muy Alto	Muy Alto

Después de haber aplicado la ecuación de vulnerabilidad física para todos los sitios, los resultados se redondearon a un dígito y se dividió en cuatro clases o categorías con el fin de identificar los rangos según su vulnerabilidad relativa. (Tabla 25).

**Tabla 25.** Clasificación del IVF

Variable	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Vulnerabilidad clasificada	1	2	3	4
Valor del IVF	(0-25%]	(25%, 50%]	(50%, 75%]	(75%, 100%]

## 6. VULNERABILIDAD SOCIAL

Para determinar la vulnerabilidad social, es importante partir del reconocimiento que no existen los “desastres naturales”, y considerar que sólo son un reflejo de lo que hacemos o dejamos de hacer los humanos como sociedad, por lo que se crean condiciones de mayor vulnerabilidad, donde sin duda los disparadores de las calamidades son los eventos del clima (Landa *et al.*, 2008). Los desastres deben ser considerados resultado de la combinación de un fenómeno hidrometeorológico con una alta vulnerabilidad social y de los ecosistemas ante dicho evento. En otras palabras, el desastre está relacionado con una amenaza, como puede ser una condición hidrometeorológica extrema, pero también es consecuencia de una vulnerabilidad en aumento y de la falta de capacidad para hacer frente a la amenaza. La vulnerabilidad está determinada por la forma en que las sociedades se han desarrollado, se organizan y se preparan para hacer frente a las amenazas; así como la forma en que se recuperan de ellas. La vulnerabilidad es entonces una condición previa, que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención, y se ha aceptado un nivel de riesgo por encima de un umbral crítico (Centro Mario Molina, 2011). El riesgo es el resultado de la combinación de una amenaza y de la compleja vulnerabilidad del territorio y de su sociedad (Zapata *et al.*, 2000).

El concepto de vulnerabilidad que se utilizará en la construcción de la ecuación correspondiente, es el que está asociado a la determinación del riesgo, en el que se considera el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (peligrosidad natural) multiplicado por su “vulnerabilidad” (exposición y evaluación de daños) (Figura 62).

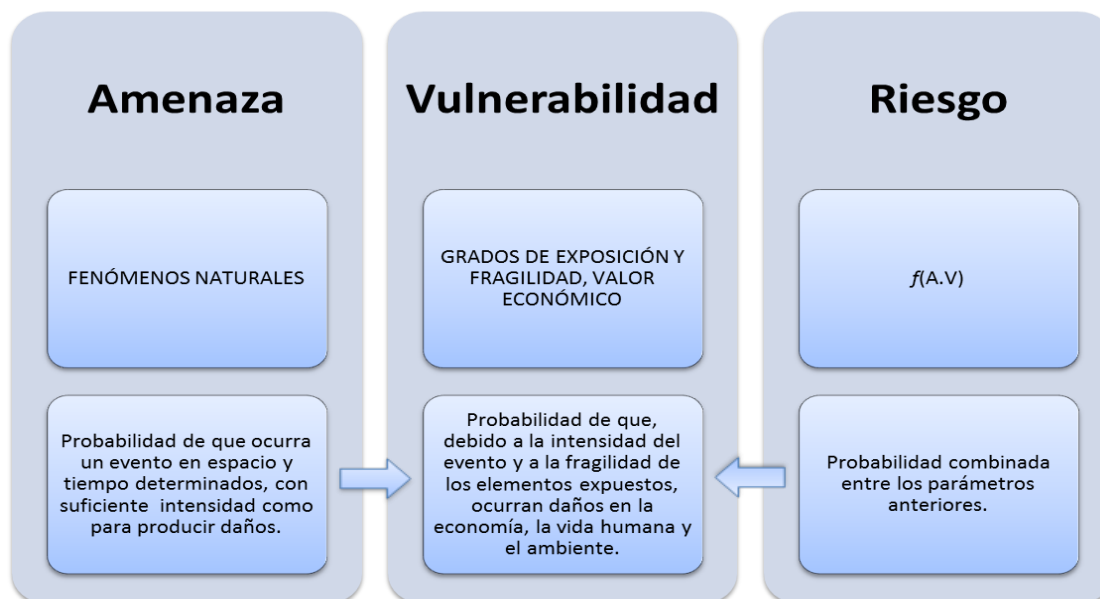


Figura 62. Esquema de los conceptos asociados al riesgo

En este esquema, el riesgo de una población está en función de la magnitud de la amenaza y de la vulnerabilidad social por lo se considerará la evaluación de la vulnerabilidad a nivel local y en la medición del riesgo se pretenderá incluir aspectos que permitan estimar pérdidas económicas de acuerdo al tipo de amenazas esperadas. Considerando lo anterior se partirá de la ecuación general:

$$VSZT = (\text{Amenaza, Vulnerabilidad Social})$$

Donde VSZT es la Vulnerabilidad Social de Zonas Turísticas, la amenaza estará representada por los eventos hidrometeorológicos extremos y amenazas identificados para cada uno de los destinos turísticos y la vulnerabilidad social estará compuesta por los Indicadores de Gobernabilidad, Exposición, Percepción Ciudadana, Cohesión Social y la Capacidad de Atención del sector salud.

