



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**MORFODINÁMICA DE LA LÍNEA COSTERA ENTRE EL
RÍO PRESIDIO Y PUNTA CERRITOS, MAZATLÁN, SINALOA,
MÉXICO, EN EL PERÍODO 1977-2006**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
**MAESTRA EN GEOGRAFÍA
(ORDENAMIENTO TERRITORIAL)**

PRESENTA

MARLÉN ARIANA GONZÁLEZ CONCHAS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA

CO DIRECTOR DE TESIS:
DR. ARTURO RUIZ LUNA

MÉXICO, D. F.

MAYO 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Con todo mi amor a Galileo, mi hermanito.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico brindado durante los dos años en que cursé mis estudios de Maestría.

A mi papá, **Dr. en I. Dante Arturo González Salas**, por ser mi guía y ejemplo a seguir. Por orientarme en todo momento, además de facilitarme material bibliográfico y cartográfico de su acervo personal, que fue parte fundamental para la realización de esta tesis.

A mis directores de tesis:

Dr. José Ramón Hernández Santana, por creer en este trabajo desde el principio, por sus enseñanzas y todo el tiempo dedicado a asesorarme en esta tesis y en lo referente a mis materias de la Maestría, y muy especialmente por su amistad.

Dr. Arturo Ruiz Luna, por aceptar formar parte de nuestro equipo de trabajo y aportar sus conocimientos sobre SIG y el área de estudio, que fueron sumamente importantes.

A los miembros del sínodo:

Mtra. Oralia Oropeza Orozco, por su interés y atención puesta en la revisión de esta tesis, los cuales se vieron reflejados en sus observaciones que sirvieron para mejorar su calidad.

Dr. Lorenzo Vázquez Selem, por las correcciones hechas a este trabajo y por sus valiosos comentarios al respecto.

Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez, por la revisión realizada a mi tesis.

A la **Mtra. Ana Patricia Méndez Linares** por su colaboración en el trabajo de campo, su ayuda durante todo el proceso de realización de esta tesis y por brindarme su valiosa amistad.

Al **M. C. Rafael Hernández Guzmán** por sus enseñanzas referentes a SIG y tenerme tanta paciencia.

A la **Unidad Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología** de la UNAM, especialmente a su director, el **Dr. Federico Paez Osuna**, por prestarnos una lancha que facilitó la realización del trabajo de campo.

A la **Dra. María Engracia Hernández Cerda** y al **M.C. Enrique Azpra Romero**, por su ayuda en la parte correspondiente a climas, de esta tesis.

Al **Dr. Francisco García Moctezuma**, por sus enseñanzas de Economía, que ayudaron en una parte de este trabajo.

A todos los profesores que me dieron clases en la Maestría por enseñarme tanto y tenerme paciencia.

A mis amigos y compañeros de Maestría: **Samuel Mendoza, Ricardo Hernández, Evelyn Rocha, Danilo Sosa y Gema Velásques**, que compartieron conmigo una etapa muy bonita de mi vida: mis estudios de Maestría.

A **Karen Brito, Miguel Ramírez, Moisés Zamora y Mariela Mijares**, por su apoyo.

A mi hermano **Euler** y **mi mamá** por apoyarme durante todo este tiempo, lo cual hizo posible concluir este trabajo.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por hacerme parte de ella.

Índice

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Hipótesis	4
Estructura de la tesis	4
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	6
I.1. Zona costera: tipos de costa y su morfodinámica	6
I.1.1. Conceptos generales de la zona costera y su morfodinámica	6
I.1.2. Principales enfoques para el estudio morfodinámico de la zona costera	13
I.1.3. Fuentes de información sobre la costa	15
I.2. Marco Metodológico	19
I.2.1. Métodos aerofotográficos y de percepción remota en la morfodinámica costera.	19
I.2.2. Experiencias internacionales y nacionales en estudios morfodinámicos de la línea costera.	23
I.2.3. Antecedentes de investigaciones morfodinámicas en el área de estudio	26
I.2.4. Materiales y métodos empleados	29
CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO	35
II.1. Localización geográfica	35
II. 2. Factores físico-geográficos	36
II.2.1. Constitución geológica	36
II.2.2. Condiciones geomorfológicas	38
II.2.3. Clima	53
II.2.3.1. Régimen de vientos	53
II.2.3.2. Régimen térmico	54
II.2.3.3. Precipitación	55
II.2.3.4. Eventos hidrometeorológicos extremos: cronología	56
II.2.4. Mareas y corrientes	59
II.2.5. Características hidrológicas	60
II.2.6. Vegetación	60
II.3. Factores socioeconómicos	61
II.3.1. Características demográficas y sociales generales del municipio de Mazatlán, Sinaloa: evolución histórica.	61
II.3.2. Actividades económicas	65
II.3.3. Uso de suelo urbano	67
II.3.4. Turismo y su incidencia histórica en el crecimiento económico mazatleco y en el estado actual del recurso turístico costero.	70
CAPÍTULO III. MORFODINÁMICA DE LA LÍNEA DE COSTA MAZATLECA: TENDENCIAS Y MEDIDAS PARA SU DESARROLLO SUSTENTABLE	73
III. 1. Variaciones de la línea de costa en el período 1977-1991	73
III.2. Variaciones de la línea de costa en el período 1991-2006	77
III.3. Tendencias morfodinámicas generales para los sectores costeros diferenciados, entre 1977 y 2006	83
III.4. Medidas correctivas, preventivas, mitigativas y de control	88
CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	93

RESUMEN

Ante la problemática del ascenso del nivel medio del mar, el análisis de las modificaciones de las líneas costeras se constituye en uno de los retos de mayor importancia científica internacional, particularmente por su impacto sobre las comunidades costeras y por su efecto en la protección y preservación de los recursos que albergan. En el presente trabajo se exponen las tendencias morfológicas (retroceso o acreción costera) de las playas mazatlecas entre Punta Cerritos y la desembocadura del Río Presidio, entre los años 1977 y 2006. Se aplicó un método cartográfico histórico-comparativo, con fotografía aérea de 1977 y 1991, con imágenes satelitales correspondientes al año 2006, en cuatro sectores de playa (Punta Cerritos-El Sábalo, El Sábalo-Punta Camarón, Punta Camarón-Punta Tiburón e Isla de la Piedra-Río Presidio), así como por observaciones y mediciones geomorfológicas de campo (2009), en las cuales se estudiaron los perfiles transversales a las playas (13 estaciones de observación y registro) y se cartografiaron los diferentes morfoelementos de las playas (bermas, dunas embrionarias y cadenas de dunas longitudinales). Los resultados indican retrocesos de la línea de costa actual en el sector Punta Cerritos-El Sábalo, con magnitudes sumarias máximas para el período 1977-2006, de - 17 m, con una velocidad promedio anual de - 0.6 m/año, así como una acreción diferenciada en algunos perfiles, con una magnitud máxima de + 35 m, con una velocidad promedio anual de + 1.2 m/año. Para el sector El Sábalo-Punta Camarón se registraron valores máximos de retroceso sumario de - 60 m para una velocidad promedio anual de - 2.1 m/año; mostrando perfiles acrecionarios de hasta + 20 m para una velocidad promedio anual de + 0.7 m/año. El sector Punta Camarón-Punta Tiburón, se caracterizó por retrocesos de hasta - 22 m para una velocidad promedio anual de - 0.8 m/año, con acreciones mínimas en algunos perfiles, del orden de + 4 m y velocidades de + 0.1 m/año. Este último sector se corresponde con la zona del malecón, donde el perfil transversal de playa ha sido afectado por la estructura constructiva del vial. Más hacia el Sur, se localiza el sector Isla de la Piedra-Río Presidio, con un considerable desarrollo de los morfoelementos de la playa, con varias cadenas de dunas y una extensa planicie acumulativa hacia su interior, que alcanza hasta 2 km, reflejando relativamente poca antropización. Aquí, las tendencias predominantes son acrecionarias, con valores máximos de hasta + 31 m para una velocidad promedio anual de + 1.1 m/año; a su vez, el retroceso se manifiesta discretamente en pocos perfiles, con un monto total de hasta - 2 m, con una velocidad de - 0.1 m/año. El estudio morfológico costero propició la selección de los sitios para el monitoreo permanente, como estrategia para el seguimiento de la modificación

de la línea costera y sus impactos sobre dichos territorios. Las localidades propuestas para dicho monitoreo son, de Norte a Sur: Punta Cerritos, Punta Codo (en el sector El Sábalo-Punta Camarón), Punta Tiburón y en perfiles centrales entre Isla de la Piedra-Río Presidio, con tendencias retrogradativas; y en El Sábalo, las cercanías meridionales de Punta Arenilla, y en las inmediaciones de Estrella de Mar, con tendencias de acreción.

INTRODUCCIÓN

La costa como interfase entre los procesos atmosféricos, marinos y terrestres, es una zona que está expuesta constantemente a cambios en su morfología, algunos de ellos, de carácter irreversible. Por ello, es de fundamental interés hacer un análisis morfodinámico en un intervalo de tiempo que permita ver cambios significativos en la dinámica de los procesos costeros y sus efectos sobre el litoral.

En las últimas décadas, ha cobrado importancia el manejo integrado de la zona costera, con vistas a alcanzar una mayor eficiencia en el uso del frágil espacio del litoral, tanto desde el punto de vista político como jurídico, académico, ecológico y socioeconómico. En este sentido, organizaciones internacionales y nacionales, así como entidades gubernamentales han desarrollado programas y proyectos dirigidos a resolver múltiples aristas de dicha visión integrada del uso de las costas, pero sobre la base de las investigaciones morfodinámicas sobre los cambios morfológicos y efectos de los procesos marinos erosivos y acumulativos en el paisaje litoral.

Mazatlán, Sinaloa, cuenta con zonas costeras naturales, antropizadas y antrópico-naturales (parcialmente antropizadas); de las cuales, las últimas han tenido un desarrollo acelerado en los últimos años. Partiendo de las experiencias alcanzadas en los programas nacionales e internacionales sobre la morfodinámica costera, en este trabajo se realizó una comparación histórico-cartográfica y de los materiales aero-satelitales, para identificar cuantitativa y cualitativamente los efectos sufridos en cada una de estas zonas durante las últimas décadas por los procesos erosivos y acumulativos o de acreción litorales. A su vez, las costas del estado de Sinaloa, al igual que la de otros estados ubicados en el margen del Océano Pacífico, reciben anualmente el azote de los vientos huracanados y del oleaje provocado por estos eventos hidrometeorológicos extremos.

Este estudio comparativo a largo plazo pretende servir como base y punto de partida para otro tipo de trabajos, a mayor escala, sobre morfodinámica costera. Cabe mencionarse que dentro del trabajo de campo realizado, se midieron perfiles en puntos estratégicos de la playa para hacer una descripción de su morfología y complementar los análisis realizados por la interpretación de los materiales aéreos y satelitales.

Objetivo General

El propósito de este trabajo fue analizar los cambios de la línea costera en diversos sectores del litoral entre el Río Presidio y Punta Cerritos, Mazatlán, Sinaloa, para contribuir al conocimiento de la morfodinámica de las playas de dicha región, sirviendo como punto de partida para estudios posteriores, dirigidos al turismo sustentable de playa.

Objetivos Específicos

- Revelar los cambios ocurridos en el litoral durante el período 1977-2006.
- Identificar tendencias morfodinámicas del desarrollo costero en las últimas décadas.
- Establecer un análisis comparativo entre los diferentes segmentos de costa (natural, antropizada y parcialmente antropizada) para saber en qué medida se ve afectada por el hombre.

Hipótesis

La línea costera de Mazatlán, Sinaloa, México, ha sufrido cambios morfológicos en las últimas décadas, lo que afecta a la infraestructura turística ubicada en sus márgenes y ha causado un deterioro de las playas utilizadas con fines recreativos en esta ciudad.

Esta morfodinámica no es igual en sectores naturales que en sectores con presencia antrópica, donde los procesos costeros, debido a la ruptura del perfil de equilibrio de la playa, generada por la errada localización de las infraestructuras turísticas, han acelerado la erosión costera.

Estructura de la tesis

La tesis está estructurada en Resumen, Introducción, tres capítulos intermedios, Conclusiones y Bibliografía, estando enriquecida por tablas y 70 figuras, entre mapas, gráficos y fotografías, además de un mapa anexo.

El primer capítulo constituye el marco teórico-conceptual, reconociendo los principales enfoques de abordaje del objeto de estudio, las bases metodológicas empleadas más frecuentemente, algunas experiencias nacionales e internacionales, así como los materiales utilizados en el análisis morfodinámico del litoral mazatleco. El capítulo segundo describe y evalúa los diferentes factores naturales y socioeconómicos que caracterizan el territorio circundante a la ciudad de Mazatlán, desde Punta Cerritos, al Noroeste, y hasta la desembocadura del Río Presidio, al sureste.

Finalmente, el tercer capítulo valora los resultados obtenidos con las investigaciones, mostrando las principales tendencias morfodinámicas del litoral, en las últimas 3 décadas del siglo XX y hasta la actualidad.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

I.1. Zona costera: tipos de costa y su morfodinámica.

I.1.1. Conceptos generales de la zona costera y su morfodinámica.

La zona costera es definida como el espacio geográfico donde se establece una transición gradual entre una banda de tierra y el espacio oceánico adyacente, en el cual los procesos y usos terrestres afectan directamente a los procesos y usos oceánicos, y viceversa (Carter, 1988; Kay y Alder, 1999). En este sentido, la zona costera es un territorio localizado en la interfase de intercambio de materia y energía entre diversas esferas geográficas, como la litósfera, la hidrósfera, la atmósfera, y bajo la acción modificadora del hombre. Esta posición geográfica la convierte en una zona extremadamente dinámica y frágil, ante los efectos de los diferentes procesos naturales y antropogénicos imperantes.

La zona costera puede ser clasificada de diferentes formas, según diversos criterios. Casi todas las clasificaciones costeras emplean, al menos, dos de las tres variables básicas: la forma de la costa, los cambios en el nivel relativo del mar y el efecto de los procesos marinos. De acuerdo con Trenhaile (2004), dos clasificaciones que han probado ser particularmente útiles son, en primer término, considerar la naturaleza de los ambientes costeros y, por otro lado, el efecto de las placas tectónicas en el desarrollo costero.

Davies (1972, citado en *ibid.*) propuso que los procesos costeros están fuertemente influenciados por factores ambientales, que varían en un modo sistemático alrededor del mundo. Su sistema de clasificación está basado en diferencias en el clima oceánico que determina los rasgos y magnitud de las olas, pero subrayó que las características costeras también reflejan variaciones en el rango de mareas, del clima, y muchos otros factores. De acuerdo con esta clasificación, el área de estudio de la presente tesis, se encuentra dentro de una *zona de ciclones tropicales*, por lo que su morfodinámica está sujeta, durante la ocurrencia de dichos eventos, a la influencia de la energía del viento huracanado en la formación de notables trenes de olas, que determinan la morfología de la costa.

La morfología de las costas está sujeta fuertemente a la influencia del mar y al período de tiempo requerido para que dicha influencia transforme la línea de costa, lo que depende de la naturaleza de las rocas, la altura de la costa y el grado de actividad de los procesos marinos. Por lo anterior, cada tipo de clasificación geomorfológica

incluye una forma secuencial, donde los tipos de costa iniciales serán, por lo tanto, descriptores de la condición originaria, así como breves indicadores de las modificaciones que generó el mar en cada caso (Guilcher, 1958).

Conforme a este procedimiento, Gulliver (1899, citado en *ibid.*) distinguió las formas iniciales de las formas secuenciales. Las iniciales no necesariamente están conectadas con la acción del mar como tal, pero son el resultado de movimientos relativos de la tierra y del océano, mientras que las secuenciales evolucionan a partir de la acción del mar sobre las formas iniciales.

Posteriormente, esta clasificación fue replanteada bajo el siguiente esquema general:

- I. Las formas iniciales se dividen en:
 - a. Tierras altas limítrofes, de rocas duras.
 - b. Tierras bajas limítrofes, de rocas suaves.
 - c. Causadas por glaciación.
 - d. Modificadas por ligeras variaciones del nivel medio del mar.

- II. Las formas secuenciales se dividen en:
 - a. Tierras altas limítrofes, de rocas duras.
 - b. Tierras bajas limítrofes, de rocas suaves.
 - c. Zonas limítrofes de depósitos sin consolidar.
 - d. Marinas costeras consistentes.

Estas formas pueden ser agrupadas en cuatro divisiones principales: acantilados y plataformas de rocas; playas y dunas; estuarios, marismas y deltas; y formaciones coralinas. Según la definición manejada por Guilcher (1958), se presentan a continuación algunos conceptos de dichas geoformas, bajo su identificación dentro del área de estudio de la presente tesis:

a) Acantilados y plataformas rocosas

Un acantilado es una ruptura de pendiente, generalmente no cubierta por vegetación, cuyo nivel es normalmente empinado, entre 15° y la vertical, o incluso sobrepasándola; su altura es muy variable, llegando a sobrepasar los 1 000 m en el caso de los mayores acantilados conocidos (Guilcher 1958). Se encuentran en la zona de contacto entre la tierra y el mar y su existencia es usualmente debida, de cierta

manera, a la acción mecánica del oleaje (Fig. 1). En la formación de los acantilados el principal papel formativo lo presentan los procesos abrasivos, los cuales originan nichos en la base de los acantilados, debido al desgaste originado por energía de las olas, los cuales constituyen el detonante para los procesos de derrumbe, con el consiguiente retroceso de la costa. Además, en dependencia de la profundidad, las olas esculpen gradualmente las plataformas submarinas, las que en condiciones de emersión por ascensos tectónicos, muestran extensas planicies o terrazas abrasivas marinas. (*ibid.* 1958).

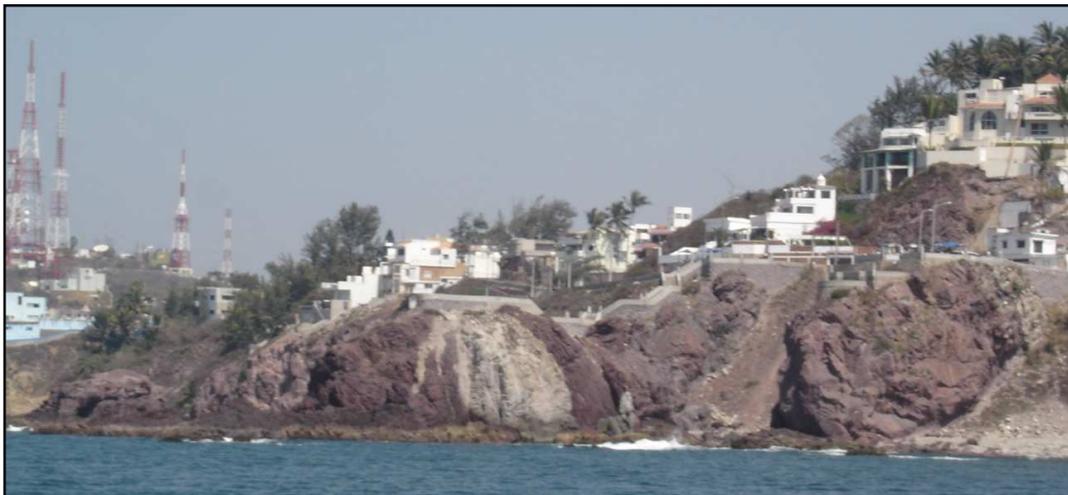


Fig. 1. Acantilados y Paseo del Centenario, en Mazatlán (marzo de 2009).

b) Playas y dunas costeras

Una playa puede ser definida como una acumulación de material, generalmente más grueso que las arcillas y limos, en el límite mar-tierra. La textura de las playas varía, según la predominancia granulométrica de los depósitos, pudiendo oscilar entre arena muy gruesa a muy fina. Estos materiales pueden ser erosionados y transportados por el mar desde depósitos fluviales; a partir de la intemperización física de las rocas y de afloramientos de areniscas y otras litologías; de depósitos glaciales o periglaciales; de la abrasión de las barreras coralinas; y de otras variadas fuentes.

Las partes esenciales de una playa son:

- La zona de mar adentro: situada frente a la playa.
- El nivel de la marea más alta en condiciones de oleaje muy débil.
- Los bordes superior e inferior de la playa, que a menudo son separados por una línea, donde la pendiente y el tamaño de los depósitos disminuyen notablemente.

La existencia de dunas en las costas está conectada con el suministro de arena de las playas y por la acción de vientos fuertes sostenidos durante todo el año o una parte del mismo; con la ausencia de obstáculos en el mar, permitiendo así que el viento fluya más fuertemente, que en otros lugares; y con la ausencia de vegetación en la zona de barlovento de la playa (Fig. 2). De cualquier forma, un cierto tipo de vegetación favorece la formación de dunas costeras.



Fig. 2. Dunas ubicadas entre Punta Cerritos y El Sábalo, Mazatlán (marzo de 2009), con alturas entre los 3 y 6 metros. Este último valor es superado en Quintas del Mar.

En las playas arenosas, de anchura considerable durante la baja mar, cuando el viento es fuerte, pueden ser formadas dunas efímeras, pero son destruidas inmediatamente después, por la marea creciente (*ibid.* 1958). El uso arbitrario de la superficie ocupada por las dunas de arena, puede exponerla a inundaciones; por lo que se requiere un cuidadoso análisis local, antes de usarla para cualquier propósito.

El mecanismo de fallas de una duna es bastante similar al mecanismo observado para los diques, aunque la erosión de la pendiente de la corona es esencialmente diferente, ya que el cuerpo de la duna contiene suficiente material como para tomar una forma especial durante las mareas de tempestad, a lo que se conoce como el *perfil de tormenta*. Durante este proceso de remodelación, el material de la duna es depositado en la playa cercana para engrosar el perfil. Cabe mencionar, que no hay pérdida de material. Durante la acreción y erosión, las posiciones de la playa y del pie de la duna están cambiando continuamente (Charlier y De Meyer, 1998). Esta

condición morfodinámica cambiante es una de las características genéticas de las playas y formas acumulativas, tanto de génesis marina como eólica.

c) Formas menores de las playas.

De acuerdo con la energía de los procesos marinos y eólicos, las playas presentarán diversas dimensiones geométricas, así como distribución espacial de sus geoformas menores, entre las cuales se encuentran:

Cúspides de playas: Son características del borde superior de la playa y no del inferior. Se encuentran en mares con mareas notables, mares con débiles mareas, y lagos. Consisten en crestas de ripia triangular o grava, separados por aberturas al mar y se producen en series de longitudes variables.

Marcas de ondas: Se encuentran en el borde inferior de la playa y no en el superior. Las ondas de arena son de diferentes tipos. Las ondas oscilatorias tienen pendientes simétricas, crestas afiladas y depresiones redondeadas. Son el resultado de cambios morfológicos del fondo marino, producido por el vaivén de las olas.

Bajos y bolas, surcos y cúspides: Son raramente encontradas en el borde superior de la playa, pero muy frecuentemente en la parte baja de la playa y aguas adentro en mares y lagos. Son crestas paralelas a la dirección general de la playa o ligeramente oblicuas con relación a ella; sus pendientes son más suaves que las de las crestas de la playa alta.

El perfil cambiante de equilibrio de las playas: Este perfil es alcanzado mucho más rápido que el de los arroyos y es constantemente modificado, especialmente por variaciones en la fuerza de las olas.

Características mayores de la zona emergida: La forma de las cabezas de playa de bahías refleja la dirección e intensidad de las olas que la moldean: la refracción causa que las olas rompan en forma arqueada, para los contornos submarinos son usualmente casi paralelos a los contornos terrestres emergidos y las olas que se acercan a la bahía normalmente tienden a conformar estos contornos submarinos (Guilcher 1958).

d) Estuarios y marismas

Los dos conceptos están asociados a los tercios inferiores de los sistemas fluviales, donde también se ejerce una fuerte influencia de la dinámica de las mareas y de sus corrientes. Precisamente, en los tercios inferiores de las cuencas fluviales, los ríos forman sus planicies costeras, que bajo la dinámica de las mareas determina la formación de las planicies lodosas de las marismas y los canales de su esorrentía en ambos sentidos con respecto a la costa; así como los estuarios, cuando la configuración de la costa y la profundidad local propician una mayor influencia marina. En general, las marismas están muy extendidas en todas las costas bajas del mundo y en México, generalmente, sirven de sostén al desarrollo de comunidades de manglares (Fig. 3).



Fig. 3. Estero del Yugo, al norte de Mazatlán (octubre de 2009).

e) Deltas

Un delta es una planicie (llanura) o plano localizado en las desembocaduras de los grandes ríos, donde las condiciones de profundidad, transporte de sedimentos y energía de las olas propician la acumulación del aluvión, en vez de ser redistribuido por el mar. Realmente, los deltas son una formación fluvio-marina, que determina la construcción de grandes extensiones de tierra (Fig. 4 y Fig. 5). Aun en desembocaduras sin delta, existe a menudo una tendencia a que el aluvión sea

depositado, considerándose como “embriones” de deltas, que pueden ser de dos tipos: el delta submarino y la barra en la boca del estuario.

Señala además Guilcher (op. cit.), que el flujo del río causa tanto erosión como redistribución del material. La redistribución consiste esencialmente en la construcción de barras, que rápidamente crecen hacia la superficie, formando las lagunas que finalmente quedan separadas del mar. En este sentido, dichas lagunas son de un tipo diferente de aquellas, que son formadas entre los distributarios del delta. Muchas lagunas son de origen mixto.



Fig. 4. Delta del Río Presidio (marzo de 2009).



Fig. 5. Delta del Río Presidio, al sur de Mazatlán. Imagen de Google Earth (Enero de 2006).

I.1.2. Principales enfoques para el estudio morfodinámico de la zona costera.

Para analizar los cambios en la línea de costa y sus tendencias, es necesario tener una definición funcional de la misma. Una definición idealizada de línea costera es la interfase física de tierra y agua (Dolan *et al.*, 1980). Debido a la naturaleza dinámica de la línea de costa, para su estudio debe considerarse, tanto la dimensión espacial como la temporal y debe tomarse en cuenta la dependencia de esta variabilidad en la escala de tiempo con la que está siendo estudiada (Boak y Turner, 2005).

Por la misma razón, para fines prácticos se ha adoptado el uso de indicadores, que representan la posición “real” de la línea de costa. Estos indicadores generalmente se agrupan en dos categorías: los que se clasifican con base en una característica visualmente discernible de la costa, o bien basadas en un dato de las mareas. En este primer caso, se trata de características que pueden ser determinadas visualmente (por ejemplo, la línea previa de marea alta o el límite entre la arena húmeda y la seca); mientras que los indicadores del segundo grupo son determinados por la intersección del perfil de la costa con una elevación vertical específica, definida por los umbrales de la marea de un área en particular (por ejemplo, el promedio de la altura del agua o del nivel del mar) (*ibid.* 2005).

Los cambios en una playa, vistos en planta, son aquellos producidos generalmente por la presencia de un gradiente en el transporte longitudinal de sedimentos, a lo largo de la orilla, que al ser positivo (cuando las tasas de transporte se incrementan) se produce una erosión de la costa, que se presenta como la pérdida de superficie de la playa. Cuando el gradiente es negativo (cuando decrecen las tasas de transporte) se produce una acumulación de sedimentos y por lo tanto, aumenta la superficie de la playa, (Sánchez-Arcilla y Jiménez, 1994), produciéndose un proceso de acreción sedimentaria.

A partir de estos criterios, un tramo de costa se encuentra en equilibrio, cuando los caudales sólidos que ingresan en el mismo son iguales a los que salen de dicho tramo. Cuando los aportes son superiores a las pérdidas, el tramo costero es hiperestable, con formación de depósitos y geoformas acumulativas; mientras que en el caso contrario sería inestable y se presentarían los procesos erosivos costeros. Cabe mencionar, que desde el punto de vista estático, el equilibrio costero ideal rara vez ocurre (Bores, 1978).

La erosión de las costas ocurre a través de la acción hidráulica del mar, la movilización de sedimentos y su roce, afectando con mayor fuerza, bajo condiciones de olas de tormentas (Smithson, *et al.* 2002). Además, Strahler (2005) menciona, que cuando el viento sopla sobre grandes extensiones de agua, son generadas olas, las que posteriormente expanden su energía a las líneas de costa, erosionando rocas, moviendo sedimentos y creando plataformas, tales como planicies eólico-marinas, compuestas por cadenas de dunas o dunas aisladas.

Cuando se presentan procesos erosivos intensos, ya sea de manera natural o inducidos antrópicamente, pueden alcanzar características que permiten catalogarlos como peligros naturales, con sus consiguientes riesgos territoriales, tanto sociales como económicos. A esto se le suma la creciente y progresiva antropización de la franja costera y las recientes “alarmas” sobre la intensificación de dichos procesos naturales, debido a causas antrópicas de carácter local (retención de sedimentos en las presas, reduciendo el aporte sedimentario a la costa; obras de infraestructura costera, como espigones, escolleras y obras ingenieras, que retienen sedimentos localmente y limitan el transporte longitudinal de los mismos a lo largo de la costa, ocasionando la ruptura del equilibrio sedimentario a escala regional; etc.) o global (por ejemplo, el ascenso del nivel medio del mar, debido al calentamiento global).

Dentro del proceso de erosión existe una diferencia, en cuanto a las escalas espacio-temporales en que éste se manifiesta y las formas en que opera. Es decir, se deben diferenciar los procesos erosivos inmediatos, que están ligados a fenómenos hidrometeorológicos extremos. Éstos son de baja frecuencia, pero de alta velocidad en su desarrollo, que ocasionan la erosión en importantes sectores costeros, pero sus sedimentos erosionados vuelven al sistema sedimentario litoral, al menos parcialmente, una vez que el evento ha pasado y han cambiado las condiciones hidrodinámicas que lo controlan (paso de un oleaje de alta energía a otro de baja). Por otra parte, la erosión a largo plazo, sucede como un fenómeno difuso y menos perceptible, que termina produciendo la pérdida de sedimentos y el retroceso costero, además de una intensificación de los procesos erosivos y de los daños ligados a los fenómenos extremos mencionados anteriormente (Ojeda, 2000). En regiones tropicales bajo influencia estacional de frentes fríos, como la costa del Golfo de México y el occidente de la Isla de Cuba, en el Mar Caribe, las playas suelen erosionarse en el invierno al paso de dichos frentes fríos (también conocidos como “Nortes”), para luego

reconstruirse, durante el verano, por la acción del oleaje formado por los Vientos Alisios del Nordeste (Hernández Santana, comun. pers.).

I.1.3. Fuentes de información sobre la costa

En cuanto a las fuentes documentales y de datos que permiten examinar la posición de la línea de la costa, Boak y Turner (2005) mencionan que existe una gran variedad, como se muestra a continuación:

a) Fotografías históricas con base en la tierra.

Estos materiales proporcionan información general asociada a la línea de costa, permitiendo identificar y determinar la presencia de una característica morfológica específica *in situ*. Sin embargo, estas fotografías son generalmente oblicuas, con información limitada, en cuanto a escala o puntos de control, y normalmente no tienen información acerca de las condiciones de la marea y de las olas en el momento en que fueron tomadas (Fig. 6). Además, el valor de este material depende también de la resolución de los equipos fotográficos y de la calidad de su revelado, sobre todo en las fotografías anteriores a los años 70.

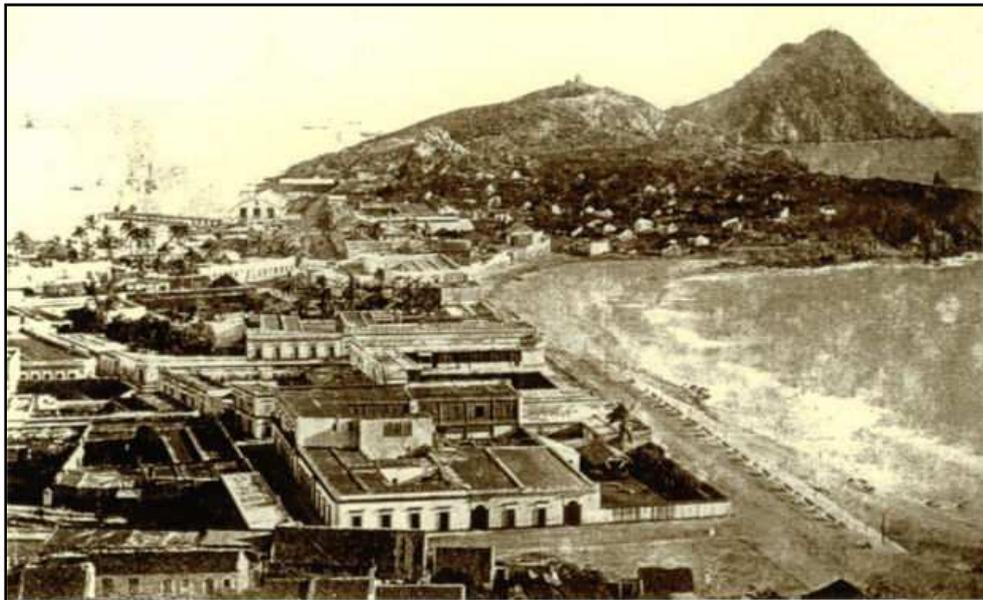


Fig. 6. Fotografía de la playa Olas Altas, Mazatlán, en 1884.

b) Cartas y mapas de la costa.

Existen múltiples errores asociados a los mapas y cartas históricas costeras, sin embargo, su ventaja es que son capaces de brindar información histórica, que no está disponible en otras fuentes de datos. Estos materiales constituyen las representaciones originales de la geografía local o regional (Fig. 7) y deben utilizarse como referencias para observar tendencias con respecto a la actualidad.



Fig. 7. Mapa de Mazatlán, en 1828, donde se destacan islas, que actualmente están integradas, de manera artificial, al territorio continental.

c) Fotografías aéreas.

Por cuestiones de óptica y de nivel, en principio este material está distorsionado y las fotos deben ser corregidas, antes que puedan ser usadas para determinar la línea costera (Fig. 8). Cuando esta fuente de datos está disponible, es la más común para determinar posiciones pretéritas de la línea de costa, con una adecuada precisión.



Fig. 8. Imagen de mosaico por contacto de Mazatlán, hecho con base en fotografías aéreas de enero de 1931.

d) Levantamientos de la playa.

Esta puede ser una fuente de información precisa. Una línea costera puede ser recreada mediante la interpolación de una serie de perfiles de playa normales, aunque la distancia entre ellos suele ser relativamente grande. Los levantamientos topográficos en pequeñas extensiones de playas pueden practicarse con la ayuda de poligonales y de equipos geodésicos de precisión, a partir de cuyos datos de longitud, altura y ángulos, pueden trazarse curvas de nivel, que ayuden en la identificación morfológica y morfométrica de sus elementos y geoformas. Para la elaboración de perfiles de playa se utilizan niveles geodésicos y estadales, y en ocasiones, cuando no se requieren precisiones centimétricas o milimétricas, se pueden emplear cintas métricas para conocer las longitudes de las geoformas y eclímetros o niveles de burbujas, para conocer sus altitudes y desniveles con respecto a la estructura morfológica vecina.

e) Líneas de costa con GPS.

Un método más reciente de mapeo se ajusta al empleo de un GPS diferencial cinemático, montado en un vehículo 4 x 4, el cual es conducido a una velocidad constante, a lo largo de la línea de costa de interés visiblemente discernible. Con equipamiento moderno de GPS, los mayores errores asociados a este método son

los causados por la determinación visual de la línea de interés, por parte del operador, más que por el error propio de las mediciones del GPS.

f) Percepción remota.

Dependiendo de la plataforma específica que sea usada, las líneas costeras derivadas podrán ser basadas en el uso de características costeras visualmente discernibles, análisis del procesamiento digital de imágenes, o un dato específico de marea.

g) Imágenes multiespectrales/hiperespectrales.

Los satélites de vuelo multiespectrales tradicionales (como Landsat, SPOT, etc.) generan una señal discreta en un número limitado de bandas anchas, mientras que las imágenes hiperespectrales proporcionan una cobertura amplia y continua. La ventaja es que pueden ser cubiertas grandes áreas y la información proporcionada es detallada. La desventaja es la resolución del pixel, aunque la puesta en órbita de satélites como Quickbird, con resolución submétrica están haciendo viable su uso para estos propósitos, con un nivel de precisión muy alto.

h) Levantamientos LIDAR.

LIDAR (Airborne Light Detection and Ranging Technology) tiene la capacidad de cubrir cientos de kilómetros de costa en un período relativamente corto. Está basado en la medición del tiempo que tarda un láser en dejar y regresar al instrumento, después de la reflexión. Una de las grandes ventajas de este método es que permite realizar el levantamiento en condiciones nocturnas y de tiempo meteorológico inadecuado, lo que lo hace superior a los clásicos levantamientos aerofotográficos, sujetos a condiciones más óptimas.

i) Imágenes de video o videografía.

Los sistemas de este tipo tienen la capacidad de monitorear cambios detallados en el sistema costero, al igual que arrojar información de cambios, a largo plazo, en la línea costera. Proporcionan datos temporalmente densos, pero espacialmente limitados.

Los distintos enfoques para estudiar el tema pueden ser empleados, de manera conjunta, para la obtención de mejores resultados, como el caso del estudio de Feng *et al.* (2007), donde emplearon el análisis de transporte de sedimentos y la medición de perfiles topográficos para playas arenosas, en el sur de China.

Es importante destacar, que cada tipo de fuente de datos a emplear, dependerá de la finalidad del estudio a realizarse y del enfoque que se le desee aplicar. Este último, de igual manera, estará en función de los objetivos que se tengan, lo cual definirá la temporalidad a analizar.

I.2. Marco Metodológico.

I.2.1. Métodos aerofotográficos y de percepción remota en la morfodinámica costera.

A finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, fueron desarrolladas en Europa, cámaras con múltiples lentes y un campo visual más amplio que el de las existentes en aquella época, las cuales fueron usadas con globos aerostáticos o dirigibles para la realización de levantamientos fotográficos. Posteriormente, con la invención del avión, la fotografía aérea tuvo una nueva plataforma ideal y de esta manera, durante la Primera Guerra Mundial esta herramienta demostró su utilidad para los reconocimientos fotográficos y posteriormente, para la elaboración de mapas topográficos. Los primeros levantamientos de este tipo se concentran a partir del período de posguerra.

Durante la pasada década de los años 90, las cámaras aéreas eran capaces de tomar fotografías a color, las cuales tenían un aspecto más natural que las de blanco y negro, lo cual facilitaba la identificación e interpretación de los rasgos geográficos que aparecían en ellas. En épocas más recientes, se ha facilitado aún más este trabajo debido al empleo de cámaras digitales y de imágenes satelitales (NOAA, 2009).

Actualmente, para el procesamiento de la información, se recurre a la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIGs), que resultan efectivos en los estudios costeros por muchas razones, entre ellas, la capacidad para manejar grandes bases de datos e integrar y sintetizar datos procedentes de distintas disciplinas; además, de proporcionar una posibilidad de actualización de datos, de una manera rápida y sencilla, lo que se traduce en la facilidad de almacenamiento y recuperación

de la información, así como, su análisis geoestadístico. Una de las principales utilidades de los SIGs, en este ámbito, es el seguimiento y análisis de los cambios de la línea costera, la cual posee una dinámica muy elevada, que para su correcto estudio requiere tecnologías capaces de representar dichos cambios y darles un tratamiento adecuado (Casal *et al.*, 2007).

La incorporación de la electrónica y la informática en las técnicas cartográficas, la restitución fotogramétrica, el tratamiento digital de imágenes y los SIGs, pone en nuestras manos un conjunto de herramientas que permiten pasar cualquier documento cartográfico a un sistema de referencia común, de una manera bastante precisa. Cuando el material es digitalizado en formato de celdas o *raster* o se suministra en este formato, existen procedimientos de corrección geométrica, mediante la utilización de puntos de control, obteniéndose resultados con mayor precisión, con la ayuda de modelos digitales de elevación (MDE). Cuando se trata de fotografías aéreas, la restitución fotogramétrica corrige las deformaciones relativas a la perspectiva cónica fotográfica, las cuales no soluciona el procedimiento anterior. En nuestros días, el proceso de restitución ha pasado de ser análogo a analítico y, finalmente, totalmente digital (Ojeda 2000).

Una vez que la información ha sido colectada por fuentes dispares y asimilada en una sola base de datos de un sistema de información, todas las características van hacia ésta, como un grupo de coordenadas individuales que son relacionales a cualquier otro, a través de una retícula de posicionamiento geográfico común. Sin embargo, no toda esta información es recopilada con el mismo grado de precisión. Por ello, un mapa resulta tan confiable como su capa de información menos precisa (Falkner, 1995). Bajo estos términos, las fotografías aéreas manejadas en este trabajo, se manejan a escala 1: 70 000 (escala del vuelo menos preciso).

De acuerdo con Dolan *et al.* (1991), el primer paso para calcular tasas de cambio en líneas de costa, es medir la posición de éstas lo más exacto posible, ya que todos los métodos usados para calcular estos cambios, implican la medición de las diferencias entre las posiciones de las líneas de costa, a través del paso del tiempo, y estos valores son expresados en términos de la distancia de cambio por año. Existen, además, diversos métodos para calcular las tendencias.

El mismo autor señala que el método más simple, denominado *tasa de punto final*, utiliza solo dos posiciones de la línea costera. Es un cálculo sencillo de la

distancia del movimiento total de la línea costera, dividido entre el tiempo transcurrido entre cada una. Su principal ventaja es la facilidad de cálculo y su uso generalizado; mientras que su principal desventaja es que en algunos casos, los datos disponibles que registran los cambios en la línea de costa, no son usados en el análisis de su dinámica y al usar solamente datos de dos líneas, la presencia de datos espurios pueden tener una fuerte influencia en los resultados.

Otra opción es el método de *promedio de tasas*, mediante el cual son calculados distintos valores de la *tasa de punto final*, cuando están disponibles más de dos posiciones de la línea de costa. Para esto existe una ecuación que incorpora la exactitud de los datos de la posición de la línea costera y la magnitud de la tasa de cambio a determinar, si alguna tasa de punto final cumple con un criterio de tiempo mínimo (T_{\min}):

$$T_{\min} = \sqrt{\frac{(E_1)^2 + (E_2)^2}{R_1}}$$

Donde, E_1 y E_2 son los errores de medición en el primero y el segundo punto respectivamente y R_1 es el valor de la tasa de punto final con el mayor intervalo de tiempo para un transecto, en particular. Todos los valores de *tasa de punto final*, que cumplen con los requerimientos de lapso de tiempo mínimo, son considerados tasas de largo plazo, las cuales son promediadas para proporcionar una estimación más confiable de la tasa de cambio de la línea costera.

Una de las ventajas que ofrece este método es que todas las *tasas de punto final*, que cumplen con el criterio de la ecuación de mínimo de tiempo, son usadas. Además, este método es sensible a los cambios sustanciales en los datos y tendencias de la variabilidad; mientras que las principales desventajas del método son, en primer lugar, que no hay una norma de cálculo para modelar la ecuación de lapso de tiempo mínimo y, por otra parte, los resultados son sensibles a la elección de valores escogidos para representar los errores medidos (E_1 y E_2).

Otro enfoque es el cálculo de la línea que mejor coincida, usando el método de mínimos cuadrados, a través de toda la línea de costa muestreada; para eso se usa la *regresión lineal*, que es netamente computacional, está basada en conceptos estadísticos aceptados y es fácil de emplear. Sin embargo, uno de los principales

problemas de este método es que cuando las posiciones de la línea de costa están agrupadas, algunas fechas tendrán más influencia en la regresión que otras.

Finalmente, este autor menciona el método *jackknifing*, que es una adaptación de la *regresión lineal*, que usa todas las combinaciones posibles de regresión lineal dadas por la omisión de un punto en cada iteración. Las pendientes de cada regresión lineal son promediadas para dar un estimado de la tendencia a largo plazo.

Dicho método provee valores cuantitativos para la variabilidad de datos y reduce la influencia de datos extremos. Entre sus principales desventajas se encuentra la cantidad de datos a computar y la duda de los valores estadísticos adicionados, cuando se usa un número pequeño de datos de puntos de líneas costeras.

Por otra parte, un trabajo más reciente es el de Moore (2000), quien menciona que las tasas de erosión podrán ser tan exactas como los datos de los cuales son derivadas y los métodos mediante los cuales son calculados. En este orden, menciona que algunos de los errores potenciales, en cuanto a las fuentes de datos son:

- **Mapas históricos:** La precisión de los levantamientos antiguos estaba limitada por la calidad de los métodos de control terrestre disponibles en esa época. De igual manera, influyen los desplazamientos de las posiciones de los rasgos resultantes de los cambios en el *datum* de referencia horizontal. Finalmente, el encogimiento, expansión y otros defectos del papel de los mapas, también agrega error al análisis de la línea costera en ellos.
- **Fotografías aéreas:** En este caso no pueden ser hechas mediciones exactas en fotografías aéreas verticales sin corregir, debido a las múltiples distorsiones y desplazamientos que son introducidos en las diferentes etapas del proceso fotográfico.
- **Distorsiones de imágenes satelitales:** Las perturbaciones en estas imágenes son el resultado de la distorsión del lente y la deformación de la película.
- **Desplazamientos de los objetos en el espacio:** Algunas condiciones como el relieve del terreno, la inclinación de la cámara y la refracción atmosférica ocasionan, que los objetos que están por encima del nivel del terreno, sean desplazados de su posición en el terreno.

Mientras que entre los errores potenciales de medición, se encuentran los siguientes:

- **Interpretación:** La línea entre la arena húmeda y la arena seca puede ser vista claramente en las fotografías aéreas como un cambio significativo de tonalidad. Sin embargo, hay muchos errores asociados a esto.
- **Anotación:** Hay errores que surgen debido a la dificultad de medir una sola línea en la fotografía. Su magnitud variará de acuerdo con la técnica de mapeo utilizada.

Actualmente, existen numerosos métodos para estudiar los cambios en la línea de costa, uno de ellos es el cartográfico histórico comparativo. Para este método es necesario recopilar cartografía planimétrica de distintos años del área de estudio, para posteriormente digitalizarlas y así poder hacer compatibles los datums de referencia que se emplearon en las proyecciones de dichas cartas y de esta manera, comparar la posición de la línea de costa a lo largo de los años y así determinar la morfodinámica costera.

Un caso en el cual se empleó esta metodología es el análisis morfodinámico de la línea de costa de Tabasco, realizado por Hernández-Santana *et al.* (2008), donde se utilizó información de 6 ediciones de 7 cartas de INEGI.

1.2.2. Experiencias internacionales y nacionales en estudios morfodinámicos de la línea costera.

Alonso *et al.* (2007) realizaron un estudio de la morfodinámica del tramo costero conocido como Sotavento, ubicado en Fuerteventura, España, durante el período de 1963 a 2002, para lo cual se utilizaron fotografías aéreas de dicha zona, correspondientes a los años 1963, 1975, 1987, 1996 y 2002.

Las fotografías de las tres primeras fechas estaban impresas, por lo que fueron escaneadas con una resolución de 600 dpi. y se georreferenciaron, usando el paquete informático ILWIS 3.2, seleccionando puntos de control repartidos lo más homogéneamente posible en el ortofotomapa del año 2002; mientras que las

fotografías de 1996 y 2002 fueron adquiridas en formato digital, ya georreferenciadas. Posteriormente, fueron trabajadas en ArcView v. 3.2.

En este caso, se tomó como línea de control, el punto medio de la barrera litoral, argumentando que así se reduciría la incertidumbre que habría, en caso de tomar la línea de la orilla de la costa, que cambiaría de acuerdo a la marea.

Una vez realizado el estudio, se concluyó indicando que las playas de Sotavento presentan un importante desequilibrio en su balance sedimentario, que se traduce en la erosión de la costa, en particular, patente en su extremo septentrional (que no recibe ningún tipo de aporte de aguas arriba). Esto da origen a la pérdida de más de 1 000 m de longitud de playa y una tasa media de retroceso de aproximadamente 6.4 m/año. Mientras que en la zona central prácticamente no se presenta retroceso y en la zona meridional hay tasas bajas, de apenas 1 m/año.

Un caso similar, es el de Domínguez *et al.* (2004), quienes realizaron un estudio en playas españolas, donde su área de estudio comprendía 24 km de litoral, entre Sanlúcar de Barrameda y Rota (localidades ubicadas en la orilla sur del estuario del Río Guadalquivir y al norte de la Bahía de Cádiz, respectivamente). Para lo cual se utilizaron fotografías aéreas de los años 1956/57, 1977, 1984, 1989/90, 1992, 1994 y 2001.

En este caso, primeramente se efectuó un reconocimiento detallado de las características geomorfológicas del terreno, mediante fotointerpretación y observaciones de campo. Posterior a esto, se trazaron líneas rectas perpendiculares a la línea de costa, utilizando puntos de referencia fijos ubicados en tierra, tales como, cruces de caminos, edificios, etc., que fueran reconocibles en todas las fotografías. Sobre estos transectos se midieron las distancias que separan la línea de costa de los puntos de referencia; esto mediante la utilización de un estereoscopio de prismas, con un sistema de zoom incorporado y una resolución de 0.01 mm sobre la fotografía.

De acuerdo con el método de Moore (2000), se identificó la línea de costa con el borde de acantilado o, en su caso, el pie de la duna, para evitar así los posibles errores introducidos por las fluctuaciones de las mareas. En este caso, para el cálculo de errores, producidos por las características específicas de cada vuelo, se realizó una serie de mediciones iterativas de distancias entre elementos fijos, presentes en todos

los vuelos y en la carta topográfica correspondiente, que sirvió como documento de referencia, al cual se le asignó un error relativo cero.

El porcentaje de error resultante en cada vuelo, fue trasladado a sus distancias de avance/retroceso correspondientes, las cuales fueron referenciadas previamente con respecto al año 1956, cuyas medidas se consideraron como *distancia cero* en todos los transectos.

Los resultados obtenidos mostraron variaciones significativas en la tendencia del litoral, tanto en el tiempo como en el espacio. En esta zona se presentan áreas con un intenso y creciente uso urbanístico y turístico, mientras que otras tienen una ocupación urbana más dispersa, o bien un uso agrícola; pero en cualquier caso, se trata de actividades y asentamientos muy próximos a la costa, que pueden verse afectados muy próximamente por el retroceso costero.

Por otra parte, entre las experiencias nacionales, podemos mencionar el estudio citado anteriormente de Hernández Santana *et al.* (2008) sobre la zona costera del estado de Tabasco, México; localizada en la meso-región Sur-Sureste del país. Para dicha evaluación, primeramente se digitalizó la información planimétrica del lugar, que fue compatibilizada y procesada utilizando los paquetes informáticos ILWIS versión 3.0 Academic y ArcView versión 3.0, en orden de obtener los datos vectoriales de la línea de costa de cada período.

De esta manera, se observaron los cambios ocurridos mediante la comparación de dichos vectores. Además, en el caso del poblado Sánchez Magallanes, se realizó un levantamiento topográfico con ayuda de un GPS y de cintas métricas, lo cual permitió tener otra referencia en ese sector costero tan altamente dinámico.