La vulnerabilidad social, se refiere a la capacidad de las personas y grupos sociales para responder, recuperarse, o adaptarse a cualquier estrés externo sobre su bienestar y su modo de vida. El enfoque de la vulnerabilidad social coloca al bienestar socioeconómico como un elemento central del análisis, y considera las restricciones institucionales que limitan la capacidad de respuesta, así como los recursos a los que el grupo (o el individuo) tiene acceso. Un reconocimiento central es que la vulnerabilidad social es una condición que antecede a los eventos extremos y afecta la capacidad de la sociedad para enfrentarlos, resistirlos y recuperarse. Tres criterios principales se usan para determinar la vulnerabilidad social: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Así pues, la capacidad de adaptación es compleja y dinámica, está distribuida asimétricamente dentro y entre sociedades, y se relaciona con el desarrollo social y económico. En la evaluación de la vulnerabilidad frente al cambio climático son importantes las variaciones regionales, tales como las condiciones medioambientales locales, factores de desgaste de los ecosistemas, pautas en la utilización actual de recursos, el marco de toma de decisiones, las políticas gubernamentales, precios, preferencias, y valores, entre otros. La identificación del panorama de vulnerabilidad y la capacidad potencial y actual de adaptación de los diferentes grupos sociales ha de considerar, así, que no todos ellos son afectados de la misma manera y con la misma intensidad (PEACC-BCS, 2012).

Para la determinación de las variables sociodemográficas a partir de las que se determinó la vulnerabilidad social, se realizó un diagnóstico preliminar que tuvo como objetivo identificar los parámetros que influyen en la capacidad de adaptación de las poblaciones de zonas turísticas estratégicas. Estas variables en conjunto con los resultados de las encuestas y entrevistas realizadas, permitieron identificar las áreas de oportunidad donde podrían proponerse medidas con la finalidad de aumentar la capacidad institucional y de la población para resistir los embates del cambio climático, así como identificar aspectos a considerar en el manejo de la información dirigida a planificadores, tomadores de decisiones y la propia población del destino turístico, con el fin de lograr resultados positivos para la comunidad y los actores implicados.

### **Entrevistas a expertos y autoridades municipales y encuestas a la población**

Para obtener la información sobre aspectos socioeconómicos, así como la relacionada con la capacidad turística y la atención a desastres y adaptación se utilizaron distintos tipos de fuentes:

a) Documentos oficiales informativos acerca de las condiciones locales y fuentes estadísticas oficiales (INEGI, SEDESOL, CONEVAL).

b) Para aquellas variables incluidas en la obtención de la información de vulnerabilidad social, en las que no se pudo obtener información documental, se determinó conseguir esta información por consulta directa a los distintos actores involucrados en las actividades turísticas en los destinos de interés, por lo que se diseñaron dos series de preguntas a manera de entrevistas para ser aplicadas a las autoridades locales y una encuesta dirigida a los pobladores locales. Las entrevistas se aplicaron de manera variable para cada municipio, a: los secretarios particulares de los presidentes municipales, secretarios de los ayuntamientos, directores municipales de planeación, desarrollo económico, desarrollo urbano, comunicación social y salud y en su caso, a algunos de los regidores encargados de los temas, en aquellos casos en los que los directores no estuvieron disponibles.

c) Autoridades encargadas de la protección civil, en cada municipio. A cada uno de ellos se les aplicaron una serie de preguntas, que en conjunto con las encuestas realizadas a la población, proporcionaron la información de la localidad.

Las encuestas a la población fueron aplicadas según el tamaño muestral que se obtuvo al realizar el siguiente cálculo:

### Cálculo del tamaño de la muestra

El primer paso fue definir la población; es decir, el conjunto de casos que comparten una serie de especificaciones. Por lo que para este estudio, los pobladores locales a entrevistar fueron aquellos que compartieron las siguientes características:

- a) Encontrarse en la zona de estudio, correspondiente a la zona turística de cada municipio.
- b) Ser pobladores locales, residentes por lo menos en un año en el destino turístico de interés
- c) Ser mayores de 18 años.