La captura digital de este último análisis fue realizada con el paquete informático ILWIS 3.0 y, posteriormente, en ArcView 3.0 se hizo el análisis comparativo de las posiciones y distancias entre las líneas de costa de los diferentes períodos de tiempo, mediante el trazado de transectos perpendiculares a ellas, con un espaciamiento de 5 km entre los mismos.

Los resultados obtenidos en este trabajo revelaron cifras alarmantes de retroceso costero en diverso sectores, donde en algunos casos, se presentan retrocesos costeros máximos, que van de 9 a 11 m/año; otros con carácter intermedio

de entre 4 y 7 m/año y en los casos de erosión más débil, entre 0.7 y 2.5 m/año. De igual manera, las tasas de acreción alcanzaron gradientes notables, donde los máximos van de 8.3 a 12 m/año; las intermedias van de 2 a 5.7 m/año y las más débiles, se encuentran en el orden de 1.5 a 1.9 m/año.

I.2.3. Antecedentes de investigaciones morfodinámicas en el área de estudio.

Los estudios más recientes, en cuanto a cambios en la línea costera del área de estudio, fueron realizados por Montaña y colaboradores, desde la segunda mitad de los 80 y principio de los 90, aplicando diversos enfoques.

Entre otros aspectos, Montaña-Ley y Peraza-Vizcarra (1986) evaluaron el transporte litoral de arenas, mediante la aplicación de un modelo predictivo, en dos playas de la costa sur de Sinaloa, ubicadas una a 30 km al NE y otra 25 km al SE del puerto de Mazatlán (Fig. 9). Para ello, se emplearon datos del período comprendido entre 1963 y 1979, aplicando un modelo utilizado por Komar e Inman (1970) y posteriormente, se efectuó la conversión descrita en el Shore Protection Manual (U.S. Army Corps of Engineers, 1973).

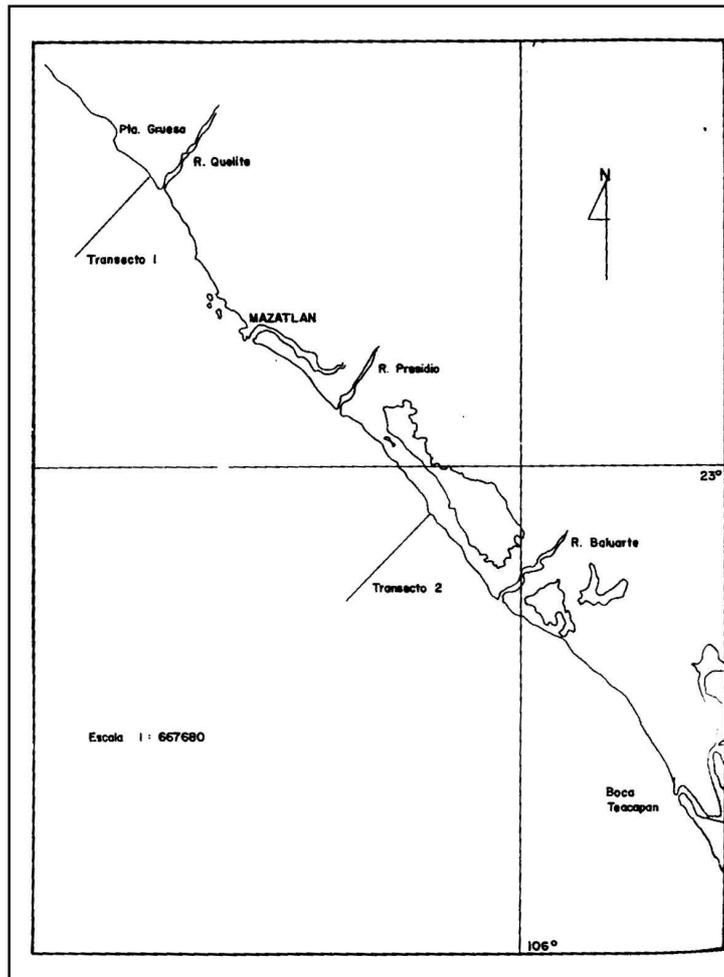


Fig.9. Ubicación de perfiles en el estudio de Montaño 1986. Fuente: Montaño y Peraza (1986).

El transporte neto de arenas, evaluado en el área correspondiente al transecto 1, fue de 53 700 $\text{yd}^3/\text{año}$, mientras que en el área del transecto 2 fue de 234 700 $\text{yd}^3/\text{año}$. Se considera que la diferencia es debida principalmente a la variación en la orientación de la línea de costa y a los cambios topográficos del fondo, lo cual determina los ángulos de incidencia del oleaje y los valores de los coeficientes de fricción respectivamente. Además, se determinó que el transporte predominante fue hacia el norte en el transecto I y hacia el sur en el II y en ambos casos, se presentaron inversiones en la dirección del movimiento de las arenas, asociadas a los cambios en el régimen de oleaje.

Posteriormente, Montaño-Ley y Gutiérrez-Estrada (1987) publicaron otro estudio en las playas, mediante el control de perfiles de playa (Fig. 10), el cual incluyó la medición de líneas de perfiles a intervalos mensuales desde septiembre de 1984 hasta enero de 1985. Como complemento se registraron condiciones de oleaje y se analizaron muestras de sedimentos.

Dicha investigación se realizó en la porción litoral, entre Punta Camarón ($23^{\circ}14.2' N$ y $106^{\circ}27.1' W$) y Punta Cerritos ($23^{\circ}18.4' N$ y $106^{\circ}29.6' W$), a lo largo del cual se establecieron 9 estaciones sobre las que se llevaron a cabo seccionamientos normales a la línea de costa, realizando mediciones por nivelación, utilizando nivel fijo, cinta y estadal (Fig. 11). Se colectaron muestras de arena a lo largo de dichos perfiles (berma, cara de la playa y zona de derrame) y, en el laboratorio, se utilizó el método mecánico de tamices para determinar la distribución de medidas de las partículas (medias) de la muestra.

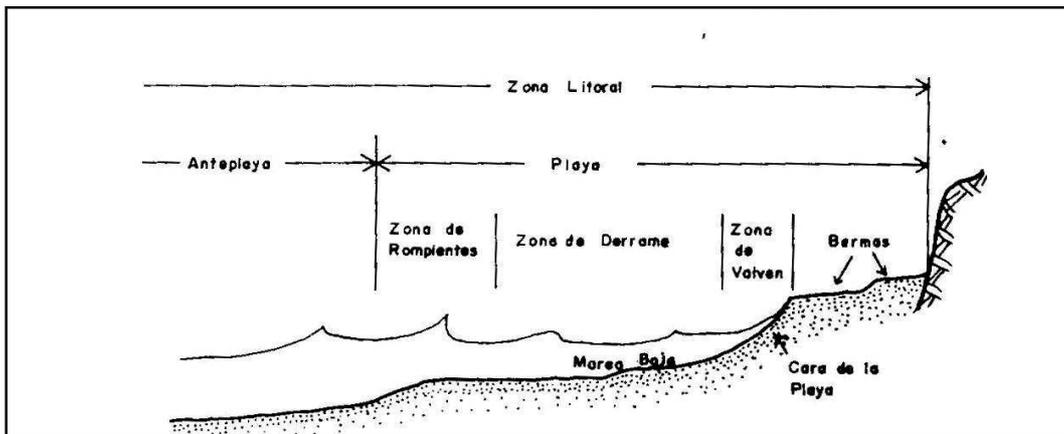


Fig. 10. Nomenclatura en un perfil de playa. Fuente: Montaño y Gutiérrez (1987).

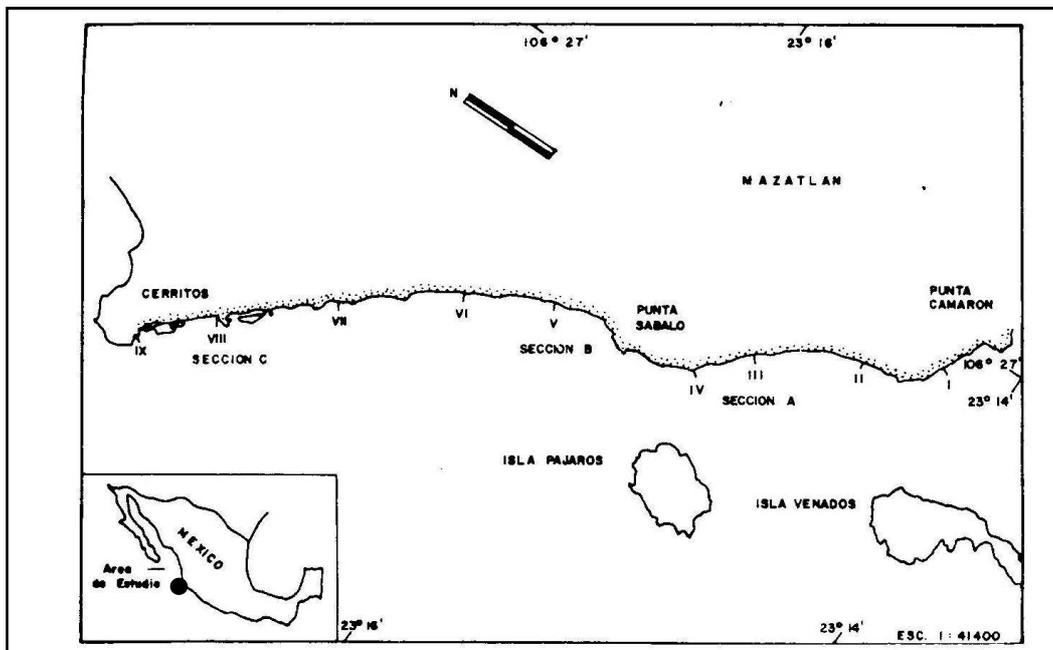


Fig. 11. Localización de área de estudio y perfiles de playa de Montaño 1987 y 1988. Fuente: Montaño y Gutiérrez (1988).

En los meses de septiembre y noviembre de 1984 y enero de 1985, se efectuaron observaciones del oleaje, determinando alturas y períodos promedios de olas en la zona de rompientes, con mediciones utilizando el método Gorsline (1966).

La mayoría de los perfiles de estudio carecían de duna o ésta era incipiente. Los cambios volumétricos de arena más significativos se presentaron abruptamente de septiembre a octubre (período normalmente caracterizado por condiciones severas de oleaje). La erosión máxima registrada fue de 15.7 m^3 por metro de longitud de playa y se ubicó en el perfil I (el más cercano a Punta Camarón), mientras que la mayor acreción fue de 15.2 m^3 por metro de longitud, ocurrida en el perfil VIII (ubicado a unos metros de Punta Cerritos).

Posterior a este estudio, se realizó otra investigación (Montaño-Ley *et al.*, 1988) en la misma área de estudio y con la misma ubicación de perfiles que el anterior (como continuación del mismo), realizándose esta vez, las mediciones mensualmente de febrero a junio de 1985 que evaluaron los cambios mensuales en los niveles de arena y tasas de erosión. Esta vez se aplicó el método de funciones empíricas de Eigen en tres de los perfiles, en orden de analizar su variabilidad.

Como resultado, se obtuvo un máximo cambio de 45 cm en niveles de arena y la mayor tasa de erosión fue de 8.5 m^3 por metro de longitud de playa. Los porcentajes más elevados de variación en la configuración de los perfiles de playa fueron los correspondientes a los 3 mayores valores de Eigen.

I.2.4. Materiales y métodos empleados.

Una de las principales tareas para el estudio morfodinámico de las costas marinas acumulativas consiste en el cálculo morfométrico de los morfoelementos constitutivos de su microrrelieve (berma, dunas embrionarias, cadenas de dunas principales y secundarias), para ello, se emplean métodos simples de nivelación, en el caso de perfiles poco desarrollados, y de nivelación geodésica de mayor precisión, para el caso de amplias planicies acumulativas marinas. Dadas las condiciones de las playas estudiadas en Mazatlán, se empleó el método de nivelación simple de su microrrelieve, mediante el empleo de un clinómetro y de una cinta métrica.

Para la selección de los sectores representativos de la estructura y la morfología de dichas playas, se realizó un recorrido marítimo en una lancha del

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, Unidad Mazatlán. Este recorrido abarcó, desde la desembocadura de Río Presidio hasta Punta Cerritos, y permitió distinguir tres estados principales de conservación y modificación costera: natural, moderadamente antropizado y antropizado.

Una vez seleccionadas las zonas más representativas de cada sector costero, se realizó el levantamiento topográfico, desde el litoral hasta un punto posterior a la cadena de la duna principal, el cual fue georreferenciado, utilizando un GPS Garmin Modelo Etrex.

En total, se midieron 13 perfiles, distribuidos de la manera siguiente: para el sector I (Punta Cerritos-El Sábalo), ubicado en el norte de la zona de estudio, se hicieron cinco mediciones de perfiles (Fig. 12). En el sector II (El Sábalo-Punta Camarón) se tomaron tres nivelaciones del perfil de playa; en el sector III (Punta Camarón-Punta Tiburón) se midieron tres perfiles de playa, desde el límite de la marea baja en el litoral y hasta el muro del malecón; y para el sector IV (Isla de la Piedra-Río Presidio) se realizaron dos nivelaciones de su perfil estructuro-morfológico.

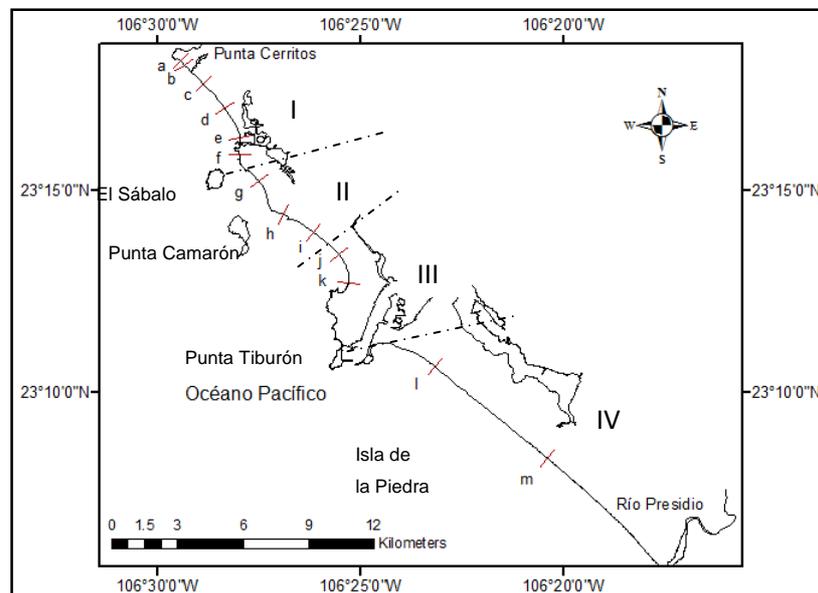


Fig. 12. Ubicación de los perfiles geomorfológicos, realizados en febrero de 2009. I. Sector Punta Cerritos-El Sábalo; II. Sector El Sábalo-Punta Camarón; III. Sector Punta Camarón-Punta Tiburón; IV. Sector Isla de la Piedra-Río Presidio.

Partiendo de los criterios de clasificación morfogenética del relieve (Verstappen y van Zuidam, 1968, 1991; Gustavsson *et al.*, 2006; Hernández Santana *et al.*, 2007) y

de las peculiaridades geomorfológicas generales del sector costero entre Punta Cerritos, al Noroeste, y la desembocadura del Río Presidio, al Sureste, se proponen los niveles jerárquicos siguientes, para la clasificación geomorfológica de su relieve:

1. *Categorías básicas del relieve*, determinadas por las diferencias en la amplitud e intensidad de los movimientos neotectónicos (N-Q), expresadas, en este caso, en escalones morfoestructurales de lomeríos y sistemas de planicies;

2. *Piso altitudinal (m) de las subcategorías del relieve* (lomeríos medianos y pequeños; y planicies bajas y muy bajas);

3. *Tipo morfogenético específico del relieve*, según su morfología, morfometría y proceso genético de formación, con indicaciones sobre su substrato geológico, así como su edad relativa;

4. *Complejo genético de formas del relieve* (tectónicas, marinas, erosivas, denudativas, fluviales, eólicas, antropogénicas y otras), mediante símbolos areales, lineales y puntuales.

Todo lo anterior de acuerdo con la convención internacional (Verstappen y van Zuidam, 1991; Gustavsson *et al.*, 2006).

Por otra parte, en el análisis comparativo se trabajó con tres fechas diferentes del período 1977-2006; para las dos más antiguas se utilizaron fotografías aéreas. De la primera, correspondiente al vuelo realizado por DETENAL, en octubre de 1977, se emplearon tres fotografías, a escala 1: 50 000, cubriendo la mayor parte del área de estudio, con excepción del área más cercana a la desembocadura del Río Presidio, área que no estuvo cubierta por el vuelo. La fecha intermedia fue el año 1991 y se trabajó con tres fotografías, a escala 1:75 000, del vuelo que realizó INEGI en mayo de dicho año. En el caso de 2006, se emplearon imágenes satelitales de alta resolución, tomadas del programa Google Earth, que maneja imágenes captadas por el satélite Quickbird, con alta resolución (2.5 m) y que son de libre acceso. El proceso se realizó sobre las imágenes desplegadas en proyección geográfica UTM y datum WGS84.

En primer lugar, se escanearon las fotografías para manejarlas en el SIG ArcGIS, versión 9.2, y se corrigieron geográficamente para que todo el material en análisis se encontrara bajo la misma proyección y sistema de referencia, a fin de optimizar la comparación de las imágenes generadas. Para ello, se colocaron puntos de control distribuidos estratégicamente en cada una de ellas, para darles coordenadas conocidas, tomando como referencia las imágenes satelitales del año

2006. Se trató de que esta distribución fuera lo más homogénea posible, tomando en cuenta, que no en todas las fechas existen suficientes puntos fijos y que, al tratarse de costa, una parte considerable de la fotografía corresponde al medio marino.

Al mismo tiempo, se marcaron dichos puntos en la imagen de Google Earth y el archivo resultante, se convirtió a formato *shape* en el programa Global Mapper, permitiendo así calcular sus coordenadas en ArcGIS, donde también fueron cambiadas a proyección UTM con el datum NAD 27. Éstas fueron asignadas como referencia a los puntos de las fotografías y corregidas utilizando una ecuación polinomial de 2° orden, eliminando o adicionando puntos de control hasta reducir el error medio cuadrático (emc) a un nivel igual o inferior a un pixel (Tabla I.1), para después darles la proyección antes mencionada, correspondiente a la zona 13 N.

Año	No. Foto	No. puntos	Pixel (m)	emc	Error neto (m)
1977	004	7	1	0.35	0.35
	L24 - 021	7	1	0.77	0.77
	L25 - 002	7	1	0.35	0.35
1991	186	7	2	0.41	0.82
	148	7	2	0.72	1.44
	193	8	2	0.39	0.78
2006	Imagen Google Earth 1	7	1	0.41	0.41
	Imagen Google Earth 2	7	1	0.39	0.39
	Imagen Google Earth 3	7	1	0.65	0.65
	Imagen Google Earth 4	7	1	0.32	0.32
	Imagen Google Earth 5	7	1	0.57	0.57
	Imagen Google Earth 6	7	1	0.28	0.28
	Imagen Google Earth 7	7	1	0.55	0.55

Tabla I.1. Errores de la corrección geográfica de las fotografías e imágenes, las segundas aparecen numeradas (arbitrariamente, solo con fines de hacer referencia a ellas en esta tesis) en orden de Norte a Sur.

Sobre las fotografías corregidas y las imágenes satelitales, a mano alzada, se trazaron vectores siguiendo la división entre arena húmeda y seca, ya que debido a las escalas y calidad de las fotografías, así como la brillantez de las imágenes satelitales, no se pudieron distinguir rasgos como dunas, línea de la última marea alta o vegetación de las dunas (Fig. 13). El trazo sobre las fotografías se realizó en ArcGIS, mientras que el vector para las imágenes se hizo directamente en Google Earth y se exportó a ArcGIS en formato *.kmz



Fig. 13. Ejemplo de vector trazado sobre una fotografía aérea de 1977, en la playa de la Zona Dorada, Mazatlán (ubicado entre El Sábalo y Punta Camarón).

En orden de verificar que esta apreciación correspondiera a la realidad, en campo se tomaron coordenadas de algunos puntos, con un GPS Garmin, modelo Rino 120, donde se observó la diferencia de color en la arena, los cuales fueron comparados con el vector trazado para la fecha más reciente en Google Earth. Con esto se pudo comprobar que el trazo coincidía con la realidad y se asume que los demás también, ya que fueron trazados bajo el mismo criterio.

El vector correspondiente a 2006, en Global Mapper, fue convertido a formato *shape*, para poder trabajarlo en ArcGIS, donde se le asignó la misma proyección que a las fotografías aéreas. En este mismo software, se trazaron 35 líneas perpendiculares a la línea de costa más reciente, las cuales fueron utilizadas como transectos guía para medir los cambios ocurridos. Su distribución a lo largo de la costa fue solamente en playas arenosas, dando una distancia entre ellos de aproximadamente un kilómetro, a excepción de los casos donde se vieron cambios mayores y se colocaron a menor distancia de separación, como se muestra en la tabla I.3.

Perfiles	Distancia (km)
5-6	0.6
6-7	0.5

7-8	0.3
8-9	0.4
11-12	0.4
12-13	0.5
19-20	0.4
25-26	0.7

Tabla I.3. Distancia de separación (en kilómetros) de los perfiles con menores intervalos entre ellos.

Las mediciones se realizaron sobreponiendo, primero el vector de 1977 con el de 1991 y, después, el de 1991 con el de 2006. Sobre cada uno de los 35 transectos se midieron las distancias (en metros) que había entre cada vector, tomando como positivas las que mostraban acreción y como negativas las correspondientes a erosión. De esta manera, se pudo hacer una comparación entre esos dos períodos, para finalmente, mediante una suma de valores, calcular el cambio total entre 1977 y 2006.

Para la creación de un mapa final, se grabaron imágenes de Google Earth, correspondientes al área de estudio, a las que posteriormente se le asignaron coordenadas en NAD 27, siguiendo el mismo proceso que con las fotografías aéreas. Los errores de dichas imágenes se muestran en la Tabla I.1, donde se asignó un número a cada una, de acuerdo con su ubicación en orden de Norte a Sur.

CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO

II.1 Localización geográfica

El área de estudio corresponde a un segmento de la costa del municipio de Mazatlán, al sur de Sinaloa, y representa el 4.4% de la superficie de este Estado. Dicho municipio colinda, al norte, con el municipio de San Ignacio, el Estado de Durango y el municipio de Concordia; al sur, con el municipio de Rosario y el Océano Pacífico, y al oeste, con el Océano Pacífico y el municipio de San Ignacio (INEGI 2005).

Este segmento costero, se encuentra entre los 23°5' y 23°19' de latitud norte; y entre los 106°17' y los 106°30' de longitud oeste; teniendo una configuración alargada con una orientación NW-SE. En términos fisiográficos, forma parte de la provincia *Llanura Costera del Pacífico*, encontrándose específicamente en la subprovincia *Llanura Costera de Mazatlán*.

El área seleccionada para el estudio comprende la zona costera, desde Punta Cerritos hasta la desembocadura del Río Presidio, con una extensión litoral de aproximadamente 42 km, de los cuales se analizaron solamente los cambios morfodinámicos en las playas arenosas y se compararon los cambios que tuvieron los esteros ubicados dentro del área de estudio (Fig. II.1).