La muestra ( $n$ ) fue un subgrupo de la población ( $N$ ) que se utiliza por economía de tiempo y recursos y se espera que sea un reflejo de la población. La muestra probabilística tiene muchas ventajas, entre ellas, es que se puede medir el tamaño del error en las predicciones. Las muestras probabilísticas se usan para hacer estimaciones de las variables en la población, de manera que las mediciones en el subconjunto de un estimado del conjunto mayor (Hernández *et al.*, 2010). Al calcular una muestra probabilística se define el número mínimo de casos necesarios para formar una muestra que asegure un determinado nivel de confianza. Existen varios procedimientos y fórmulas para calcular el tamaño de la muestra. En éstas se demandan como factores, el grado de precisión o error máximo aceptable – porcentaje de error potencial que asegure que la muestra sea representativa-, el nivel de confianza y el porcentaje estimado de la muestra o variabilidad –la probabilidad de ocurrencia del fenómeno- (Pardinas, 2008 y Hernández *et al.*, 2010).

Rojas (2011) recomienda que para estudios en los que la población objeto de estudio es grande (mayor de 10 mil casos, aunque este número es más bien convencional, algunos autores consideran como una población grande a más de 5000 elementos), es conveniente trabajar con la siguiente fórmula:

$n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$  donde:

$E^2$

Z: es igual al nivel de confianza requerido para generalizar los resultados hacia toda la población

P q: se refiere a la variabilidad del fenómeno estudiado

E: indica la precisión con que se generalizarán los resultados

El nivel de confianza se obtiene de las Tablas de áreas bajo la curva normal. Generalmente se emplea entre 92.5 y 99 por ciento de confianza. Por ejemplo si se emplea un 95% de confianza significa que la probabilidad de los datos de la muestra resulten idénticos a la población será igual al 95 %. Cuando se sustituyen los valores de la fórmula no se coloca el 95% sino que el valor se divide entre dos ya que la curva normal está distribuida en dos partes iguales. El resultado debe dividirse entre 100 y este valor se busca en la Tabla y se sustituye en la fórmula.

Cuando el tamaño de la población (N) es conocido se utiliza el factor de corrección finito que se muestra en la siguiente fórmula:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}$$

Por su parte, Hernández *et al.* 2010, recomiendan el uso del programa STATS® para el cálculo del tamaño de la muestra. El programa pide los siguientes datos:

- Tamaño del universo
- Error máximo aceptable
- Porcentaje estimado de la muestra
- Nivel deseado de confianza

Hernández *et al.* 2010, menciona que cuando el tamaño es mayor a 99,999 casos da lo mismo cualquier tamaño de universo, por lo tanto si tecleamos un número mayor a 99 999 el programa nos pondrá esta cifra por omisión, pero si es menor la respeta. STATS® y la fórmula se basan en los principios de la teoría de muestreo, uno de los cuales señala que mientras mayor sea la población, la distribución de las características de los elementos tenderá a acercarse a la curva normal. Por lo tanto se observa una aparente disparidad de los tamaños muestrales obtenidos con respecto a la magnitud de las poblaciones (Rojas, 2011). En este sentido, es conveniente mencionar que el tamaño de muestra no se decide tomando un porcentaje determinado de elementos de la población. Asimismo, debe desecharse la idea de que a medida que aumenta la población debe incrementarse también el tamaño de la muestra (Pardinas, 2008 y Rojas, 2011).

Para el caso del presente estudio se utilizaron dos métodos para calcular el número de muestra, el programa STATS® y el cálculo mediante la fórmula descrita en párrafos anteriores. Ambos procedimientos concluyeron que el número mínimo de casos para obtener un nivel de confianza de 90% con un error máximo aceptable de 10% son 68 casos para cada uno de los municipios. Se eligió este nivel de confianza porque existían los criterios de edad y residencia (descritos anteriormente) para descartar a los encuestados. Se obtuvo información de 12 municipios, ya que en el caso de Riviera Maya y Veracruz, el destino turístico está conformado por dos municipios. En la Tabla 26 se presenta el listado de los municipios por destino turístico, así como la fecha de aplicación de las entrevistas y encuestas aplicadas a cada uno de los municipios que conforman los diez destinos turísticos de interés.



**Tabla 26.** Fecha de aplicación de entrevistas y encuestas en los municipios que conforman los diez destinos turísticos de interés.