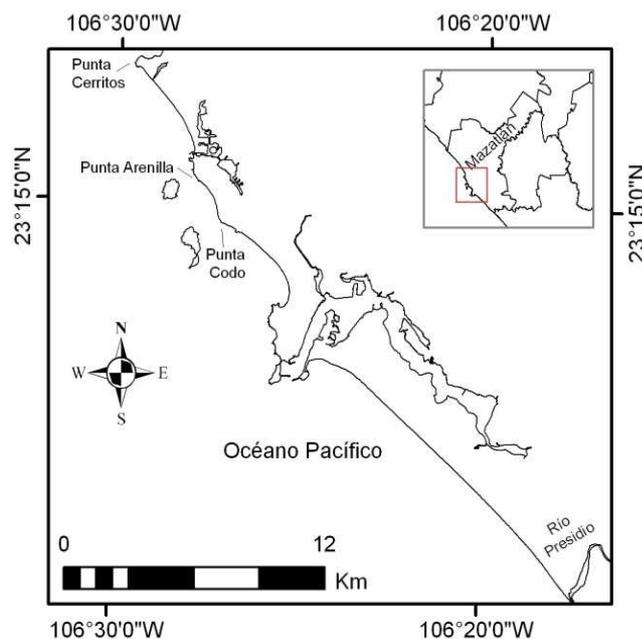
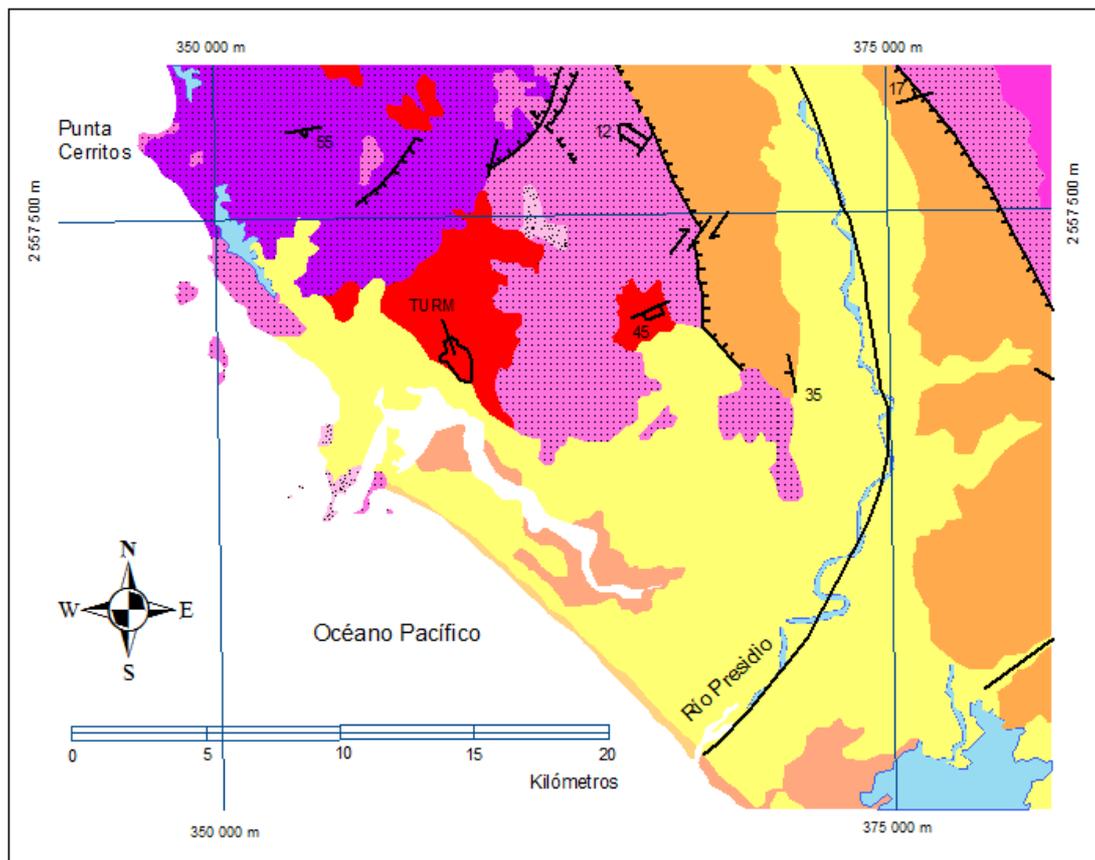


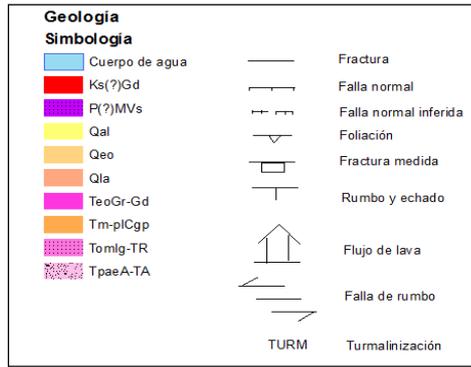
Fig. II.1. Ubicación del área de estudio.

II.2. Factores físico-geográficos.

II.2.1. Constitución geológica.

Cada sector de playa del área de estudio presenta diferente constitución geológica. Entre Punta Cerritos y El Sábalo, las rocas son principalmente metavolcánicas sedimentarias del Paleozoico (P (?), MVs), siendo únicamente diferentes las rocas de Punta Cerritos (Tomlg-TR); en el segundo sector, la litología es de ignimbrita-toba riolítica del Terciario (Tomlg-TR), desde El Sábalo hasta las playas de Punta Codo y solamente las playas de Punta Camarón son de aluvión del Cuaternario (Qal), al igual que las playas del sector Punta Camarón-Punta Tiburón. Del último sector, solamente las rocas de la punta de Isla de la Piedra son ignimbrita y tobas riolíticas (Tomlg-TR), mientras que el resto de las playas son de sedimentos lacustres del Cuaternario (Qla) (Figuras II.2, II.3 y II.4).





CUATERNARIO

Qal: Aluvión

Qeo: Eólico

Qla: Lacustre

TERCIARIO

Tm-plCgp: Conglomerado polimíctico

Tomlg-TR: Ignimbrita-Toba riolítica

PALEÓGENO

TpaeA-TA

PALEOZOICO

P(?)MVs: Metavolcánico sedimentaria

ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS

Ks(?)Gd: Granodiorita

TeoGr-Gd: Granito-granodiorita

Figura II.2. Mapa geológico del área de estudio, obtenido a partir de la digitalización de información contenida en la Carta Geológico-Minera F13-1, a escala 1: 250 000, del Servicio Geológico Mexicano (1999).

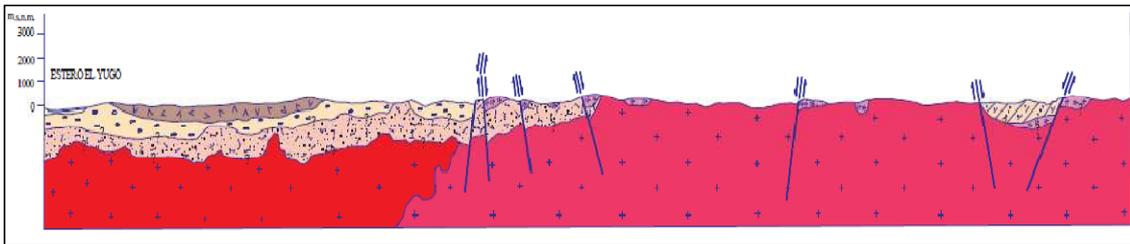


Figura II.3. Perfil geológico de la zona del Estero del Yugo. Fuente: Carta Geológico-Minera F13-1, a escala 1: 250 000, del Servicio Geológico Mexicano (1999).

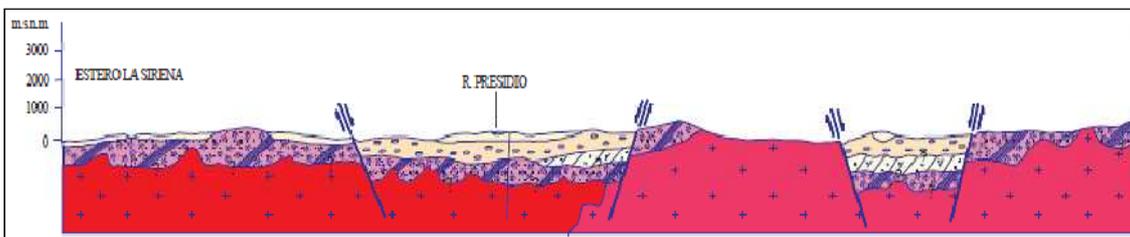


Figura II.4. Perfil geológico de la zona del Estero La Sirena y Río Presidio. Fuente: Carta Geológico-Minera F13-1, a escala 1: 250 000, del Servicio Geológico Mexicano (1999).

II.2.2. Condiciones geomorfológicas.

El área de estudio se encuentra en una zona de llanuras, en su gran mayoría, acumulativas, consolidadas durante el Pleistoceno superior y hasta el Holoceno, donde también existen lomeríos modelados durante el Pleistoceno medio al Holoceno, con alturas menores a los 70 m (Figura II.5).

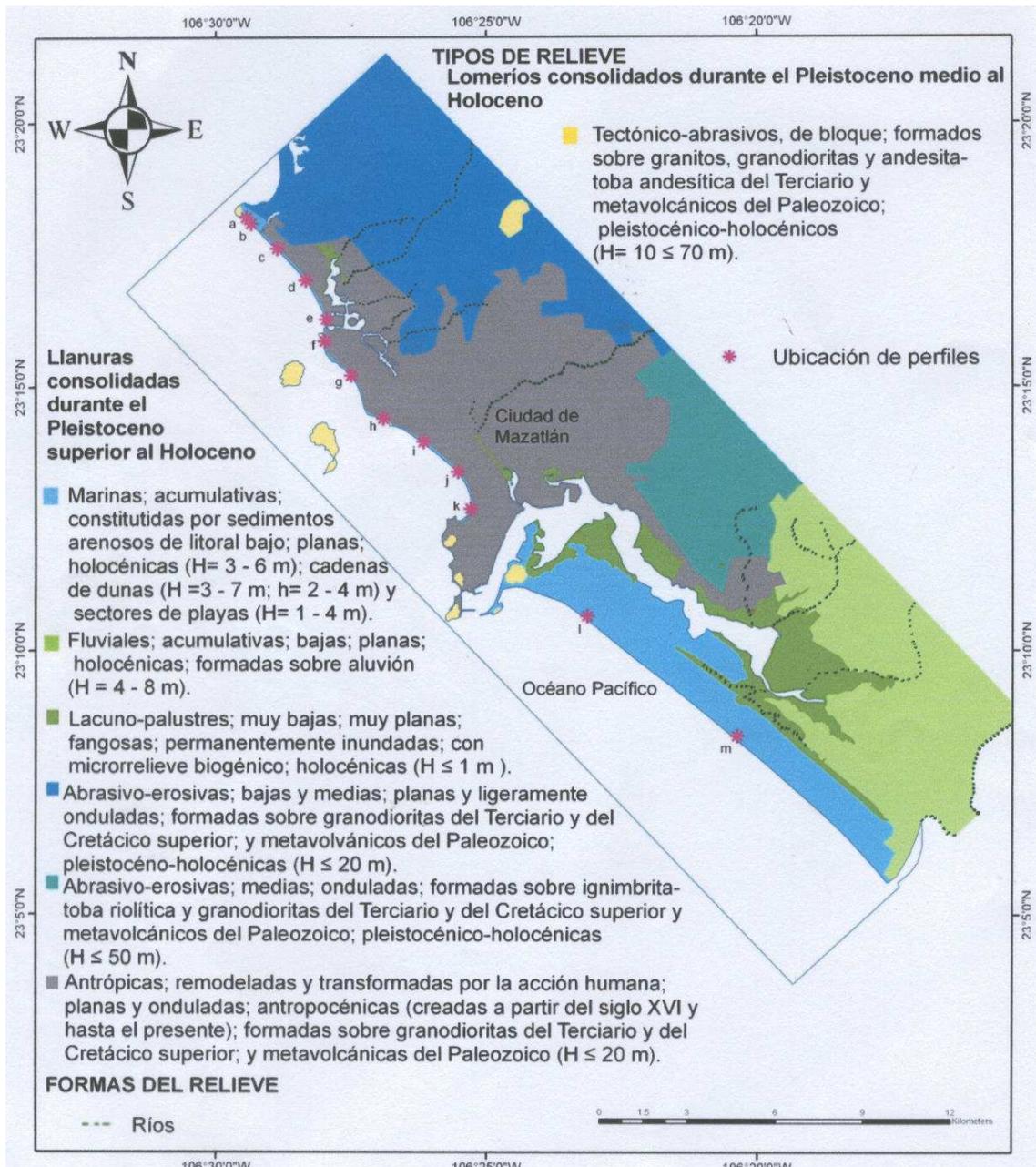


Figura II.5. Mapa geomorfológico del área de estudio.

La clasificación morfogenética del relieve, expresada en la Figura II.5, tomó en consideración la morfología, morfometría y edades relativas de las diferentes categorías geomorfológicas presentes en el área, en este caso lomeríos y planicies.

En las playas arenosas, se midieron 13 perfiles geomorfológicos (nombrados alfabéticamente en orden de norte a sur, Figura II.5), mediante los cuales, se determinó que las construcciones cercanas a la costa, como el malecón, las calles de acceso a la playa y los muros limítrofes de las parcelas hoteleras, han modificado fuertemente o destruido la cadena principal de dunas del perfil transversal de playa; mientras que en otros sectores, algunas modificaciones antrópicas han destruido la cadena de dunas embrionarias, en su mayoría aplanadas y emparejadas con la berma.

En el sector de playa Punta Cerritos-El Sábalo, se aprecian playas antropizadas, parcial y moderadamente, mientras que el área circundante al Sábalo, se encuentra bajo la influencia de las escolleras de entrada al canal de navegación de la Marina Mazatlán, las cuales influyen en los procesos de acumulación y erosión a lo largo de la playa.

En el primer perfil (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 18.22'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ} 29.42'$, de Longitud Oeste), ubicado a unos metros al SE de Punta Cerritos, se observó un estado moderadamente antropizado en la estructura morfológica de la playa. El perfil transversal fue trazado a partir del muro norte de una construcción y tuvo una longitud de 64.9 m, con altura de 3.2 m de la duna principal y 2.92 m de la berma. (Figuras II.6 y II.7).

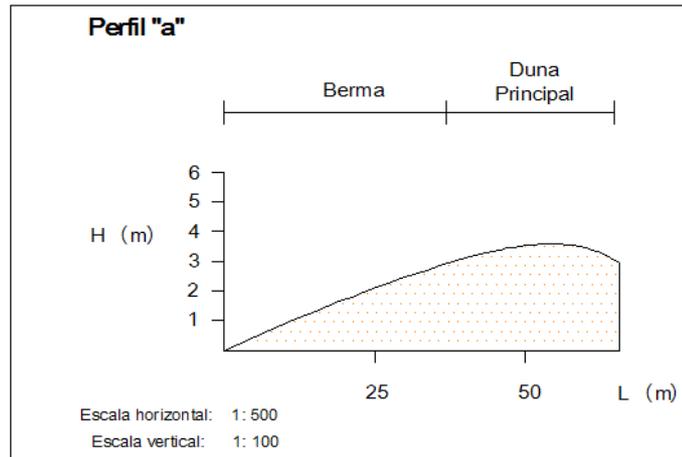


Figura II.6. Esquema del perfil morfológico de playa "a".



Figura II.7. Perfil morfológico de playa "a" (tomada en dirección SE-NW). Obsérvese la berma y la duna principal, cubierta aun por vegetación original.

El perfil "b" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 18.11'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ} 29.31'$, de Longitud Oeste), fue medido frente a la construcción del Hotel Riu, a partir del muro lateral septentrional de éste. Dicho proyecto constructivo, a sotavento de la duna principal y a 30 m aproximadamente tierra adentro, satisface las normas internacionales de prevención ante la erosión de playas. En los decretos jurídicos sobre la zona costera de diversos países, como la República de Cuba, esta disposición incluso propone la construcción de infraestructuras a 40 m tierra adentro, a partir del borde interior de la última cadena de dunas, con el propósito de no perturbar la dinámica del perfil transversal de la playa (Hernández-Santana, *comun. pers.*). La longitud de la berma en este perfil fue de 56 m, con una altura de 3.6 m; mientras que

la altura de la duna principal fue de 4.73 m. La longitud total del perfil transversal de la playa fue de 68.8 m y no se observaron dunas embrionarias (Figuras II.8 y II.9).

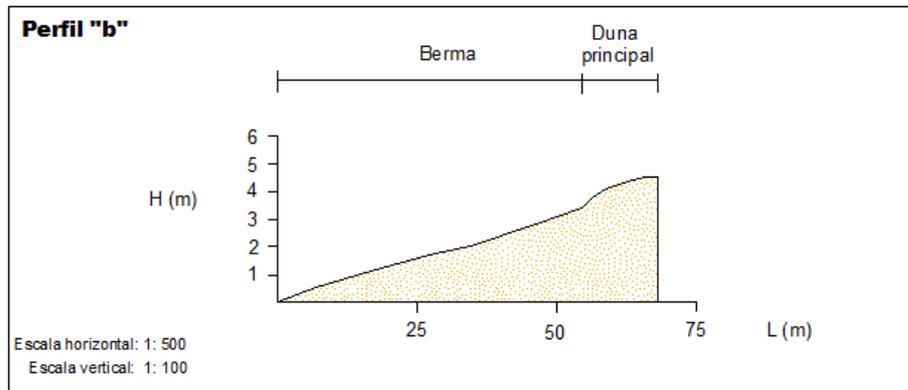


Figura II.8. Esquema del perfil morfológico de playa "b".



Figura II.9. Perfil morfológico de playa "b" (tomada en dirección SE-NW).

En el perfil "c" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 17.64'$, de latitud Norte, y $106^{\circ} 28.86'$ de Longitud Oeste), la playa alcanzó una longitud total de 57.2 m, correspondiendo 32.7 m a la berma, cuya altura fue de 2.48 m; mientras que la duna principal presenta 6.78 m. El perfil transversal fue medido en una parcela en estado natural, donde se encontraba un edificio en proceso de construcción, teniendo un estado moderadamente antropizado (Figuras II.10 y II.11).

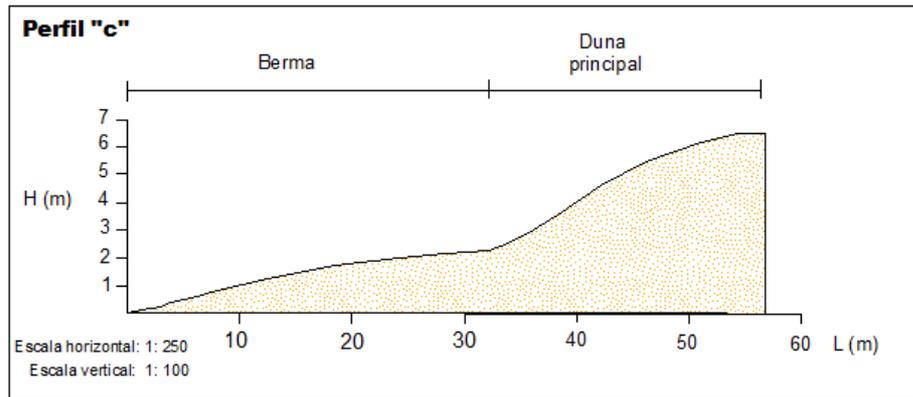


Figura II.10. Esquema del perfil morfológico de playa "c".

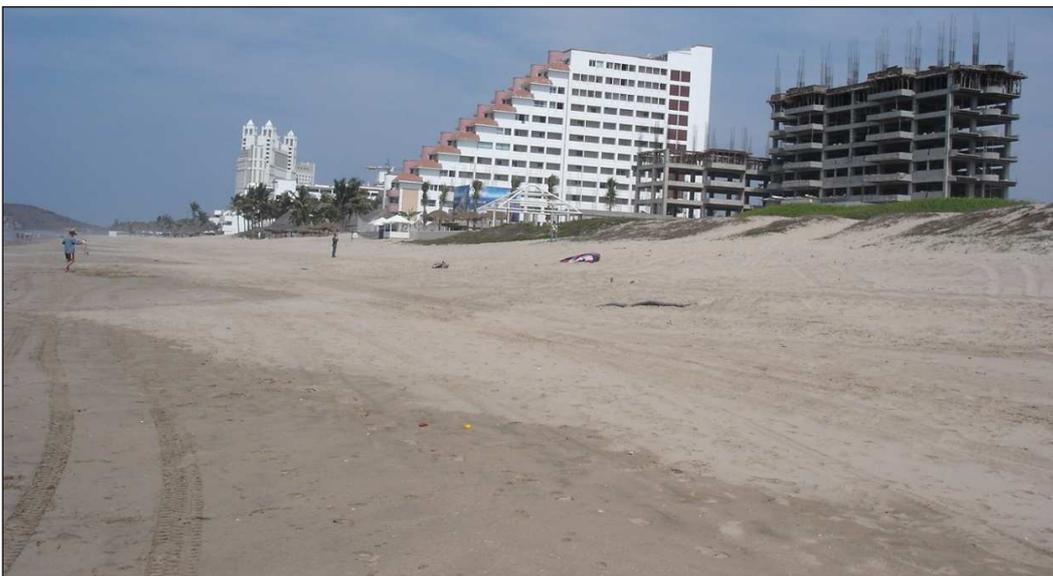


Figura II.11. Perfil morfológico de playa "c" (tomada en dirección SE-NW). Al igual que en el perfil "b" del Hotel Riu, aquí se han respetado las normas de no construcción a barlovento de la duna principal, aunque hubiese sido más óptimo, construir la infraestructura alguna distancia más al interior.

La playa donde se ubica el perfil "d" (Coordenadas geográficas: 23° 17.03', de Latitud Norte, y 106° 28.24', de Longitud oeste), presenta un escalón erosivo activo de 0.99 m. El largo de la berma es de 19.3 m y su altura de 1.67 m, mientras que la duna embrionaria se encontró con un ancho de 3.90 m y un altura de 2.66 m, pero en un estado muy modificado. Este perfil fue trazado cerca de la calle López Portillo, en donde las playas se encuentran en estado antropizado, por lo que se empezó a medir a partir del muro de una edificación (Figuras II.12 y II.13), que evidentemente perturba la dinámica acumulativa costera. Estos son los ejemplos de un uso inadecuado del perfil de playa, que con el tiempo perjudican no solo la amplitud y desarrollo de la playa, sino además, la estabilidad y garantía de vida útil de la propia construcción civil.

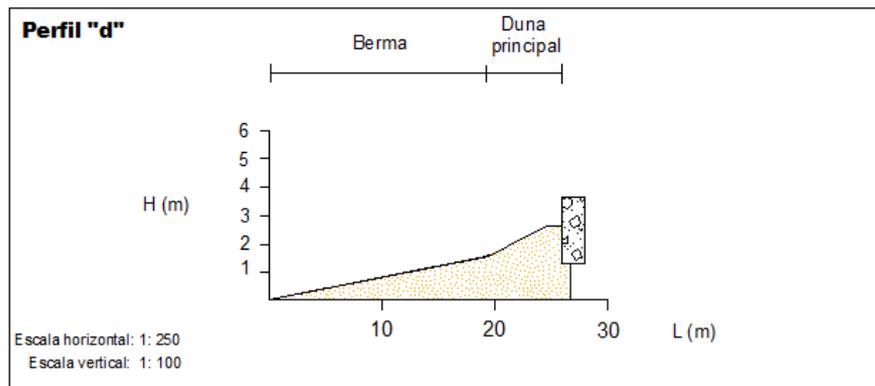


Figura II.12. Esquema del perfil morfológico de playa "d".



Figura 13. Perfil morfológico de playa "d" (tomada en dirección NW-SE). Obsérvese el escalón erosivo en la playa y su extensión a lo largo de la playa, con dirección SE, determinado por la ruptura del perfil transversal de playa, ocasionada por el muro de contención, al final de la calle López Portillo.

La playa septentrional a las escolleras de la Marina Mazatlán, donde se midió el perfil "e" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 16.30'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ} 27.97'$, de Longitud Oeste), presenta un estado muy antropizado. El perfil transversal fue trazado al pie del muro de una edificación, presentando una longitud total de 25.8 m, de los cuales 19.3 m corresponden a la berma y 3.9 m a la duna embrionaria, esta última se encuentra muy modificada y tiene una altura de 2.66 m, mientras que la altura de la berma es de 1.67 m. (Figuras II.14 y II.15). En la Figura II.15, se aprecia el total

aplanamiento de la playa y la resistencia que ofrecen los cimientos del edificio al pleno desarrollo morfodinámico de la playa.

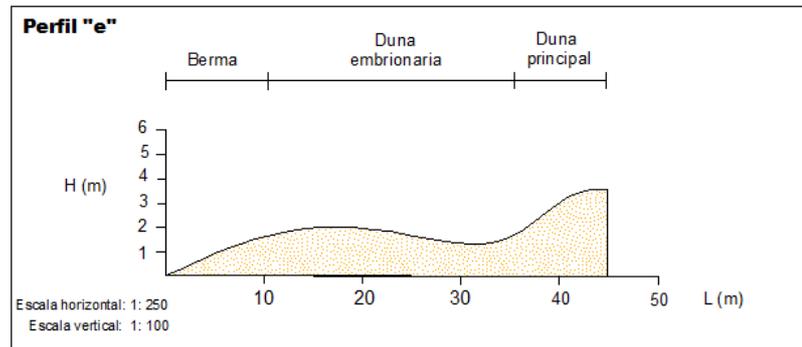


Figura II.14. Esquema del perfil morfológico de playa "e".



Figura II.15. Perfil morfológico de playa "e" (tomada en dirección NW-SE). La ruptura del perfil de equilibrio de la playa ha incidido en la formación de una pendiente algo pronunciada, tanto de la berma como del área sumergida contigua, que atestigua la existencia de un proceso erosivo de cierta intensidad.

En la parte meridional a dichas escolleras, se trazó el perfil "f" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 15.88'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ} 27.98'$, de Longitud Oeste), a partir de la escalera adjunta, al final de la calle de entrada al hotel Pueblo Bonito, donde se observó un estado fuertemente antropizado de la playa. La berma tuvo una longitud de 22 m y una altura de 1.67 m, siendo éstas las medidas totales del perfil, al no presentarse dunas embrionarias ni principales, las cuales fueron destruidas como parte del proceso de urbanización del sitio (Figuras II.16 y II.17).

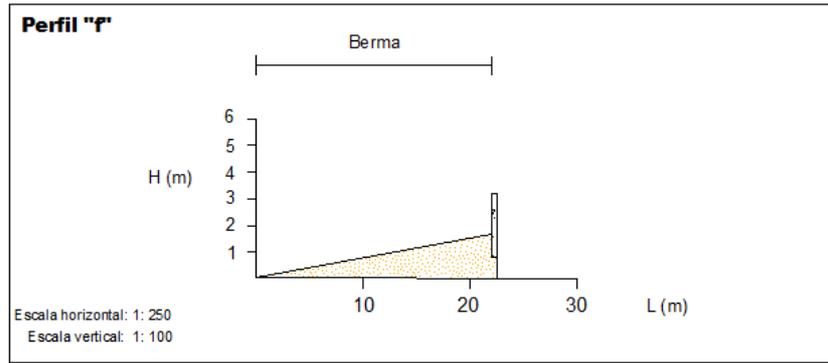


Figura II.16. Esquema del perfil morfológico de playa "f".



Figura II.17. Perfil morfológico de playa "f" (tomada en dirección SE-NW, frente al Hotel Pueblo Bonito, en su parte inmediata al litoral).

El perfil transversal "g" (Coordenadas geográficas: 23° 15.22', de Latitud Norte, y 106° 26.90', de Longitud Oeste) se trazó y midió en la playa ubicada entre los hoteles Islas del Sol y El Cid, con un estado también antropizado. De sus componentes, solo presentó berma, con un ancho de 32 m y una altura de 3.98 m (Figuras II.18 y II.19).

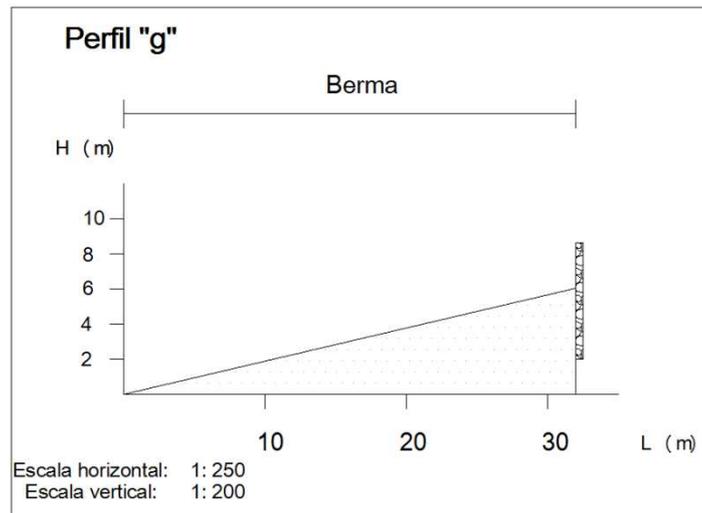


Figura II.18. Esquema del perfil morfológico de playa "g" (tomada en dirección SE-NW).



Figura II.19. Perfil morfológico de playa "g" (tomada en dirección SE-NW). Obsérvese la extensión de los muros de contención y cimientos de edificaciones, perturbando el desarrollo morfodinámico del litoral.

En el perfil "h" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 14.4 3'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ} 26.90'$, de Longitud oeste), la playa tiene una pendiente fuerte y un estado moderadamente antropizado. El ancho de la berma es de 17.3 m y la altura es de 1.19 m, su duna principal tiene 5.48 m de alto. La longitud total del perfil es de 56.5 m, este fue trazado hasta la proximidad de un muro del hotel Ramada (Figuras II.20 y II.21).

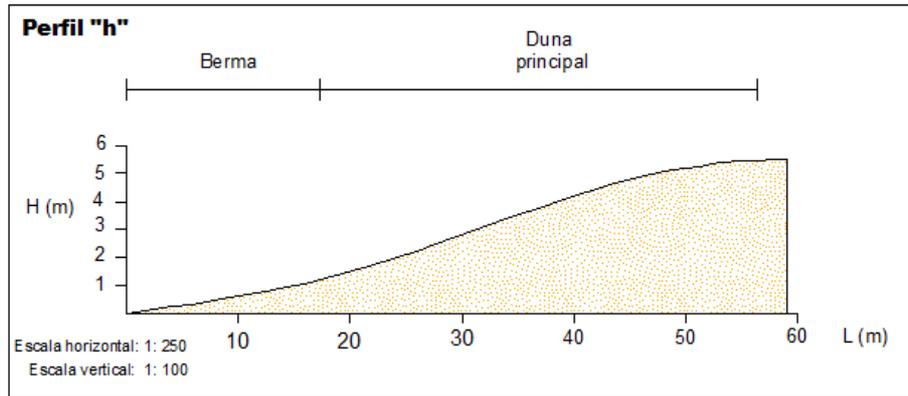


Figura II.20. Esquema del perfil morfológico de playa "h".

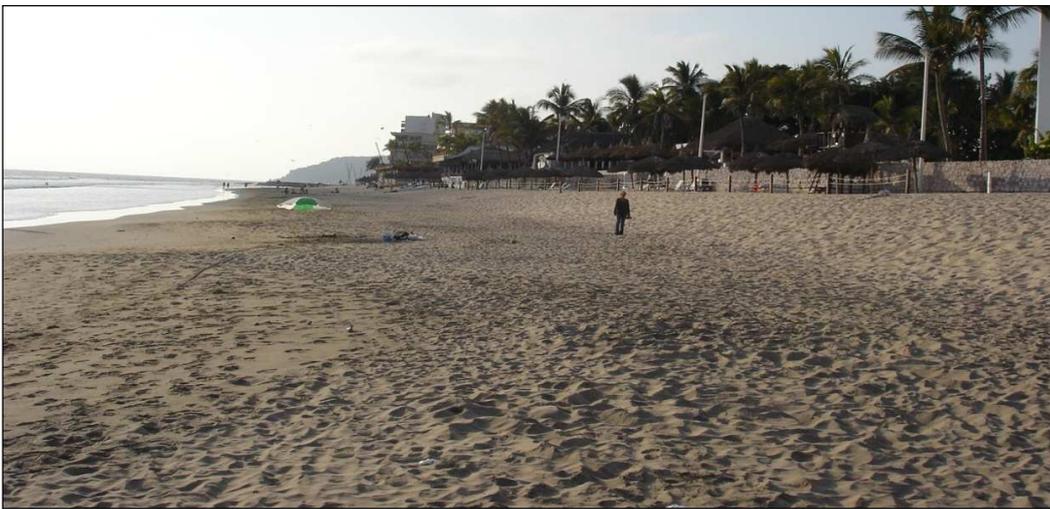


Figura II.21. Perfil morfológico de playa "h" (tomada en dirección SE-NW).

El sector de playas arenosas que se localiza a lo largo del malecón de la ciudad, entre Punta Camarón y Punta Tiburón, presenta una fuerte modificación antrópica, motivada por todo el proyecto constructivo del referido malecón y las edificaciones hoteleras y residenciales a lo largo del mismo, debido a estas alteraciones no existen dunas en esta zona o quizás estén sepultadas bajo el dique de la avenida del malecón.

A partir de la escalera de acceso a la playa, ubicada frente a la torre Las Gavias, se midió el perfil "i" (Coordenadas geográficas: 23° 13.97', de Latitud Norte, y 106° 36.17', de Longitud Oeste), que presenta un estado antropizado, con una longitud de la berma de 32.5 m de ancho, con una altura de 3.14 m (Figuras II.22 y II.23).

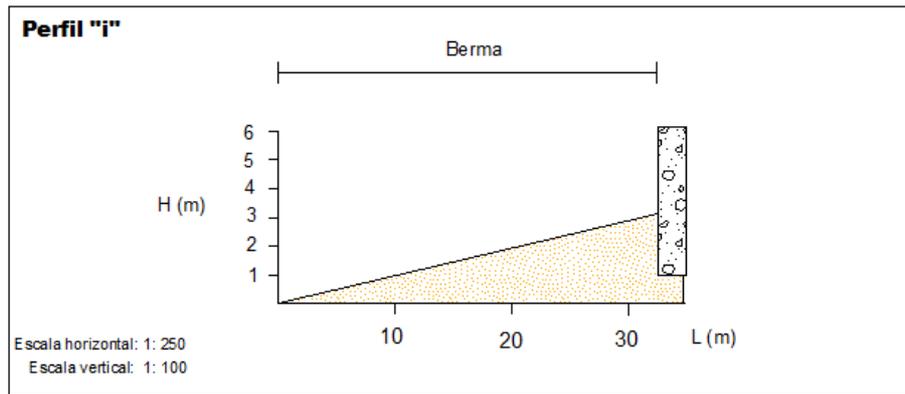


Figura II.22. Esquema del perfil morfológico de playa "i".



Figura II.23. Perfil morfométrico de playa "i" (tomada en dirección NW-SE). Observe la considerable transformación antrópica, debido a la construcción del dique sobre el que descansa la avenida del malecón mazatlenco.

El perfil "j" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ} 13.40'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ} 25.52'$, de Longitud Oeste) fue trazado en la playa, frente a la intersección de la Av. del Mar y la Av. Lola Beltrán, presentando un estado bastante antropizado. La longitud total del perfil transversal fue de 25.7 m y su altura de 3.75 m, ambas medidas correspondientes a la berma (Figuras II.24 y II.25).

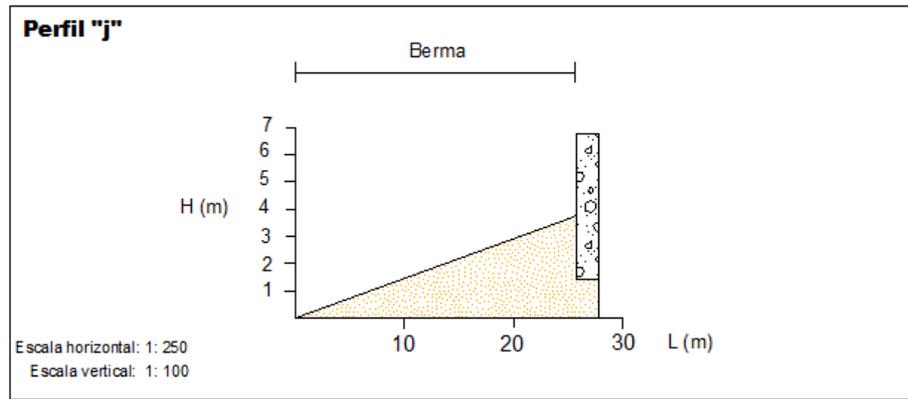


Figura II.24. Esquema del perfil morfológico de playa "j".



Figura II.25. Vista general del perfil morfológico de playa "j" (tomada en dirección NW-SE).

En el sector de playa ubicado frente a la intersección de la Av. del Mar y la Av. Gutiérrez Nájera, se trazó el perfil "k" (Coordenadas geográficas: $23^{\circ}12.69'$, de Latitud Norte, y $106^{\circ}25.29'$, de Longitud Oeste), a 10 m aproximadamente al norte del Monumento al Pescador, con un estado fuertemente antropizado. La berma tuvo una altura de 2.29 m y un ancho de 33 m, que fueron las medidas totales de este perfil (Figuras II.26 y II.27), limitado por las transformaciones constructivas del malecón y otras edificaciones.

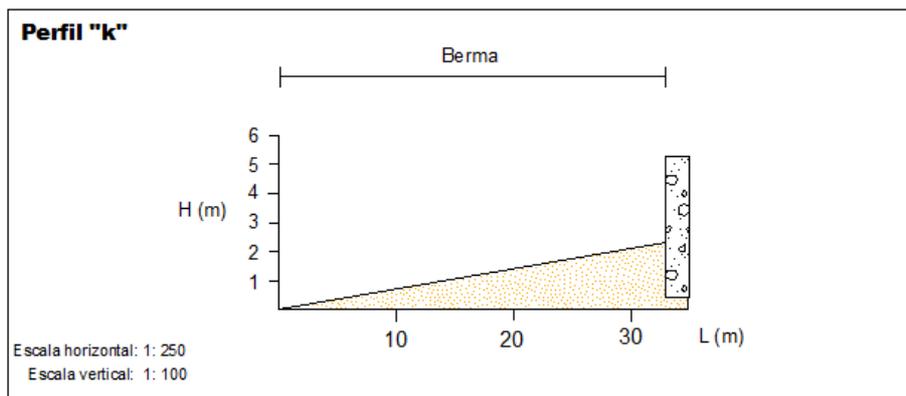


Figura II.26. Esquema del perfil morfológico de playa "k" (tomada en dirección NW-SE).

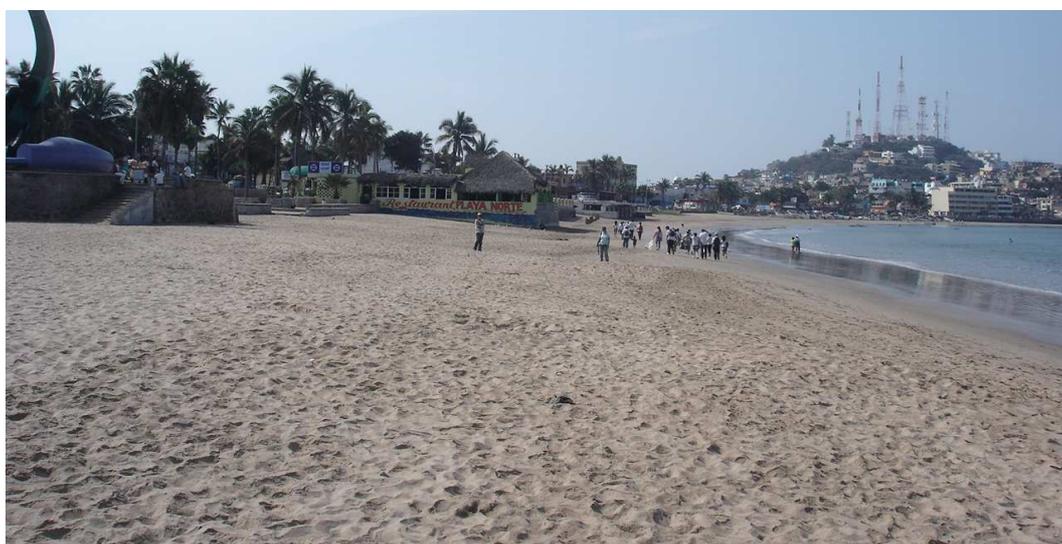


Figura II.27. Perfil morfológico de playa "k" (tomada en dirección NW-SE).

El sector de la Isla de la Piedra se presenta como una zona poco alterada por la acción humana, estando modificada sólo en el área del Club de Golf "Estrella de Mar", en las cercanías a la desembocadura del Río Presidio, y en las cercanías a la comunidad Isla de la Piedra. En general, a sotavento de la cadena principal de dunas, se extiende una planicie inclinada suavemente de unos 500 m de longitud, donde existen plantaciones cocoteras, pero a barlovento de dicha cadena, la estructura y morfología de la playa se mantiene en estado natural de conservación.

El perfil transversal "l" (Coordenadas geográficas: 23° 10.67', de Latitud Norte, y 106° 23.14', de Longitud Oeste) fue trazado y medido a 2 km aproximadamente al SE de la comunidad Isla de la Piedra, a la altura de una terracería de entrada a la costa. Se observó un estado natural, donde el perfil posee dos cadenas de dunas embrionarias y tiene una longitud total de 127.2 m, de los cuales, 74.4 m corresponden

a la berma, que tiene una altura de 2.34 m. Las dunas embrionarias tuvieron un ancho de 36.3 m y una altura de 3.24 m, mientras que la duna principal alcanzó 5.9 m de altura. En este trabajo, este perfil fue el que registró las medidas máximas en cuanto a longitud total, ancho de la berma, ancho de la zona de dunas embrionarias y altura de la duna principal (Figuras II.28 y II.29).

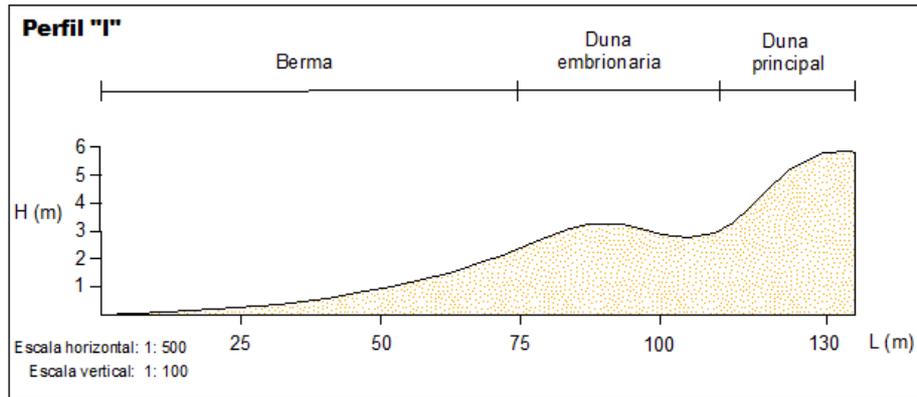


Figura II.28. Esquema del perfil morfológico de playa "I".



Figura II.29. Vista general del perfil morfológico de playa "I" (tomada en dirección SE-NW). Al fondo, la estructura del lomerío Isla de la Piedra y de los lomeríos que cierran la ciudad por el sur.

Finalmente, el perfil transversal "m" (Coordenadas geográficas: 23° 08.47', de Latitud Norte, y 106° 19.58', de Longitud Oeste), trazado a proximadamente a 2.5 km al NW del complejo Estrella de Mar y a unos 7 km de la desembocadura del Río Presidio, con una longitud total de 114.7 m. La berma tuvo un ancho de 42.3 m y una altura de 2.38 m, la zona de dunas embrionarias presenta 22.4 m de anchura y 3.46 de altura y la

duna principal tuvo 5.02 m de alto. A sotavento de la duna principal, se aprecia una planicie eólico-marina, inclinada y extensa, además, en este perfil existen vestigios de una segunda cadena de dunas embrionarias (Figuras II.30 y II.31).

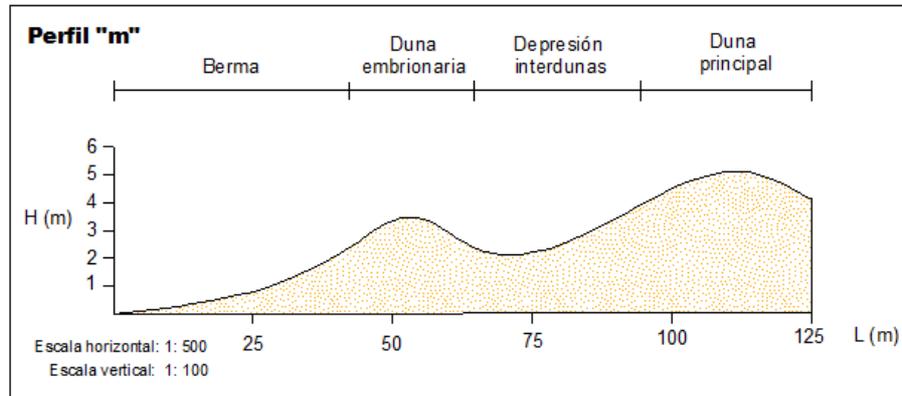


Figura II.30. Esquema del perfil morfológico de playa "m".



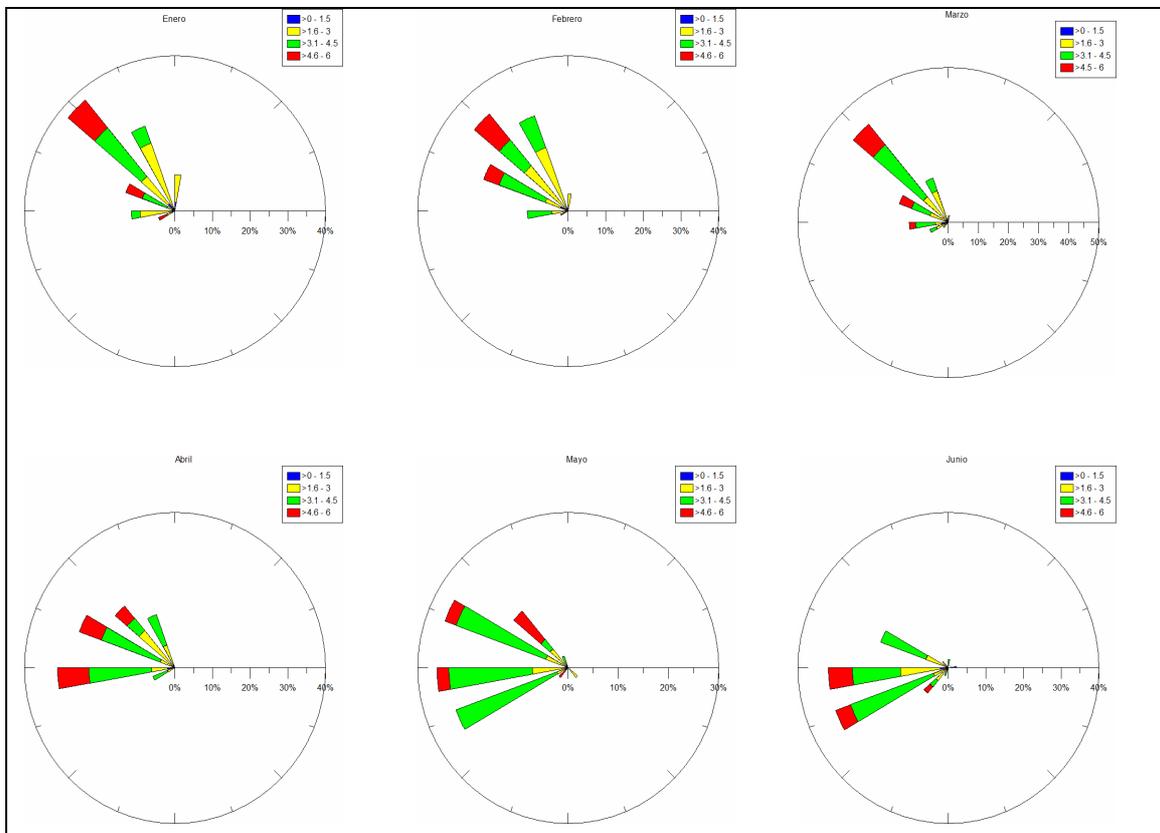
Figura II.31. Perfil morfológico de playa "m" (tomada en dirección NW-SE). Obsérvense las dos cadenas de dunas embrionarias y la cadena principal de dunas, todas protegidas por la vegetación costera. Finalmente, las plantaciones de cocoteros ocupan la extensa planicie eólico-marina acumulativa, inclinada hacia el interior de la zona costera.

II.2.3. Clima.

El clima en el municipio de Mazatlán es de tipo $Aw_0(w)(e)$, es decir, cálido subhúmedo con régimen de lluvias de verano, de acuerdo al sistema de Koppen modificado por García (1988). El más seco de los subhúmedos, con menos del 5 % de precipitación invernal y con oscilación térmica extrema. Lo anterior fue determinado con base en el análisis de datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, registrados en el Observatorio Mazatlán, el cual se encuentra en las coordenadas geográficas $23^{\circ} 13' 00''$, de latitud Norte, y $106^{\circ} 24' 38''$, de Longitud Oeste; con una altitud de 2.83 m.

II.2.3.1. Régimen de vientos.

Entre los meses de enero a marzo, los vientos dominantes vienen del NW; en abril provienen principalmente del W; en marzo del WSW, W y WNW; en junio y julio, del W y WSW; de agosto a octubre son principalmente provenientes del W; y en noviembre y diciembre, del NWN (Figura II.32). Sus velocidades varían, desde la calma hasta poco menos de 6 m/seg.



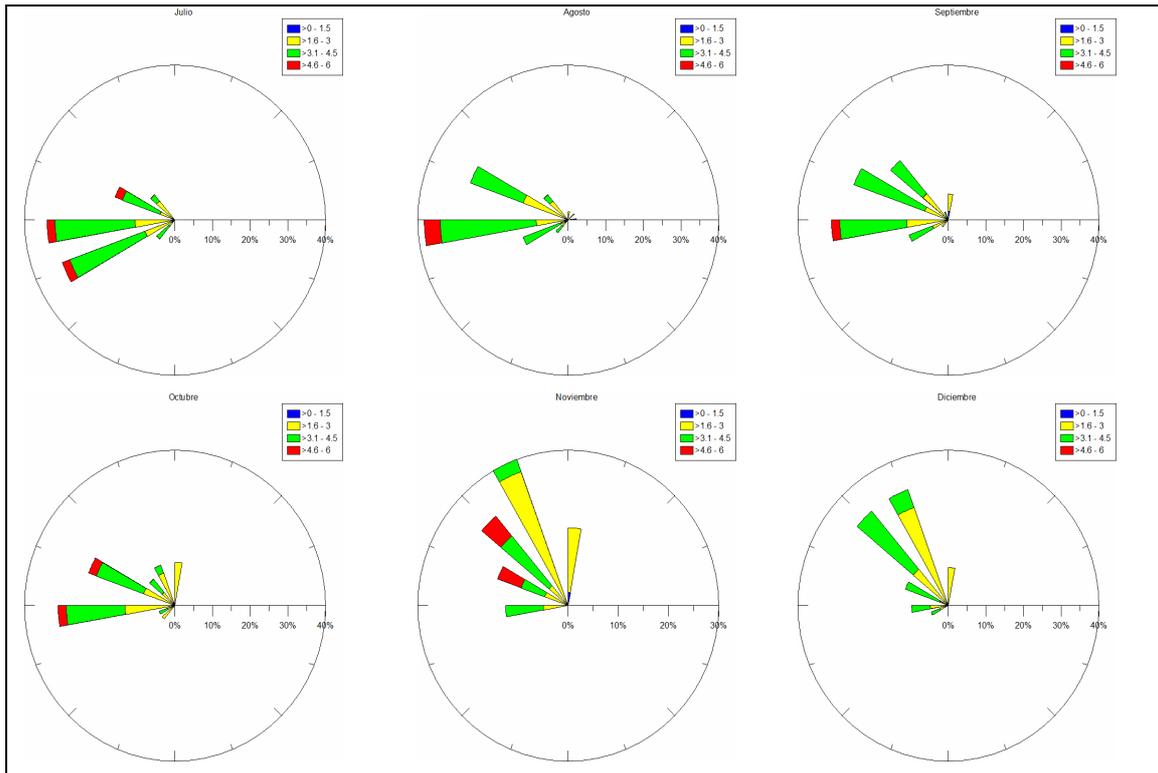


Figura II.32. Rosas mensuales de vientos, para Mazatlán, Sinaloa, elaboradas a partir de datos del viento dominante entre 1950 y 2004, del SMN.

II.2.3.2. Régimen térmico.

Para la obtención del régimen térmico, se analizaron los datos de temperaturas del período 1951-1998, en el caso de las temperaturas máximas y mínimas extremas, y de las medias de temperaturas máximas y mínimas; mientras que para el promedio de temperaturas se tomaron datos del período 1951-2000, al ser la información disponible en el SMN.