DESTINO TURÍSTICO	MUNICIPIO	APLICACION DE ENTREVISTAS y ENCUESTAS	NO. DE ENCUESTAS APLICADAS
HUATULCO	Sta. Ma. Huatulco	30 y 31 de Julio 2012	68
CANCÚN	Cancún	23 de Enero al 03 Febrero de 2012	60
RIVIERA MAYA	Tulum Solidaridad	23 de Enero al 03 Febrero de 2012	47
			67
IXTAPA ZIHUATANEJO	Zihuatanejo de Azueta	08 al 10 de Octubre de 2012	68
LOS CABOS	Los Cabos	09 al 11 de Septiembre	69
NUEVO VALLARTA	Bahía de Banderas	08 al 10 de Octubre	68
PUERTO VALLARTA	Puerto Vallarta	08 al 10 de Octubre	68
VERACRUZ	Veracruz Boca del Río	5 al 7 de Marzo de 2012	64
			68
MAZATLÁN	Mazatlán	27 al 29 de Agosto de 2012	68
ACAPULCO	Acapulco	26 al 28 de Marzo de 2012	66

Para cada municipio, se obtuvo información suficiente para iniciar con la evaluación de la vulnerabilidad social a través de los cinco indicadores que a continuación se describen, así como para la elaboración de las propuestas de medidas de adaptación por destino que fueron posteriormente trabajadas en los talleres participativos que se describen más adelante y en los que participaron autoridades de los distintos niveles de gobierno y representantes de las organizaciones relacionadas con la actividad turística, así como representantes de organizaciones civiles.

Para la construcción de los indicadores se identificaron aquellas variables sociodemográficas que al ser analizadas de manera conjunta influyen en los aspectos relacionados la respuesta adecuada de las sociedades frente a los eventos hidrometeorológicos extremos, y que son: la capacidad institucional, el aspecto económico de la región en cuanto a los aspectos vulnerables que se analizan, que tan expuesta está la población a las amenazas identificadas por región y que tanto la población identifica el riesgo al que se encuentra expuesta y si identifica a las autoridades involucradas en la atención y gestión del riesgo y si existe cohesión social en la población.

Como se mencionó anteriormente, los indicadores que se seleccionaron para obtener el índice de vulnerabilidad social, fueron las cinco combinaciones de variables que permitieron cumplir con las siguientes características (Magaña, 2012):

- I. Proviene de fuentes oficiales, son históricos, están disponibles, son relevantes y proyectables.
- II. Incluyen unidades de medida en aspectos físicos, económicos, sociales y de percepción social.
- III. Permiten evaluar el cambio en la vulnerabilidad de la región al aplicar las medidas de adaptación que formarán parte del Programa de Adaptación correspondiente.

Cada uno de los valores obtenidos para los indicadores, fueron normalizados de 0 a 1, donde el valor de 0% corresponde a 0 y el 100% a 1.

#### a) **INDICADOR DE GOBERNABILIDAD**

Este indicador refleja la vulnerabilidad institucional, esto es la debilidad del Estado relacionada con las capacidades o incapacidades, ausencia o falta de regulación jurídica y de políticas públicas orientadas a la gestión integral del riesgo. Cuanto mayor sea la vulnerabilidad institucional, mayor será el grado de incertidumbre con el que se tomen decisiones, lo que terminará repercutiendo, a su vez, en un mayor grado de riesgo de desastres (Ríos, 2004). Abordar esta vulnerabilidad implica elegir y analizar diferentes variables relacionadas con aspectos normativos que tienen una relación directa con la vulnerabilidad social y cuya atribución corresponde a los municipios; ya que la falta de ellos se traduce en obstáculos que impiden una rápida y adecuada respuesta ante situaciones de desastres y, en una deficiente o nula implementación de gestión integral del riesgo.

Este indicador proporcionó información sobre ordenamientos jurídicos e instrumentos de política pública relacionados con la atención y gestión integral de riesgos, que coadyuvan en la disminución de la vulnerabilidad institucional, al establecer la obligatoriedad de considerar la existencia de zonas de riesgo, así como la localización de cuencas hidrográficas en la definición de usos del suelo, asentamientos humanos, planificación urbana y desarrollo económico, en conjunto con la implementación de las medidas necesarias para hacer cumplir los reglamentos municipales y de zonificación que son básicos para construir resiliencia frente a desastres (Línea temática de Municipio Seguro).

El indicador se construyó a partir de variables relacionadas con las recientes Leyes Generales sobre Cambio Climático y Protección Civil, que obligan a considerar la variable del riesgo, en aspectos relacionados con: protección civil, cambio climático, normas de construcción, planes y programas sobre gestión territorial y capacidad de respuesta, todos ellas de atribución municipal, por lo que con ello se mide la fragilidad o fortaleza institucional, que tiene una relación directa con la vulnerabilidad social. Las variables desarrolladas fueron las siguientes:

- Reglamento municipal en materia de protección civil
- Programa municipal de protección civil
- Atlas Municipal de Riesgos
- Plan de contingencias en caso de fenómenos hidrometeorológicos
- Identificación de refugios y albergues necesarios
- Instrumento financiero municipal para enfrentar daños por desastres