En este período, la temperatura máxima extrema registrada fue de 37.1 °C (mayo) y la mínima extrema de 6.4 °C (febrero). Bajo estos términos, el promedio de los datos de temperatura media resultó de 24.5 °C. Los meses cálidos son de mayo a octubre, siendo julio y agosto (media de 28.7 °C en ambos casos) los que presentan temperaturas más altas, mientras que las más bajas se presentan en enero y marzo (media de 20°C en ambos casos). A continuación, se muestra una gráfica con los resultados obtenidos:

Temperaturas registradas en el Observatorio Mazatlán (1951-1998).

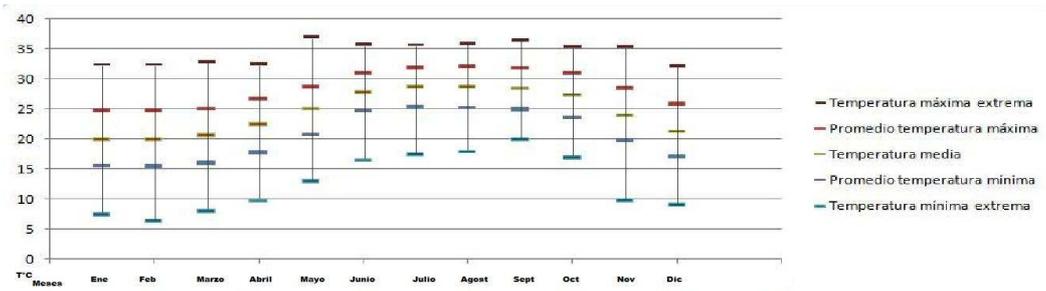


Figura II.33. Gráfica de temperaturas registradas en el Observatorio Mazatlán durante 1951-1998.

II.2.3.3. Precipitación.

Para el caso de las precipitaciones, se analizaron los datos del período 1950-2004 del Observatorio Mazatlán. Se determinó un régimen de lluvias de verano, siendo los meses húmedos de julio a octubre y presentándose la mayor precipitación en el mes de septiembre (238 mm), mientras que el mes más seco es abril (0.7 mm), como a continuación se muestra en el diagrama ombrotérmico (Figura II.34):

Diagrama ombrotérmico de Mazatlán (1950-2004)

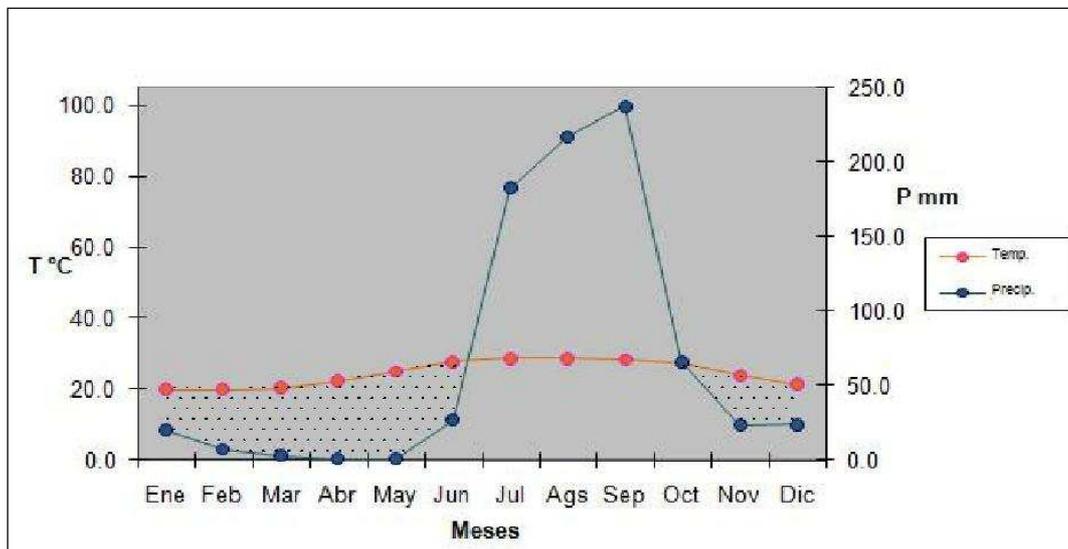
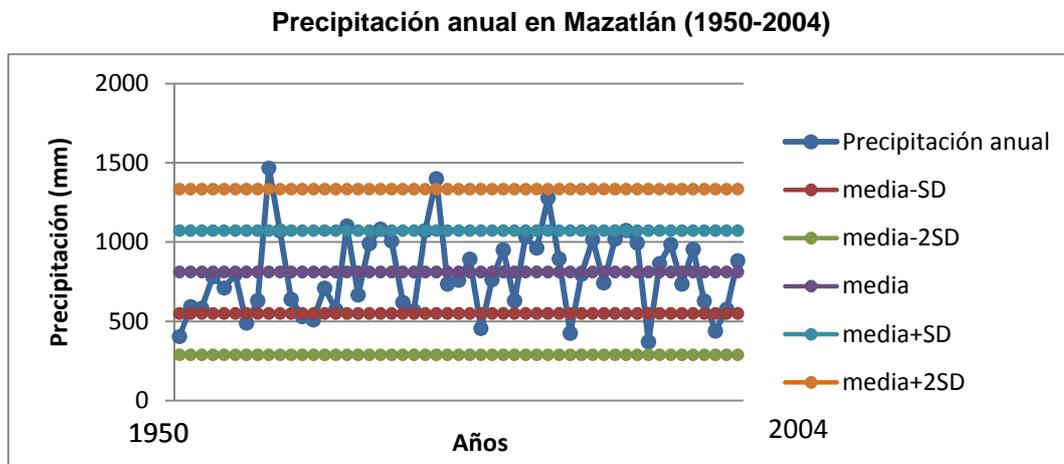


Figura II.34. Diagrama ombrotérmico con base en los datos del Observatorio Mazatlán (temperaturas entre 1951-2000 y precipitación entre 1950-2004).

Se realizó, además, una gráfica de la precipitación anual registrada en el período de 1950-2004, donde se compara esto con la media de precipitación (67.6

mm) de todo el período y con la media sumada a una y dos desviaciones estándar y restada a una y dos desviaciones estándar:



II.2.3.4. Eventos hidrometeorológicos extremos: cronología.

Un peligro natural al que está constantemente expuesto Mazatlán es de carácter hidrometeorológico y corresponde a los ciclones tropicales, ya que de acuerdo con Hernández *et al.* (2001), la frecuencia de entrada a tierra de éstos, en el período 1921-1999 en esta área fue de 21, siendo el número más alto registrado en el Pacífico Mexicano. Estos fenómenos naturales, aparte de causar pérdidas humanas y materiales, generalmente ocasionan inundaciones, debido a las lluvias que los acompañan y erosión en las costas por los fuertes vientos e intenso oleaje (Figura II.36).



Figura II.36. Fotografía de la playa Olas Altas, durante un huracán en septiembre de 1927.

Archivo municipal de Mazatlán, Sinaloa.

En la Tabla II.1, se muestran los principales fenómenos de este tipo, en orden cronológico, que han afectado a Mazatlán durante el período 1950-2009, siendo el huracán “Olivia” en 1975 probablemente el que mayores daños ha causado, debido a su fuerza y cercanía a la ciudad:

Cronología de los principales ciclones tropicales, que han afectado a Mazatlán (1950-2009).							
Nombre	Fecha	Velocidad máxima de vientos sostenidos (kt)	Punto más cercano de aproximación	Nombre	Fecha	Velocidad máxima de vientos sostenidos (kt)	Punto más cercano de aproximación
(Sin nombre)	19/jun/1950	75	106 km (SSE)	Priscilla	12/oct/1971	50	109 km (SE)
(Sin nombre)	04/jul/1950	75	168 km (SW)	Orlene	23/sep/1974	73	39 km (WNW)
(Sin nombre)	13/sep/1951	45	114 km (SW)	Olivia	25/oct/1975	100	15 km (SSE)
(Sin nombre)	30/nov/1951	45	137 km (W)	Liza	30/sep/1976	120	142 km (W)
(Sin nombre)	16/sep/1953	75	95 km (W)	Naomi	29/oct/1976	30	7 km (S)
(Sin nombre)	02/oct/1955	45	117 km (WSW)	Paul	26/sep/1978	33	136 km (WNW)
(Sin nombre)	21/sep/1957	45	124 km (W)	Irwin	29/ago/1981	35	102 km (SW)
(Sin nombre)	20/oct/1957	75	18 km (E)	Knut	21/sep/1981	37	24 km (NNW)
(Sin nombre)	22/oct/1957	83	17 km (NW)	Lidia	07/oct/1981	37	170 km (W)
(Sin nombre)	15/jun/1958	29	84 km (WNW)	Norma	12/oct/1981	90	12 km (WNW)
(Sin nombre)	11/sep/1958	45	158 km (SW)	Otis	30/oct/1981	45	39 km (E)
(Sin nombre)	30/oct/1958	25	161 km (SE)	Paul	29/sep/1982	95	167 km (W)
(Sin nombre)	12/jun/1959	45	4 km (SSW)	Adolph	28/may/1983	35	65 km (SSE)
(Sin nombre)	09/sep/1959	75	164 km (WSW)	Tico	19/oct/1983	60	17 km (ESE)
(Sin nombre)	21/oct/1959	45	170 km (SSW)	Waldo	09/oct/1985	30	44 km (NNW)
Bonny	25/jun/1960	45	179 km (SSW)	Newton	22/sep/1986	65	101 km (SW)
Diana	19/ago/1960	75	130 km (WSW)	Paine	02/oct/1986	80	140 km (WNW)
Hyacinth	23/oct/1960	65	34 km (WNW)	Roslyn	22/oct/1986	42	3 km (SSW)
Valerie	25/jun/1962	67	8 km (SW)	Eugene	26/jul/1987	20	74 km (S)
Doreen	04/oct/1962	75	152 km (WNW)	Kiko	25/ago/1989	43	86 km (SW)
Lillian	28/sep/1963	45	3 km (SW)	Douglas	23/jun/1990	35	265 km (SSW)
Mona	18/oct/1963	38	12 km (NNE)	Rachel	02/oct/1990	51	160 km (NW)
Natalie	07/jul/1964	45	19 km (W)	Calvin	08/jul/1993	48	51 km (SW)
Hazel	26/sep/1965	45	12 km (SSE)	Lidia	13/sep/1993	85	86 km (WNW)
Annette	22/jun/1968	25	155 km (SSE)	Rosa	14/oct/1994	78	50 km (SE)
Hyacinth	18/ago/1968	45	141 km (WSW)	Henrietta	04/sep/1995	75	131 km (SW)
Naomi	13/sep/1968	75	34 km (WNW)	Ismael	14/sep/1995	70	135 km (W)
Emily	23/ago/1969	50	142 km (SW)	Isis	02/sep/1998	64	161 km (WNW)
Glenda	10/sep/1969	63	140 km (SW)	Madeline	19/oct/1998	45	56 km (SW)
Jennifer	11/oct/1969	55	37 km (WNW)	Greg	08/sep/1999	55	138 km (SSW)
Eileen	29/jun/1970	32	53 km (ESE)	Norman	22/ago/2000	25	25 km (ENE)
Helga	19/jul/1970	30	169 km (WSW)	Nora	09/oct/2003	25	-
lone 1	25/jul/1970	35	146 km (SSW)	Lane	16/sep/2006	100	80 km (SW)
Katrina	11/ago/1971	49	110 km (WSW)	Rick	21/oct/2009	49	-
Nanette	07/sep/1971	74	138 km (SW)				

Tabla II.1. Cronología de los principales ciclones tropicales que han afectado a Mazatlán en el período 1950-2009. Elaborada con base en datos del Brand Naval Research Laboratory, Monterey CA; del Servicio Meteorológico Nacional; y de NOAA.

De acuerdo a reportes de periódicos, el huracán “Olivia” (25 de octubre de 1975) provocó la evacuación de alrededor 50 000 personas, que se encontraban en zonas bajas (Figura II.37). A su paso destruyó aproximadamente 7 000 viviendas, dejando a cerca de 30 000 personas sin hogar. Se reportaron 500 heridos y 30 muertos, como resultado de las fuertes lluvias y vientos de hasta 120 kt (Baum, 1976).

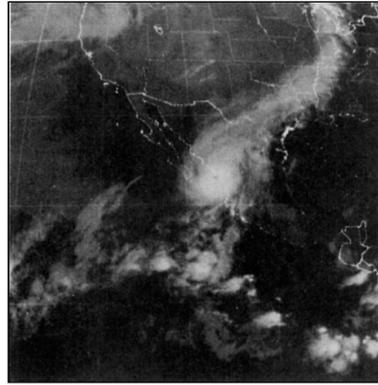


Figura II.37. Imagen del huracán “Olivia” sobre Mazatlán, el 25 de octubre de 1975. Fuente: Baum, 1976.

Décadas después, como se muestra en la Tabla II.1, el huracán “Lane” tuvo un punto de impacto en tierra, el 16 de septiembre de 2006, al norte de Mazatlán, entre el municipio de La Cruz de Elota y la Laguna de Canachi, teniendo una categoría III (escala Saffir-Simpson) y alcanzando vientos de 205 km/h y rachas de 250 km/h (Hernández- Unzón, 2006) (Figura II.38).

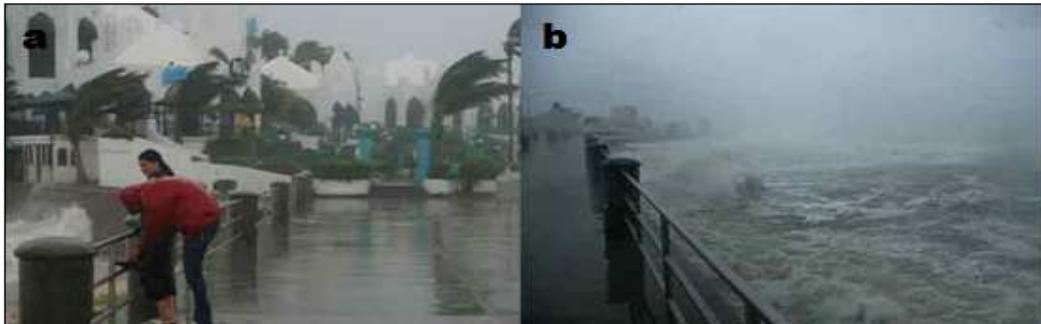


Figura II.38. Fotografías de playas de Mazatlán durante el huracán “Lane”, en septiembre de 2006: a) Punta Camarón (tomada de Sur a Norte); b) Malecón de Mazatlán (tomada Norte a Sur). Fuente: <http://www.e-mergencia.com/foro/showthread.php?t=18003>

Más recientemente, el 21 de octubre de 2009, el huracán “Rick” tocó tierra en las cercanías de la ciudad, como tormenta tropical, teniendo vientos máximos sostenidos de 90 km/h y rachas de 150 km/h (Bravo y Hernández-Unzón, 2009), y ocasionando diversos daños (Figura II.39).

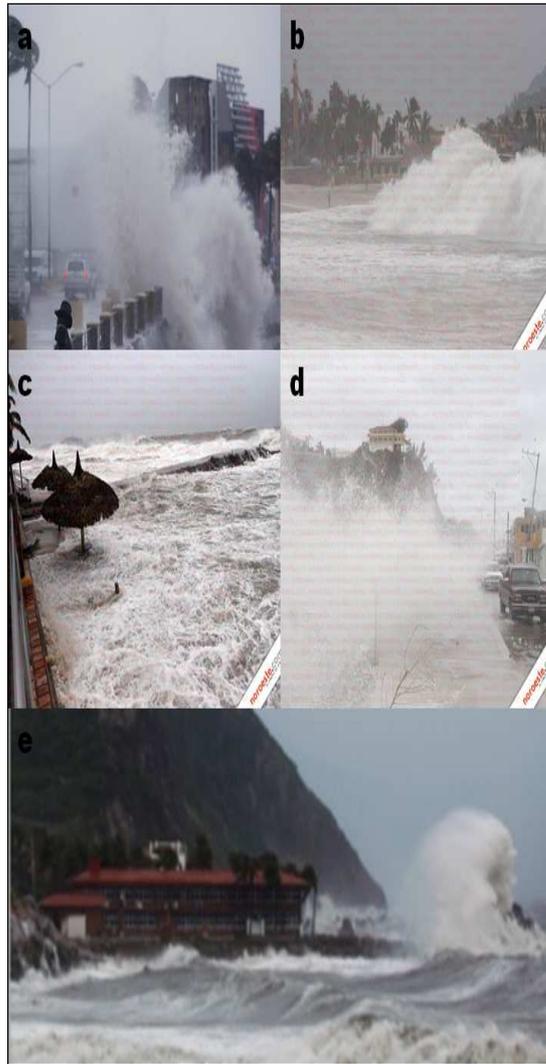


Figura II.39. Algunos efectos del huracán "Rick", en octubre de 2009, en las playas de Mazatlán: a) Playa septentrional a Punta Camarón (tomada de Norte a Sur), Fuente:

<http://www.latribuna.hn> ; b) Playa Norte (tomada Norte a Sur), Fuente: ¡Error!

Referencia de hipervínculo no válida. c) Inundación en la playa septentrional a Punta Codo (tomada de Norte a Sur), Fuente: *ibid.*; d) Escollera al Cerro del Crestón (tomada de Oeste a Este), Fuente: *ibid.*;

e) Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, al pie del Cerro del Crestón (tomada de Este a Oeste), Fuente:

<http://www.eluniversal.com.mx>

II.2.4. Mareas y corrientes.

Según datos de la estación mareográfica de Mazatlán (Servicio Mareográfico Nacional), que se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 23° 10' 53.30" de Latitud Norte y 106° 25' 26.20", de Longitud Oeste; el tipo de marea en esta ciudad es mixta semidiurna. Tiene un nivel de pleamar media de 0.455 m y un nivel de bajamar media de -0.444, mientras que su nivel de marea media es de 0.012 m.

De acuerdo a Montaña-Ley (1986), Mazatlán está situado en una zona de dispersión de energía. El oleaje que recibe es predominantemente de dirección NW y W. En cuanto a las corrientes, predominan las de dirección NW a lo largo de la costa.

II.2.5. Características hidrológicas.

El río principal de esa zona, nace en la Sierra Madre Occidental, cerca de la ciudad de Durango, con el nombre de Jaral, posteriormente cambia a Ventanas y ya en la zona es denominado río Presidio. Sigue una dirección SW que cambia a S hasta descargar sus aguas a 20 km al SE del puerto de Mazatlán. Presenta una pendiente fuerte en sus partes altas, que se va suavizando en la llanura costera, determinando grandes acumulaciones aluviales y delineando la morfología fluvial típica de grandes ríos de planicie, tales como isletas, barras laterales y meandrosidad.

Los principales usos que se le dan al recurso hídrico superficial son, en orden de importancia: pecuario, agrícola y doméstico. Cabe mencionar que en las lagunas costeras se desarrollan actividades pesqueras y de acuicultura.

El acuífero más importante se encuentra en el Valle de Villa Unión; es de tipo libre y su recarga es causada por la infiltración del agua en sedimentos de tipo aluvial y conglomerados, que rellenan fosas de origen tectónico, de donde se extrae agua dulce y tolerable para el riego y el uso doméstico (INEGI, 2008).

Aproximadamente a 15 km al norte de Punta Cerritos, se localiza el Río El Quelite, que cuenta con tan solo 110 km de extensión.

II.2.6. Vegetación.

La vegetación en el área de estudio consiste principalmente de selva baja espinosa, que se encuentran al NW del área de estudio, en las Islas Pájaros, Venados y Lobos, así como en el Cerro del Crestón; manglar, que se encuentra distribuido alrededor de las lagunas costeras y esteros; y sabana, al NE de la mancha urbana. (Figura II.40)

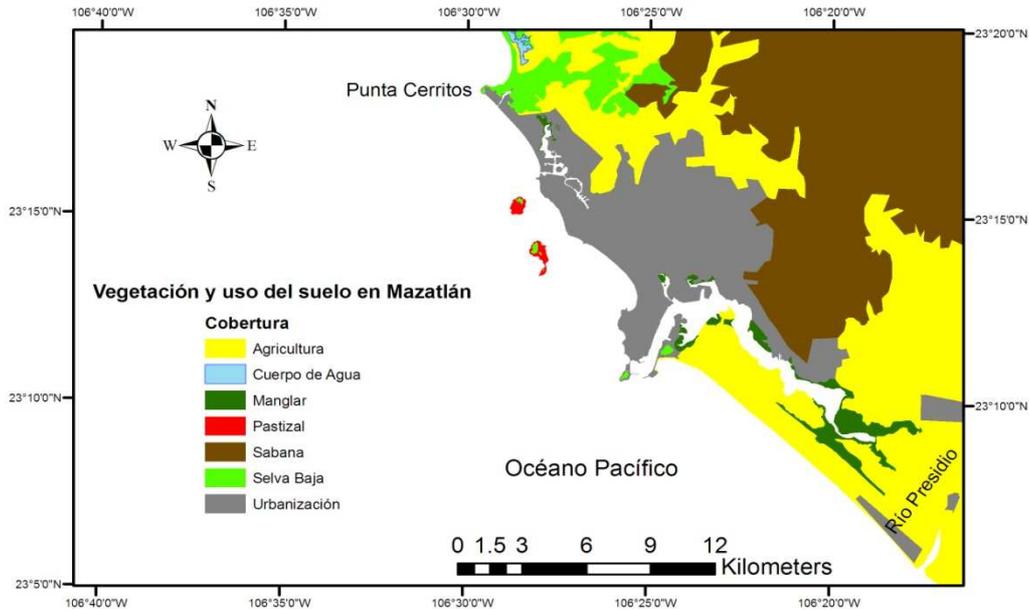


Figura II.40. Mapa general de vegetación y uso del suelo en Mazatlán. Elaborado a partir de imágenes satelitales del 2006 (tomadas de Google Earth), con base en información de INEGI (1988).

II.3. Factores socioeconómicos

II.3.1. Características demográficas y sociales generales del municipio de Mazatlán, Sinaloa: evolución histórica.

Para el año 1950, cuando en el mundo se vivía un período de crecimiento, industrialización y desarrollo, Sinaloa ya era un estado agrícola por excelencia. La pesca había cobrado gran importancia, encontrándose dentro de las principales especies el camarón, el atún y el robalo. En lo referente a la industria, Mazatlán destacaba principalmente en productos pesqueros enlatados, utilizados también para exportación.

El turismo estaba tomando auge, pero no se había desarrollado tan rápidamente como en otros estados del Pacífico, debido a su lejanía con el centro de la República. Sinaloa se comunicaba por medio de la red ferroviaria Guadalajara-Nogales, recorriendo longitudinalmente el estado. En este año se encontraba aún en proceso de construcción la carretera Nogales-Guadalajara, con ramales a las principales poblaciones del estado.

Una década después, las carreteras en el estado eran: la carretera internacional México-Nogales, cruzando el estado de Sur a Norte; la de Mazatlán-Durango-Matamoros; Los Mochis-El Fuerte-Culiacán-Altata; Culiacán-El Dorado; El Fuerte-Choix; Escuinapa-Teacapán; Culiacán-Costa-Rica y Guasave-Verdura- San Pedro Anibal. En cuanto a vías férreas, contaba con el Ferrocarril del Pacífico, el Chihuahua-Pacífico, El Occidental de México y el Ferrocarril Mexicano del Pacífico. Para sus comunicaciones aéreas ya existían aeropuertos en Mazatlán (inaugurado en 1969), Culiacán, Los Mochis y Guasave.

La información censal más reciente (Censo 2010) indica que la población de Sinaloa es de 2 767 761 personas, mientras que la de Mazatlán es de 438 434 . Como vemos en la Figura II.41, el crecimiento poblacional en el estado se aceleró alrededor del año 1980, mientras que en el municipio ha ido creciendo de una manera más uniforme, a lo largo de las últimas décadas.

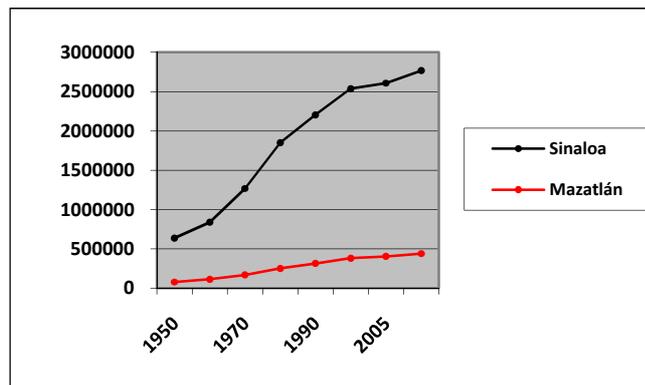


Figura II.41. Gráfica comparativa histórica del número de habitantes en Mazatlán con respecto a Sinaloa. Elaborada con base en datos de INEGI (1950, 1970, 1990, 2005 y 2010).

Según el Plan de Director de Desarrollo Urbano de Mazatlán 2005-2015, en lo referente a condiciones de vida, actualmente los materiales predominantes en las viviendas del municipio, son en 53.7 % duraderos y el resto son perecederos a corto plazo. El rasgo más sobresaliente en la calidad de los techos de la vivienda fue el descenso en la proporción de unidades con teja y el aumento del uso del concreto en los últimos años. En el caso de los pisos, se hizo menos frecuente la tierra y más utilizado el cemento, el mosaico, la madera y otros recubrimientos. Aproximadamente el 80 % de la población cuenta con vivienda propia.

En cuanto a servicios para dichas viviendas, los de agua potable se realizan en alto porcentaje, aproximadamente el 97 % a base de tomas domiciliarias. Por lo que este servicio coloca al municipio en un primer plano de importancia con relación al resto del estado. El servicio de drenaje, presenta una cobertura de 86.8 % (el más alto en Sinaloa). Mientras que en electrificación, se tiene una alta cobertura, gracias al sistema de potencia Noroeste que se produce en la Planta Termoeléctrica José Aceves Pozos. En cuanto al alumbrado público, la ciudad cuenta con más de un 98% de cobertura.

En referencia a vialidad y transporte, se tiene que el 42% de las vialidades en la ciudad están pavimentadas, lo que beneficia al 82 % de la población total. Se tienen 40 km de vialidades primarias, de los cuales el 7 % es de menos de 4 carriles y el 2 % es de 4 carriles o más. Las vialidades secundarias abarcan 75 km (Figura II.42).

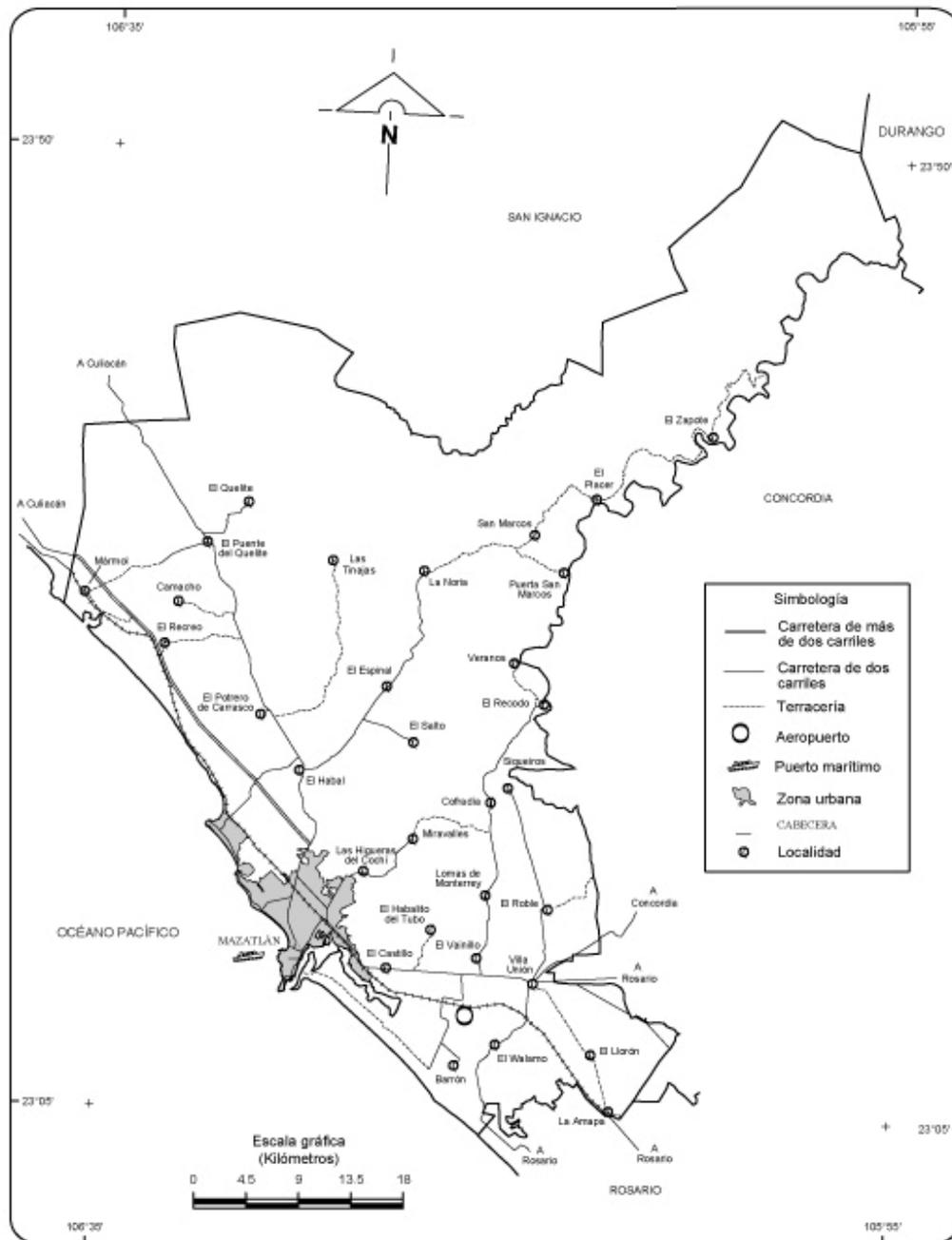


Figura II.42. Mapa de infraestructura para el transporte en Mazatlán. Fuente: Cuaderno Estadístico Municipal de Mazatlán, Sinaloa. INEGI (2008).

Por otra parte, el sistema educativo municipal propicia que el 33.4 % de la población total asista actualmente a algún centro educativo, con ello Mazatlán supera el 32.1 % de la población estudiantil del estado y se encuentra en segundo lugar, en cuanto al grado de calificación de la población, con un 19.4 %. No obstante, se tiene un problema de analfabetismo en un 4.5% de la población de 15 años y más, aunque está considerado como el municipio de más bajo índice en Sinaloa.

II.3.2 Actividades económicas.

El puerto de Mazatlán es, desde 1821, el primer puerto de altura del Pacífico Mexicano, hecho relevante, que le abrió las puertas al comercio internacional. Cuenta también con la mayor longitud de atraque del Pacífico, con 2 802 m, que equivalen al 20 % del total del litoral del Pacífico, lo que hace factible que ahí esté el 22 % de las embarcaciones registradas para pesca de altura en dicho litoral (datos de 2004, proporcionados por el IMPLAN Mazatlán). Lo anterior coloca a Sinaloa en el segundo lugar en producción de camarón y el principal en la pesca de dicha especie en mar abierto, esteros y bahías. Además de ser el principal productor de bagre, carpa, langostino y lobina en el Pacífico y, como se muestra en la Tabla II.2, Mazatlán se encuentra como la principal oficina de pesca de camarón en el estado.

COMPARATIVO DE CAPTURAS DE CAMARÓN DE LA TEMPORADA 2005-2008. (PESO VIVO/TONELADAS)

OFICINA DE PESCA	ESTEROS Y BAHÍAS (Peso vivo/toneladas)			ALTAMAR (Peso vivo/toneladas)						TOTAL GENERAL (Peso vivo/toneladas)		
	2005/2006	2006/2007	2007/2008	BARCOS 2005/2006	BARCOS 2006/2007	BARCOS 2007/2008	PANGAS 2005/2006	PANGAS 2006/2007	PANGAS 2007/2008	2005/2006	2006/2007	2007/2008
Escuinapa	191.64	298.16	59.51	-						91.64	298.16	59.51
El Rosario	589.83	711.27	122.85	-						89.83	711.27	122.85
Mazatlán	255.17	126.34	107.31	10,203.09	17,668.10	8,928.78				10,458.26	17,794.44	9,036.09
Culliacán	375.53	573.19	384.33	-			00.44	62.46	39.72	75.97	637.56	424.05
La Reforma	2,023.58	2,217.10	1,397.70	-		-			16.27	2,023.58	2,217.10	1,413.97
Navolato	821.37	1,207.34	735.54	-			95.89	544.15	154.87	1,017.26	1,751.49	890.41
Guasave	455.03	730.16	451.07	-			51.75	544.2	42.01	606.78	1,297.22	493.08
Los Mochis	1,177.93	1,162.44	648.44	-			8.76	71.46	9.92	1,196.69	1,233.90	658.36
Topolobampo	1,007.76	697.85	653.67	1,958.35	2,894.18	1,311.81	.87	35.35	3.08	2,968.98	3,627.38	1,968.56
TOTAL	6,897.84	7,723.85	4,560.42	12,161.44	20,562.28	10,240.59	69.71	1,257.62	265.87	9,628.99	29,568.52	15,066.88

Nota 1: Cuadro comparativo correspondiente al mismo número de días de captura con relación a la temporada 2005-2006.
 1) Días transcurridos de captura en esteros y bahías: 194 de 200 días de duración de la temporada anterior.
 2) Días transcurridos de captura en altamar: 187 de 185 días de duración de la temporada anterior.

Nota 2: Cuadro comparativo correspondiente al mismo número de días de captura con relación a la temporada 2006-2007.
 1) Días transcurridos de captura en esteros y bahías: 143 de 195 días de duración de la temporada anterior.
 2) Días transcurridos de captura en altamar: 139 de 188 días de duración de la temporada anterior.

Tabla II.2. Comparativo de capturas de Camarón de la temporada 2005-2008 en el estado de Sinaloa. Fuente: IMPLAN, Mazatlán.

Mazatlán también figura entre los 14 principales puertos de altura y cabotaje, localizados en el litoral del Pacífico y entre los seis más importantes por su infraestructura que comprende 3,075 metros de protección, 6,945 metros de atraque y 82,432 metros cuadrados de áreas de almacenamiento. En la Tabla II.3, se muestran los movimientos de carga en años recientes:

MOVIMIENTOS DE CARGA EN EL PUERTO DE MAZATLÁN 2000-2005 (TONELADAS)

Tipo de Carga	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
ALTURA	214,154	283,478	286,520	320,341	355,755	331,511	484,738	450,916
IMPORTACIÓN	69,112	125,214	177,493	184,814	270,313	250,368	321,465	320,992
General Suelta	56,652	87,047	142,815	128,968	195,972	154,449	190,116	175,094
General Contenerizada	12,460	38,047	142,815	128,968	195,972	154,449	190,116	175,094
EXPORTACIÓN	145,042	158,264	109,027	135,527	85,442	81,143	163,273	129,924
General Suelta	3,612	1,165	6,369	2,928	-	3,124	675	4,258
General Contenerizada	136,426	157,099	102,658	132,599	85,442	78,019	162,598	125,666
Granel Agrícola	5,004	-	-	-	-	-	-	-
CABOTAJE	2,061,553	1,874,524	2,080,322	2,439,858	2,475,438	2,648,155	2,349,968	2,782,429
ENTRADAS	1,821,009	1,674,501	1,794,597	2,003,169	1,987,818	2,149,191	1,839,019	2,132,451
General suelta	214,081	206,404	264,978	414,385	458,452	462,811	366,091	447,184
Petróleo y derivados	1,606,928	1,468,097	1,529,619	1,588,784	1,529,367	1,686,380	1,472,928	1,685,267
SALIDAS	240,544	200,023	285,725	436,689	487,619	498,964	510,949	649,978
TOTAL	2,275,707	2,158,002	2,366,842	2,760,199	2,831,193	2,979,666	2,834,706	3,233,345

Tabla II.3. Movimientos de carga en el puerto de Mazatlán, Sinaloa; 2000-2007 (Toneladas). Fuente: API, Mazatlán.

Este municipio es importante para la agricultura del sur del estado, de acuerdo a datos del INEGI, integra una superficie abierta de cultivo de 55, 448 ha, de las cuales 7, 876 son de riego y 47, 572 de temporal. Los principales cultivos son el frijol, maíz, sorgo, chile, pastos, mango y cocotero, entre otros. En Mazatlán se concentra el 7.6 % de los terrenos de agostadero del estado y es el quinto municipio en importancia por su población ganadera. De igual manera, es fuente de explotación de corrales de engorda, granjas para la producción de huevo y granjas de pollo de engorda. Es, desde 1991, uno de los cuatro centros de producción de carne clasificada en el estado.sre

En lo que respecta al sector secundario, tiene una concentración municipal del 35.9 %, lo que lo coloca en el segundo lugar en el estado. En este sector, la mayor parte las personas trabajan en industrias manufactureras (11 767 personas), principalmente de alimentos y bebidas. En segundo lugar, se encuentra la rama de la construcción (3 971 personas), donde la mayor parte se dedica a la edificación y, en tercero, el servicio de alojamiento temporal (6 085 personas). Mientras que en el sector terciario, se encuentra con la mayor concentración de actividades de este tipo en Sinaloa (50.5 %), la mayoría de las personas que se dedican a este sector, es al comercio al por menor (18 971 personas). En el año 2000, se registraron un total de 1 039 unidades económicas del sector industria.

De acuerdo a cálculos realizados, basados en Palacio-Prieto *et al.* (2004), con base en datos tomados del Censo de Población y Vivienda 2000, sabemos que la concentración per cápita de la economía en Mazatlán es del 46.6 %, con lo que ocupa un segundo lugar estatal, además, tiene el más alto grado de ocupación de la población (78.5 %), alcanzando también el primer lugar estatal en concentración poblacional del poder adquisitivo, con 56.9 %.

II.3.3 Uso de suelo urbano.

Menciona el Plan de Desarrollo Metropolitano de Mazatlán (1975), que el primer trazo vial urbano de esta ciudad, se hizo cerca del movimiento portuario que se realizaba en la Bahía de Puerto Viejo, en el lugar conocido como La Batería. Esta primera calle (ahora llamada Belisario Domínguez), fue considerada el lugar más firme para edificar, teniendo una elevación de 10 m sobre el nivel del mar. Su vía de comunicación fue un camino carretero que conducía hasta Palos Prietos, bifurcando ahí hacia el Sur y al Norte, lo cual facilitaba el transporte agrícola y mineral de la región.

Posteriormente, se cerró el paso de agua de la Bahía de Olas Altas a la Bahía del Puerto Nuevo, lo cual propició la construcción de nuevas instalaciones portuarias. Se crearon el mercado (en lo que hoy es la Plaza Hidalgo) y la plaza cívica (hoy Madero), un hotel, teatro y comercios.

La ciudad fue extendiéndose en forma de cruz y a base de rellenos. En este sentido, para principios del siglo XX, Mazatlán ya tenía definido el trazo urbano. Posteriormente, con la llegada del ferrocarril, en 1906, se llevó a cabo otro avance importante, construyéndose un puente sobre el Estero del Infiernillo, el cual constituyó una vía de comunicación hacia el Sur, estableciendo un nuevo polo de desarrollo.

Actualmente, el municipio de Mazatlán está formado por 281 localidades, compuestas por 8 Sindicaturas, que son: Mármol, El Quelite, La Noria, Siqueros, El Roble, Villa Unión, El Recodo y El Habal. De acuerdo al Plan Director de Desarrollo Urbano 2005-2015, la Ciudad de Mazatlán está conformada por 172 fraccionamientos y 101 colonias, dando un total de 273 asentamientos regulares registrados (cifra al primer semestre del año 2005, según el H. Ayuntamiento de Mazatlán). La Mancha Urbana comprende un área total de 10,247-13-75.65 hectáreas (Figura II.43).

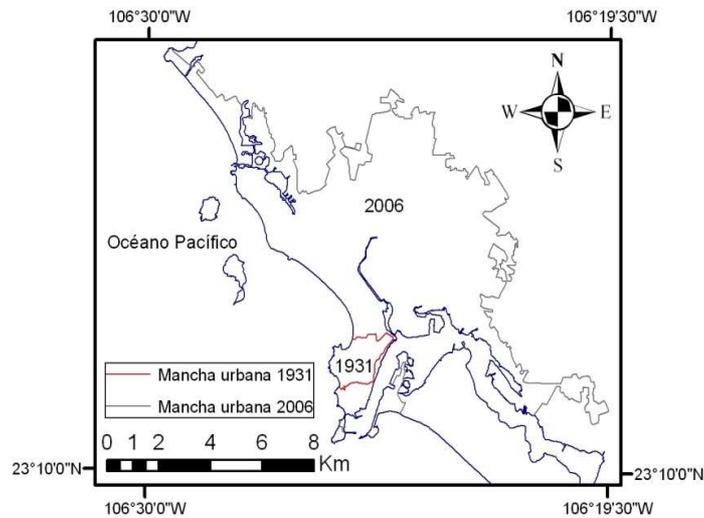


Figura II.43. Mapa comparativo de la mancha urbana de Mazatlán de los años 1931 y 2006. Elaborado a partir de fotografías aéreas de 1931 e imágenes satelitales de 2006, tomadas de Google Earth (Consulta: 2009).

En las últimas tres décadas, se ha dado un proceso evolutivo de urbanización en Mazatlán, bajo el marco de la existencia de una proporción muy alta de terreno baldío en especulación. Al mismo tiempo, existe una alarmante carencia de espacio para la construcción de vivienda popular.

La ciudad, al igual que muchas otras, ha tenido un crecimiento desordenado, provocado por la disputa por el suelo y el mal ordenamiento de los usos y destinos del mismo. Situación que se ve reflejada en la imposición de la urbanización a espacios naturales, tales como, espacios del mar, cauces de arroyos, marismas y esteros.

El Plan Director de Desarrollo Urbano 2005-2015, divide a la ciudad en cinco zonas (Figura II.44):

- **Zona comercial.** En ella se ubican las oficinas de gobierno, despachos particulares, establecimientos, bancos, tiendas departamentales, etc. Esta zona representa el casco de la ciudad.
- **Zona industrial-portuaria.** Localizada en la parte sureste, debido a la existencia de vías férreas en esta zona, al canal de navegación del Puerto y el fácil acceso carretero.
- **Zona turística.** Que se extiende a lo largo de la Bahía de Puerto Viejo hasta la Playa Cerritos, comprendiendo básicamente el malecón de la ciudad, en donde

se encuentran las playas y las instalaciones requeridas: hoteles, moteles, parques de camiones a remolque, restaurantes, centros nocturnos, clubes de golf, etc.

- **Zona habitacional o vivienda.** Constituye el área más extensa.
- **Zona nuevo Mazatlán.** Hacia la zona norte, desde la carretera Habal-Cerritos, incluyendo los esteros del Yugo y la Escopama. Pretende insertar a Mazatlán en la tendencia dinámica de la actividad turística a nivel internacional.

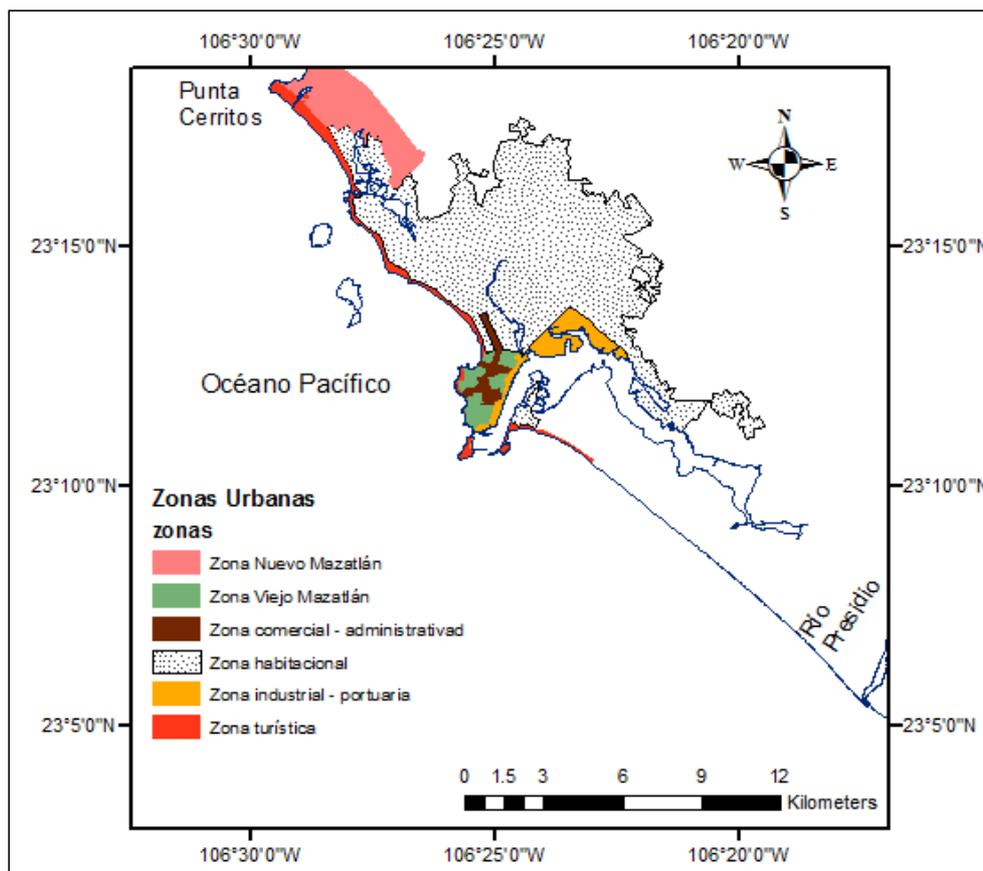


Figura II.44. Mapa de las zonas urbanas en Mazatlán. Elaborado a partir de imágenes satelitales del 2006 (tomadas de Google Earth, consultado en el año 2009), con base en información del Plan de Desarrollo Metropolitano de Mazatlán (1975) y del Plan Director de Desarrollo Urbano de Mazatlán 2005-2015.

Mediante el análisis de la ciudad y de sus actividades productivas, servicios y evolución demográfica, se ha visto que en tiempos anteriores, las concentraciones de población eran predominantemente rurales más que urbanas; actualmente esto ha cambiado de rural a urbano, tanto en los aspectos demográficos como en lo económico y social. El 89 % de la población que habita en el municipio de Mazatlán, corresponde al área urbana y el 11 % se concentra en comunidades rurales.

II.3.4. Turismo y su incidencia histórica en el crecimiento económico mazatleco y en el estado actual del recurso turístico costero.

Hernández (1983) divide las etapas del desarrollo turístico de Mazatlán en 3 (1930-1965, 1966-1971 y 1972-1981), donde en la primera es en la que son establecidas las bases para la metamorfosis futura de la ciudad; es cuando se crea una parte de la infraestructura que se requería para impulsar una estrategia turística en la región. Sin embargo, dada la forma en que surge la hotelería turística en Mazatlán, ésta asume una personalidad difusa, debido a la conjugación de otro tipo de unidades habitacionales que cumplían con las mismas funciones, tales como, casas de huéspedes, mesones, etc.

En la segunda etapa (1966-1971) la ciudad cuenta ya con una personalidad turística bien definida y se presentan grandes cambios en la estructura de los servicios turísticos. Se amplió sustancialmente la planta hotelera, contando con las que serían algunas de las unidades más importantes todavía hasta la década de los 80.

Posteriormente, en la tercera etapa (1972-1981) es cuando se comienzan a dar transformaciones socioeconómicas y urbanas más grandes. Aquí, comienzan a haber mayores flujos de capital nacional e internacional y se empiezan a constituir los hoteles AAA del puerto: Camino Real, Holiday Inn y Cid Resort, que hasta la fecha son de los más importantes. Además, ocurre el establecimiento del condominio de tiempo compartido.

De acuerdo a Barbosa y Santamaría (2006), el panorama económico en Mazatlán, hasta 1974, estaba en pleno apogeo, con un rápido crecimiento en su afluencia turística, presentándose hacia esa fecha su etapa de *Desarrollo y Consolidación como Destino de Playa*. Mazatlán se encontraba en sus años dorados, con una afluencia turística de 911 mil turistas, en su gran mayoría extranjeros, y una ocupación hotelera del 85 %. Para el año siguiente, cambia esa proporción y la afluencia turística extranjera decae, para ser el turismo nacional el que predomine, aún en los últimos años del siglo XX y los primeros del nuevo siglo.

Durante dos años, 1976-1977, Mazatlán experimentó un estancamiento de la industria turística, después del auge gozado entre 1970 y 1975. Esta crisis fue coyuntural provocada por factores políticos y no estructurales. Para 1986, todavía ya

se encontraba en plena crisis sistémica. Al finalizar 1986, Mazatlán ya había sido rebasado por Cancún y Puerto Vallarta en número de cuartos, cuando escasos dos años antes el puerto sinaloense ocupara el segundo lugar después de Acapulco.

En el año de 1992, empieza a presentarse la pérdida de proporcionalidad entre las variables, la correlación entre población y afluencia era ya mayor; disminución de la afluencia, con un incremento en su población, provocando los problemas económicos, ambientales y sociales, debido a que el número de turistas rebasa su relación con la población local, afectando la capacidad sustentable de los recursos naturales locales. En 1994, se presenta la etapa de estancamiento o “Crisis Sistémica”, en lo que respecta al sector turístico, que duró un par de años, para dar paso a una declinación inmediata desde 1996.

Posteriormente, sin salir de dicha etapa, hubo un incremento de afluencia en el período 1999-2000, con una brecha muy marcada, lo cual no significó que Mazatlán estuviera agotado como destino turístico, sino que se necesitaban fijar nuevas estrategias para su estabilización o crecimiento potencial.

Dada la crisis turística prolongada que padecía Mazatlán y a las modificaciones estructurales en la industria turística local, que ésta había causado, se provocó que, a principios de siglo, fuera cuajando un nuevo liderazgo empresarial, que empezara a revertir el estado crítico de la situación.

En Mazatlán existen dos asociaciones de hoteles, que por primera vez en muchos años, en 2001, coincidieron en que la principal tarea a realizar era la promoción hacia el mercado nacional. Esto y el relevo generacional del sector hotelero, trajeron consigo nuevas conductas y propuestas de acción común.

A partir de 2002, se comenzó a registrar mayor número de arribos en cruceros. En cuanto a las llegadas de vuelos, es en 2004 que se recupera Mazatlán, luego de haber pasado dos años con pocas llegadas.

El desarrollo turístico en Sinaloa, tiende a ser positivo. En los últimos años ha dependido en más del 80 % del turismo nacional y dentro de éste, más de un 20 % de turistas del mismo estado.