- Convenios de coordinación en materia de protección civil y prevención de riesgos
- Plan de desarrollo urbano municipal
- Reglamento municipal de construcción
- Reglamentación sobre uso del suelo orientada a la prevención y reducción de riesgos
- Programa de ordenamiento ecológico
- Programa de Adaptación Climática Municipal

## b) INDICADOR DE EXPOSICIÓN

Incluye, el porcentaje de la infraestructura ubicada en zonas de inundación por marea de tormenta que potencialmente quedarían sumergidos en una inundación máxima, contra los establecimientos localizados dentro de la zona de estudio, en un buffer de 1000 m tierra adentro. Se eligió este tipo de fenómeno, por estar directamente relacionado con el cambio climático y la variabilidad climática ya que se trata de un fenómeno natural que produce fuertes inundaciones costeras en el litoral mexicano. La amplitud de las maneras de tormenta no sólo depende de la intensidad del viento, sino también de las características físicas del lugar, tales como la forma de la línea de costa, la configuración del terreno fuera del mar, la elevación y las profundidades del fondo marino cercanas al litoral.

A partir de los datos obtenidos al analizar la marea de tormenta en el estudio realizado en el destino turístico y a través del sistema de información geográfico (SIG) de ArcGIS ESRI (M.R.), se establecieron las áreas máximas de inundación contra el número de establecimientos que se afectarían, así como a la totalidad de establecimientos en la zona de estudio.

El inverso del porcentaje obtenido fue normalizado para obtener el Indicador de Exposición, lo anterior, para conservar la lógica de la Escala del Índice de Vulnerabilidad Social, en la que los valores cercanos a 1 reflejan la No Vulnerabilidad, no obstante que el mayor porcentaje de establecimientos afectados, con respecto al total de la zona de estudio, refleja mayor exposición de la región a este tipo de fenómeno.

## c) INDICADOR DE PERCEPCIÓN CIUDADANA SOBRE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LAS AUTORIDADES

Este indicador está ligado a la necesidad de que Protección Civil pueda garantizar mediante la continuidad de sus operaciones, la capacidad de respuesta municipal ante cualquier emergencia, a partir de un enfoque del manejo integral de riesgos de desastres frente a la ocurrencia de desastres, priorizando el enfoque preventivo, con el que se permita el desarrollo de las actividades de las dependencias y entidades públicas, así como de los sectores social, privado y turístico localizados en municipio, (Línea Temática de Municipio Seguro). Por lo que en base a las encuestas realizadas a la población, se utilizaron cuatro preguntas con la finalidad de identificar si la población percibe la actuación de Protección Civil, si la población sabe a quién acudir en caso de riesgo y si identifica a las autoridades involucradas en la atención y gestión del riesgo como instituciones públicas confiables y con capacidad para responder ante situaciones de riesgo.

El Valor Total del indicador es 4, es decir 1 punto por cada una de las preguntas que se utilizarán y que son:

- ¿Sabe a quién acudir en caso de emergencia o desastre hidrometeorológicos?
- ¿Cree que Protección Civil cuenta con infraestructura y capacitación para atender un desastre?
- ¿Cree que el gobierno municipal está preparado para atender una emergencia?
- ¿Recibe apoyo la población en caso de desastre?

#### d) INDICADOR DE COHESIÓN SOCIAL

Este indicador se evalúa con preguntas de las encuestas también, las cuales proporcionan información del sentido de pertenencia y la disposición de la población para participar en acciones para disminuir el efecto de fenómenos hidrometeorológicos. El Valor Total de este indicador es de cuatro, es decir 1 punto por cada una de las siguientes preguntas que se utilizarán para evaluarlo:

- ¿Piensa usted quedarse a residir definitivamente en este municipio?
- ¿Participaría en acciones para disminuir el efecto de eventos hidrometeorológicos?
- ¿Estaría dispuesto a realizar cambios constructivos en su vivienda para disminuir los efectos de fenómenos hidrometeorológicos?
- ¿Conoce organizaciones civiles involucradas en protección civil, derechos humanos, protección al ambiente, etc.?

#### e) INDICADOR DE CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SECTOR SALUD

Una de las responsabilidades del municipio consiste en garantizar que la infraestructura física, cobertura, capacidad y calidad del sector salud sea suficiente para atender a la población y a las víctimas en casos de desastres, por lo que, como elemento estratégico de respuesta, se incluye este indicador que se utiliza para conocer la información sobre la preparación del sector salud en los rubros citados.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2009) definió que el número ideal de médicos por cada 10,000 habitantes es de 25. Así que para este indicador se utilizó como valor de referencia 2.5 médicos por cada 1000 habitantes. Los datos corresponden al personal médico de las instituciones públicas del sector salud entre la población total municipal, de las estadísticas por municipio de INEGI para el año 2010. Considerando que el personal médico comprende: médicos generales, especialistas, residentes, pasantes, odontólogos y otras labores, de las siguientes dependencias federales: IMSS, ISSSTE, SEDENA, SEMAR y DIF; así como de las instancias estatales; en el caso de servicios municipales y privados no se encontró información disponible.

**f) ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL**

El índice de vulnerabilidad social se construyó a partir de los indicadores anteriormente descritos mediante el promedio de los valores normalizados de los cinco indicadores.

Como se señaló anteriormente, cada uno de los indicadores está normalizado de 0 a 1, considerando el valor 1 igual a No Vulnerable y el valor 0 igual a Muy Vulnerable, para todos los indicadores. Entre los valores 0 y 1 se encuentra la escala de vulnerabilidad social que se utilizó en el presente estudio, la cual califica cuatro rangos de valores, a los que se les asignó también un escala de color para poder hacer más gráfico el resultado que se obtuvo para cada destino. En la Tabla 27, se presenta la escala de vulnerabilidad social que se utilizó para el presente estudio.

**Tabla 27.** Escala de Vulnerabilidad Social

	<b>VALOR</b>	<b>RANGO</b>	<b>COLOR</b>
<b>ESCALA DE VULNERABILIDAD SOCIAL</b>	<b>Muy Vulnerable</b>	<b>0.00 - 0.25</b>	
	<b>Vulnerable</b>	<b>0.26 - 0.50</b>	
	<b>Poco Vulnerable</b>	<b>0.51 - 0.75</b>	
	<b>No Vulnerable</b>	<b>0.75 - 1.00</b>	

## **7. PROPUESTAS DE PROGRAMAS DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR TURISMO.**

### **1. Descripción de la construcción de la matriz de medidas de adaptación**

Con la información obtenida para cada uno de los municipios a través de consulta, entrevistas y encuestas, una vez que identificadas las amenazas a las que se encuentra sujeta cada una de las regiones de interés y valorada su vulnerabilidad, se procedió a elaborar una serie de propuestas de Medidas de Adaptación por destino que fueron posteriormente evaluadas y validadas en los talleres participativos que se describen en el siguiente apartado.

De acuerdo a la definición establecida en la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012b), las medidas de adaptación, son aquellas enfocadas a reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia de los sistemas ambientales, sociales y productivos, así como fortalecer las capacidades de adaptación de diferentes sectores de la sociedad. Por lo que las propuestas de medidas de adaptación, fueron construidas con la finalidad de reducir riesgos, disminuir la vulnerabilidad regional, aumentar la resiliencia de la población y fomentar la cultura de la prevención.

Tomando como base la metodología de Marco Lógico, se construyó una matriz para contener las propuestas de medidas de adaptación que se identificaron para el municipio, así como aquellas medidas que fueron aportadas por los asistentes a los talleres participativos detallados en el siguiente apartado.

En esta matriz, cada una de las medidas se encuentran asociadas a una o más de las amenazas identificadas para la localidad, así como al efecto esperado en caso de ocurrencia. Las medidas propuestas, atienden una necesidad, resultado ya sea de la amenaza a la que se encuentran asociadas o a un aspecto de vulnerabilidad (física, institucional, social o económica) identificado, se encuentran clasificadas, priorizadas, definen a los actores involucrados en su atención, identifican grupos o sectores beneficiados, posibles fuentes de financiamiento y señalan un mecanismo para poder dar seguimiento en su avance. Así mismo en cada matriz se incluye el fundamento legal que es aplicable, en el contexto de cambio climático y gestión integral del riesgo, para la implementación de cada medida.

Las propuestas de medidas de adaptación se encuentran clasificadas, de acuerdo a las siguientes categorías, las cuales son congruentes con lo establecido en la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012b):

- Instrumentos normativos y de política pública de carácter municipal
- Fortalecimiento de capacidades institucionales
- Protección Civil
- Investigación científica y tecnológica
- Fortalecimiento de capacidades sectoriales
- Recursos naturales y protección al ambiente
- Instrumentos Económicos

- Sistema de Alerta Temprana
- Infraestructura
- Transporte y Vialidades
- Manejo de Residuos
- Educación para la prevención de riesgos

## 2. Talleres participativos de propuestas de medidas de adaptación

El proceso mediante el cual se validaron las propuestas de medidas de adaptación fue un taller participativo, al cual fueron convocados actores claves de los tres niveles de gobierno, que de manera conjunta y planeada revisaron y ampliaron la propuesta de medidas preliminares que fueron presentadas.

Para realizar la Convocatoria de los participantes, se consideró muy importante que el Presidente Municipal, estuviera informado por un lado de la realización de proyecto de la SECTUR y que estuviera enterado de que se pretendía llevar a cabo un taller para presentar las propuestas de Medidas de Adaptación local y evaluar su factibilidad de aplicación, medidas, que fueron elaborada a partir de la información obtenida de fuentes oficiales, sus Directores o Regidores, así como de la aplicación de las encuestas a la población. Esta Convocatoria fue realizada a través de un oficio que la SECTUR hizo llegar a la Presidencia Municipal. Se informó en cada Ayuntamiento, que uno de los productos finales del proyecto de SECTUR, serían las Propuestas de Programas de Adaptación para el Sector Turismo de cada una de las localidades, por lo que se consideraba relevante la participación de las autoridades municipales en dichos talleres, así como que se solicitaba su colaboración para que una vez que se tuviera la propuesta de las medidas que quedarían integradas al mismo, en colaboración con SECTUR, se realizara la convocatoria, tanto a autoridades de los tres órdenes de gobierno, como a representantes de las asociaciones de empresarios dedicados al sector turismo y a representantes de organizaciones civiles, que de acuerdo a su experiencia podrían participar de manera proactiva en dichos eventos.

Por otro lado, la misma SECTUR realizó la convocatoria mediante oficio de autoridades federales como SEMARNAT, PROFEPA, INECC, CONANP y FONATUR, mientras que para la Convocatoria de autoridades Municipales, el grupo de ANIDE obtuvo el directorio municipal para establecer un primer contacto vía telefónica con las autoridades que se visitaron al aplicar las entrevistas previas, así como las demás autoridades claves que debían participar, por lo que se solicitó apoyo, según el caso de cada municipio, principalmente de las Direcciones de Comunicación Social, Ecología, Turismo o Relaciones Públicas, para la revisión y complementación de la lista, con los datos de las Asociaciones de Hoteleros y prestadores de servicios turísticos, así como el proporcionar los nombres de por lo menos tres organizaciones no gubernamentales, que se considerara debían asistir al taller participativo. Una vez obtenidos los datos correspondientes, el área que sirvió como enlace en cada caso, apoyó al equipo de ANIDE, con la confirmación del envío de los correos electrónicos de invitación, así como realizando llamadas para confirmar la asistencia de los convocados.

Cabe señalar, que al no ser posible contactar directamente con los Presidentes Municipales, en cada caso la comunicación y coordinación de logística se llevó a cabo con el representante cada una de las áreas de enlace, dándose seguimiento al protocolo correspondiente en cuanto al envío del Oficio de invitación al Presidente Municipal que realizó la SECTUR y cumpliéndose en tiempo forma con la participación y colaboración en la realización del cada uno de los talleres participativos.

En cada taller participativo intervinieron autoridades de los distintos niveles de gobierno y representantes de las organizaciones relacionadas con la actividad turística, así como representantes de organizaciones civiles y tanto las autoridades como la propia población en el caso de la aplicación de las encuestas, consideraron que este tipo de proyecto, es relevante para atender las necesidades de la población y orientar el desarrollo turístico de la región.

Los talleres participativos dieron inicio con las palabras de bienvenida de un representante de la SECTUR, del representante de cada Ayuntamiento y de la Directora General de ANIDE, para posteriormente continuar con la presentación de los resultados de las amenazas relacionadas con cambio climático y variabilidad climática identificadas para las regiones, continuando con los resultados sobre la vulnerabilidad social e institucional identificadas para cada municipio y el marco jurídico e institucional municipal en torno a la Figura del Programa de Adaptación.

Posteriormente, el análisis de la matriz de propuestas de medidas de adaptación, se realizó a través de un ejercicio, en el que se dividieron a los participantes en equipos de cuatro a cinco personas, considerando la clasificación de medidas en la matriz, por lo que se pidió a los asistentes su incorporación al equipo donde consideraran que podrían realizar una mejor aportación. Se solicitó a los asistentes la revisión para la corrección, eliminación o inclusión de nuevas medidas, así como su validación e incorporación de los actores que a nivel federal, estatal y local, según su experiencia debieran estar involucrados en la implementación de las medidas. Una vez concluida la revisión correspondiente, el vocero de cada equipo frente a grupo, presentó los comentarios generales sobre la revisión de la matriz y en su caso la discusión de las propuestas de medidas aportadas por su equipo. Cada taller participativo, finalizó con una plática y un ejercicio sobre Comunicación de Riesgos.

En la Tabla 28, se indican las fechas de realización de cada uno de los talleres participativos realizados, así como la sede y el número de asistentes a cada uno de ellos.



**Tabla 28.** Talleres participativos realizados por municipios

Municipio	Fecha de realización del taller	Sede del taller participativo	No. De asistentes
<b>Sta. Ma. Huatulco</b>	04 de Marzo del 2013	Hotel Binniguenda, Huatulco, Oax.	31
<b>Cancún Tulum Solidaridad</b>	09 de Marzo del 2013	Auditorio Municipal del Ayuntamiento de Solidaridad, Q. R.	21
<b>Zihuatanejo de Azueta</b>	05 de Abril de 2013	Hotel Fontan, Ixtapa, Guerrero	18
<b>Los Cabos</b>	12 de Abril de 2013	Hotel Quinta del Sol, Cabo San Lucas	12
<b>Bahía de Banderas Puerto Vallarta</b>	16 de Abril de 2013	Hotel Crown Paradise Club, Puerto	22
<b>Veracruz Boca del Río</b>	19 de Abril de 2013	Hotel Colonial, Veracruz, Ver.	14
<b>Mazatlán</b>	26 de Abril de 2013	Salón de Cabildo del Palacio	24
<b>Acapulco</b>	30 de Abril de 2013	Casa Inn Acapulco , Gro	24

### 3. Elaboración de propuestas de programas de adaptación del sector turismo

El objetivo principal de los programas de adaptación es establecer los elementos para articular y orientar los instrumentos de política y las acciones necesarias para reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia y fortalecer las capacidades de adaptación de la sociedad, los ecosistemas y los sistemas productivos. Entendiendo por capacidades de adaptación, las habilidades o potencial de un sistema de responder exitosamente a la variabilidad y cambio climático, incluyendo ajustes en comportamiento, recursos y tecnología (IPCC, 2007).

La adaptación al cambio climático se visualiza como un proceso social donde se requiere la participación activa de las instituciones clave y de la sociedad en general, donde la coordinación y la planeación propicien el manejo de riesgo para incrementar las capacidades de respuesta y prevención, disminución de la vulnerabilidad (territorial y sectorial), así como el aumento creciente de las capacidades sociales e institucionales (SEMARNAT, 2011).

Es importante considerar que la planeación de la adaptación debe partir de un entendimiento cabal del contexto local, que apunte a implementar estrategias y programas en el ámbito municipal. Para ello es necesario llenar vacíos de información sobre la vulnerabilidad y la adaptación a nivel regional y local, así como atender de manera urgente la pobreza y la desigualdad en la sociedad. El éxito de la adaptación depende de una atención equilibrada al crecimiento económico y al acceso a los recursos, una mayor equidad entre los géneros y grupos sociales, y una mayor participación local en la toma de decisiones (SEMARNAT, 2012a).

En este sentido, para la realización de las propuestas de programas de adaptación del sector turismo, se analizaron tópicos relacionados con los aspectos físicos de la zona de interés y las características sociodemográficas imperantes en la zona, los aspectos normativos e institucionales que podrían incrementar las probabilidades de vulnerabilidad de las regiones, la estructura y funcionamiento de la sociedad que representarían fortalezas o carencia de ellas en el proceso de incrementar la resiliencia del sistema social, así como los aspectos externos de mercado que podrían poner en riesgo el abasto de la población que se enfrentaría a posibles eventos hidrometeorológicos.

Cabe señalar que ya que cada municipio tiene una realidad jurídica, institucional, administrativa, cultural, social e inclusive física distinta, se creyó pertinente construir los programas de adaptación por municipio y no por destino turístico como estaba comprometido en los términos de referencia del presente proyecto, por lo que se conformaron 12 propuestas de programas de adaptación del sector turismo, los cuales se integran al presente informe final como secciones independientes.

Finalmente, aunque en la metodología se han descrito a detalle los métodos y procedimientos con la que se construyó la información que se utilizó para elaborar las propuestas de los programas de adaptación del sector turismo, que son uno de los entregables del presente proyecto, a continuación se señala de manera breve los pasos generales que se siguieron para la elaboración de las propuestas de programas de adaptación señalados:

- Recopilación de antecedentes en gabinete, proveniente de fuentes oficiales y de investigación.
- Recopilación de información en campo (muestreos, consultas, entrevistas y encuestas).
- Establecimiento del Marco Jurídico Institucional, reconociendo fortalezas, debilidades y vacíos.
- Identificación de amenazas (climática, física, institucional, social o económica).
- Evaluación de la vulnerabilidad (física, institucional, social o económica).
- Tratamiento de la información (estadísticos, modelos, cartográfico).
- Construcción de Indicadores e Índices.
- Construcción de propuesta de matriz de medidas de adaptación (las medidas deberán reducir riesgos, disminuir la vulnerabilidad regional, aumentar la resiliencia de la población y fomentar la cultura de la prevención)
- Realización de talleres participativos de evaluación y complemento de matriz de propuestas de medidas de adaptación en el sector turismo (Con actores claves de los tres niveles de gobierno, Asociaciones de Hoteleros y prestadores de servicios turísticos, así como ONG's)
- Elaboración de propuestas de programas de adaptación del sector turismo.