En 2004, se comienza a ver un repunte en el turismo en Mazatlán. A partir de entonces, se inicia un nuevo ciclo de crecimiento turístico y, con esto, la recuperación de la economía mazatleca. En 2005, hubo uno de carácter inmobiliario, en condominios y casas habitaciones para turistas y locales (*ibid* 2006).

El presente análisis de las fluctuaciones que ha tenido el desarrollo turístico en Mazatlán, debe apoyarse, además, en la dinámica de la calidad de sus playas, como polos de atracción para las inversiones para esta modalidad del turismo. Es por ello, que una de las aplicaciones de esta tesis está dirigida al desarrollo sustentable de la zona costera mazatleca, fundamentalmente de su recurso playa, así como de la infraestructura actual y la futura.

El reconocimiento de las tendencias morfodinámicas de las playas de Mazatlán, distinguiendo los sectores que muestran retrocesos sostenidos de la costa, con la consiguiente pérdida sedimentaria y modificaciones paisajísticas, es un nuevo aporte para las decisiones de las instancias gubernamentales y a la iniciativa privada inversionista, en aras de mantener el equilibrio entre las condiciones geomorfológicas del litoral, siempre bajo un proceso dinámico de cambio y la demanda de su uso para actividades turísticas y de recreación.

CAPÍTULO III. MORFODINÁMICA DE LA LÍNEA DE COSTA MAZATLECA: TENDENCIAS Y MEDIDAS PARA SU DESARROLLO SUSTENTABLE

Para el estudio de la morfodinámica costera de Mazatlán, desafortunadamente no se contó con bases cartográficas ni materiales aerofotográficos anteriores al año 1977, por lo que los cálculos y análisis corresponden a los períodos 1977-1991 (14 años) y 1991- 2006 (15 años), para una interpretación con un período de mayor extensión, entre 1977 y 2006 (29 años). No obstante, los resultados arrojaron cambios de débiles a moderados, con algunos pocos sectores donde la dinámica se reflejó con mayor intensidad y modificaciones al recurso playa. Para el análisis comparativo entre los diferentes períodos temporales, se tomaron como referencias fijas un total de 35 perfiles, cuya numeración aumenta de norte a sur.

III.1. Variaciones de la línea de costa en el período 1977-1991.

En el tramo de línea de costa Punta Cerritos-El Sábalo, se presentaron procesos de erosión de las playas en la mitad de los perfiles comparativos, siendo el más notorio en el perfil 1, ubicado en Punta Cerritos, al norte de la desembocadura del Estero del Yugo, con un retroceso costero de - 21 m, para una velocidad anual de - 1.5 m/año, como resultado de calcular el promedio anual, a partir del monto total de retroceso entre los 14 años existentes entre ambas líneas de costa. Dentro de los sectores con procesos acumulativos de playa, el mayor correspondió al perfil 6, que en el año 1977 estaba al norte de uno de los canales de drenaje del Estero El Sábalo, que en su lugar, en la fotografía de 1991, aparece una escollera (Figuras III.1 y III.2). En dicho perfil, los valores del cambio de la línea costera por acreción sedimentaria alcanzaron los 39 m, para una velocidad anual de avance o crecimiento acumulativo de + 2.8 m/año.

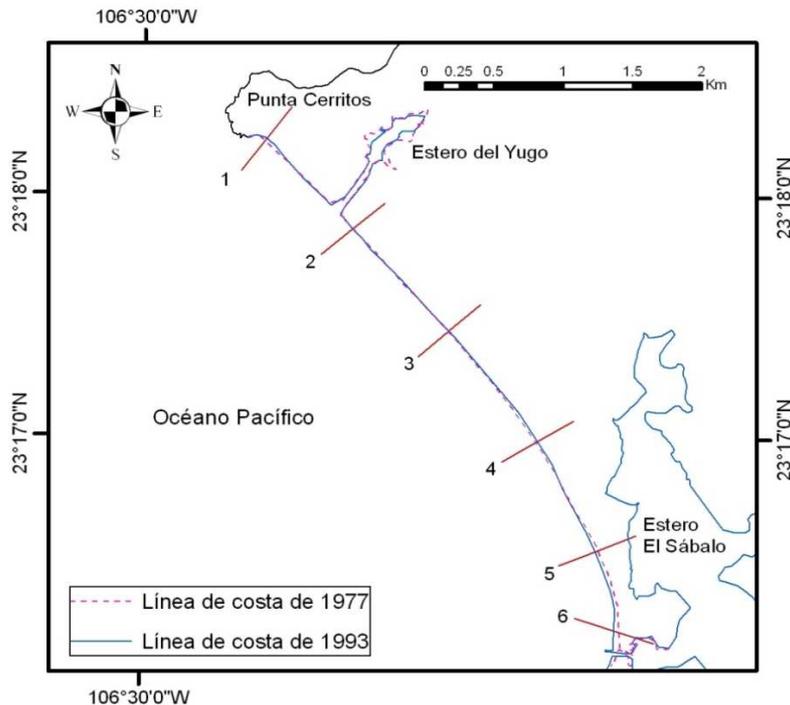


Figura III.1. Variaciones morfológicas entre Punta Cerritos y El Sábalo, durante 1977-1991.

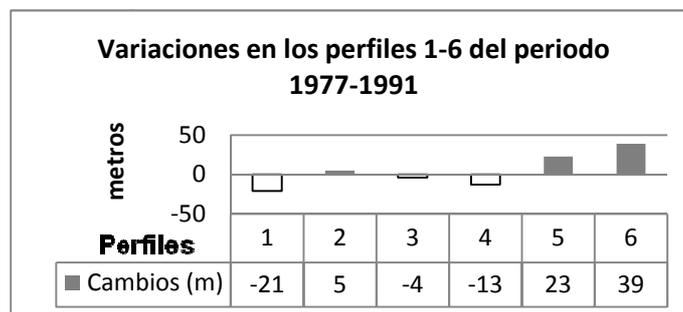


Figura III.2. Gráfica sobre las variaciones de la línea de costa entre Punta Cerritos y El Sábalo, durante 1977-1991. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

Por otra parte, en el sector de costa Sábalo-Punta Camarón, se presentó retroceso erosivo de la costa en seis de los perfiles. El mayor cambio de la línea costera se alcanzó en el perfil 11, con un retroceso de 60 m, es decir, con un gradiente promedio anual de cambio morfológico de - 4.9 m/año y, en segundo lugar, el perfil 7 registró un retroceso de 48 m, para un gradiente promedio anual de + 3.4 m/año. El único perfil de este sector que presentó acreción fue en el número 13, al norte de Punta Camarón, donde se registró una acumulación de + 4 m, para un gradiente promedio anual muy débil, del orden de + 0.3 m/año. Cabe destacar, que en la

fotografía de 1991, se observa una escollera entre los perfiles 11 y 12. (Figuras III.3 y III.4).

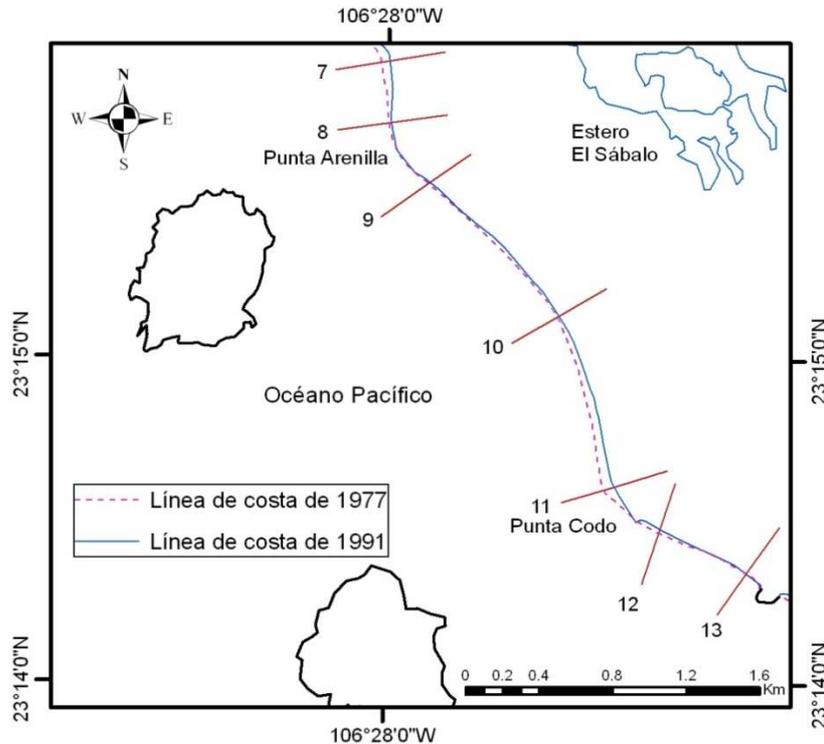


Figura III.3. Mapa de variaciones entre El Sábalo y Punta Camarón, durante 1977-1991.

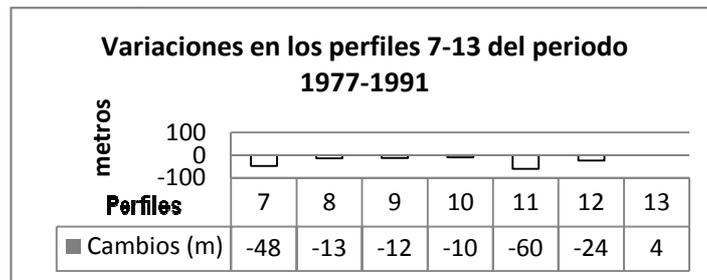


Figura III.4. Gráfica sobre las variaciones de la línea de costa entre El Sábalo y Punta Camarón, durante 1977-1991. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

Los cambios morfodinámicos ocurridos en las playas ubicadas en el sector Punta Camarón-Punta Tiburón, fueron principalmente de carácter erosivo, presentándose el mayor retroceso, de 18 m, en el perfil 16, para un gradiente promedio de cambio anual de - 1.2 m/año. El único perfil donde se desarrolló acumulación fue el 17, donde ocurrió un cambio de + 5 m en la posición de la línea de costa, equivalente a un gradiente promedio anual de + 0.3 m/año, bastante débil.

Dentro de las diferencias entre estas fechas, también se encuentran los cambios en el Estero del Infiernillo y parte del Estero de Urías, donde se empiezan a construir más viviendas, que reducen sus dimensiones (Figuras III.5 y III.6).

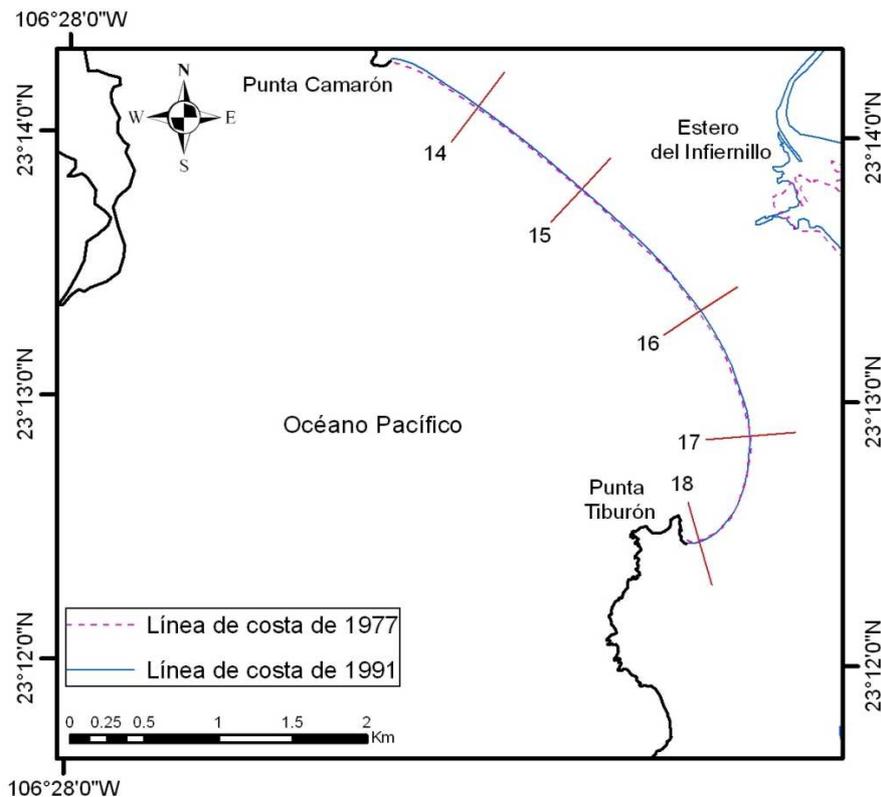


Figura III.5. Mapa de variaciones entre Punta Camarón-Punta Tiburón, durante 1977-1991.

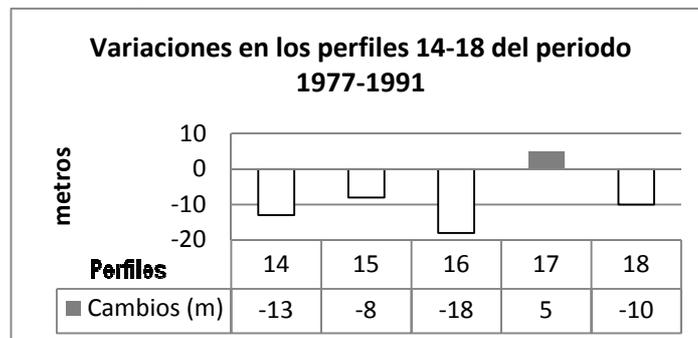


Figura III.6. Gráfica de variaciones entre Punta Camarón-Punta Tiburón, durante 1977-1991. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

Dentro del área estudiada del sector Isla de la Piedra-río Presidio, para este período, se presentaron cambios principalmente acumulativos, siendo el mayor de ellos de + 39 m, en el perfil 22, para un gradiente de acreción promedio anual de + 2.8 m/año. El único perfil donde predominó la erosión de la playa fue el número 20, donde se registró un cambio de - 20 m, para un gradiente de retroceso promedio anual de - 1.4 m/año (Figuras III.7 y III.8).

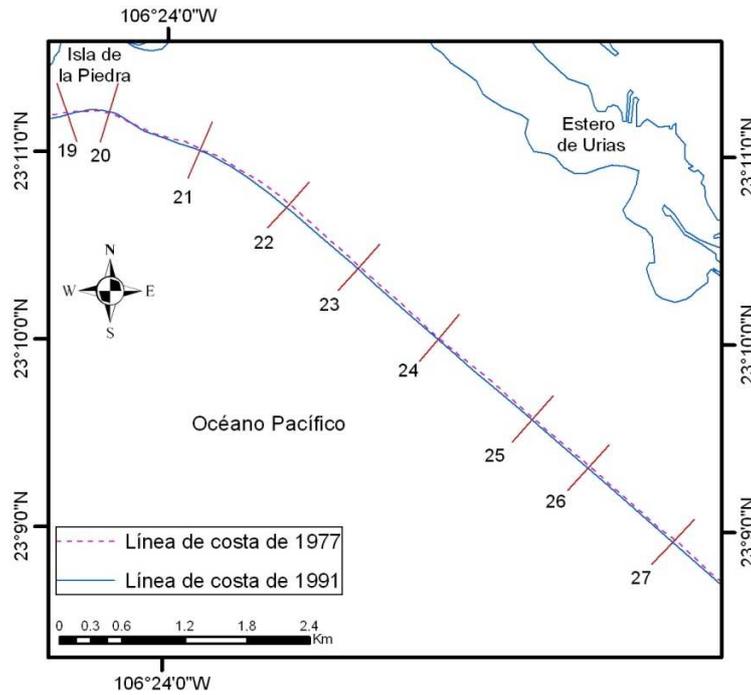


Figura III.7. Mapa de variaciones entre Isla de la Piedra-río Presidio, durante 1977-1991.

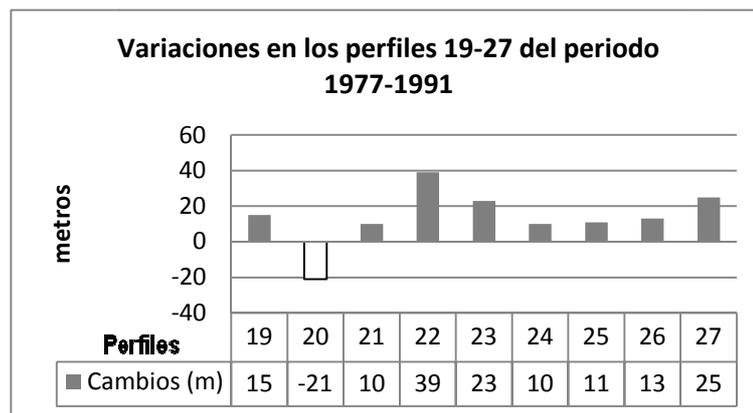


Figura III.8. Gráfica de variaciones entre Isla de la Piedra-río Presidio, durante 1977-1991. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

III.2. Variaciones de la línea de costa en el período 1991-2006.

Para este período de tiempo, los cambios en las playas de la zona Punta Cerritos-El Sábalo, fueron principalmente de carácter erosivo con retroceso de la línea de costa, presentando acreción solamente en el perfil 1, con un cambio de + 4 m, para un muy débil gradiente de acreción promedio anual de + 0.3 m/año. Dentro de los perfiles con retroceso de la costa, el que mostró mayor cambio fue el perfil 5, con una diferencia de + 14 m entre las dos fechas, con un gradiente de retroceso promedio anual muy débil, de + 0.9 m/año. Por otra parte, en el perfil 2 no se presentaron

diferencias significativas. A pocos metros al sur del perfil 6, se construyó una escollera como parte de las modificaciones realizadas para la creación del complejo Marina Mazatlán, que también afectó al Estero El Sábalo. Este fue modificado totalmente, algunas partes fueron rellenadas y se abrió un canal al mar (Figuras III.9, III.10 y III.11).

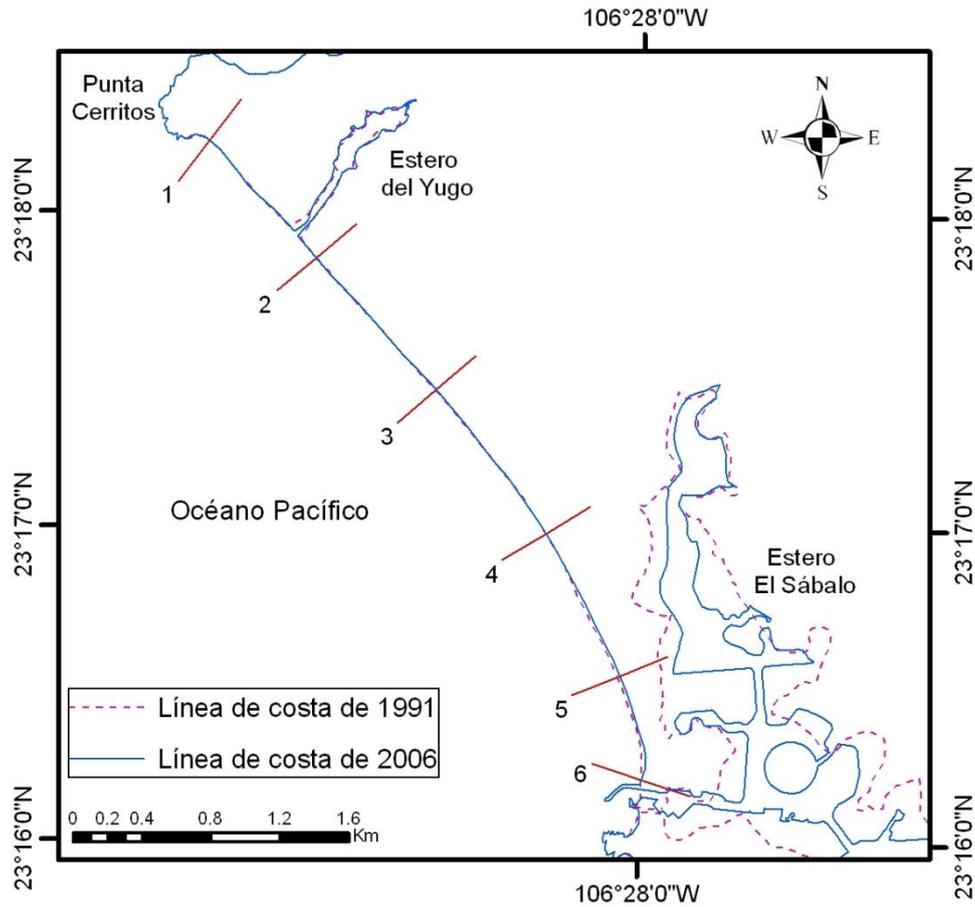


Figura III.9. Mapa de variaciones entre Punta Cerritos y El Sábalo, durante 1991-2006.

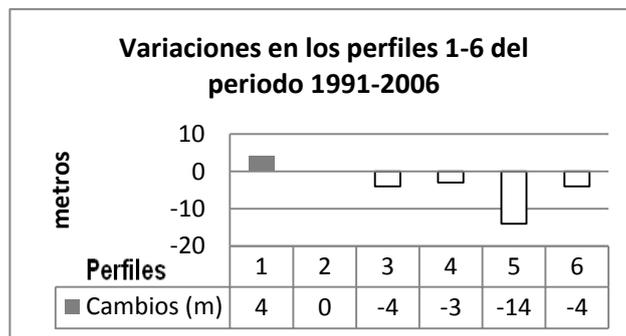


Figura III.10. Gráfica de variaciones entre Punta Cerritos y El Sábalo, durante 1991-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.



Figura III.11. Canal de navegación y escolleras de Marina Mazatlán, tomada de Norte a Sur (Fotografía de Septiembre del año 2003).

En la zona de costa El Sábalo-Punta Camarón, los mayores cambios acumulativos fueron arrojados en los perfiles 9 y 12, con acreciones de + 32 m (+ 2.1 m/año) y + 29 m (+ 1.9 m/año) respectivamente. El mayor retroceso se presentó en el perfil 13, siendo de - 13 m, para un gradiente de retroceso promedio anual de - 0.8 m/año. El resto de los perfiles de este tramo costero, presentaron cambios morfodinámicos mínimos. Cabe mencionar, que fueron construidas algunas pequeñas escolleras en Punta Arenilla (figura III.12). Se pueden apreciar también, las modificaciones hechas en la parte sur del Estero El Sábalo, para la creación del complejo Marina Mazatlán (Figuras III.13 y III.14).



Figura III.12. Escolleras construidas en Punta Arenilla, tomada de Norte a Sur (Fotografía de Marzo de 2009).

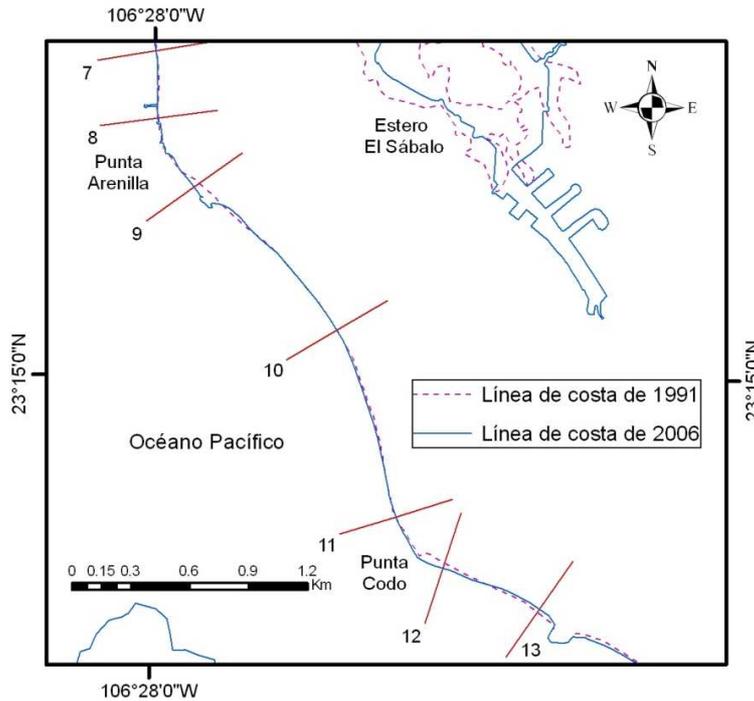


Figura III.13. Mapa de variaciones entre El Sábalo y Punta Camarón, durante 1991-2006.

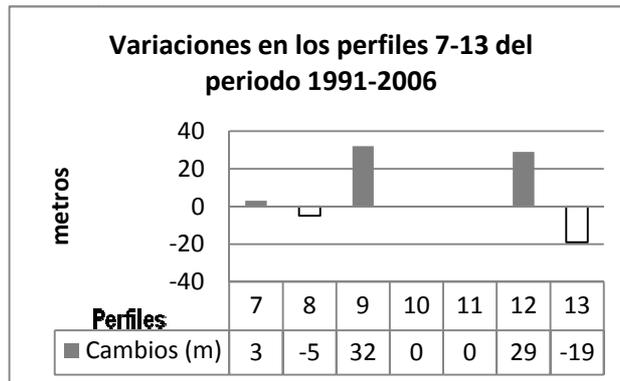


Figura III.14. Gráfica de variaciones morfodinámicas entre El Sábalo y Punta Camarón, durante 1991-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

Las variaciones de la línea de costa entre Punta Camarón y Punta Tiburón, fueron acumulativas en los tres perfiles del norte de este sector y de retroceso en los dos perfiles del sur. La mayor acreción fue de + 12 m (gradiente promedio anual de + 0.8 m/año) en el perfil 15, mientras que el retroceso más notable fue de - 12 m (gradiente promedio anual de - 0.8 m/año) en el perfil 18. Además, se reduce notablemente el tamaño del Estero del Infiernillo, debido a la construcción de viviendas (Figuras III.15 y III.16).

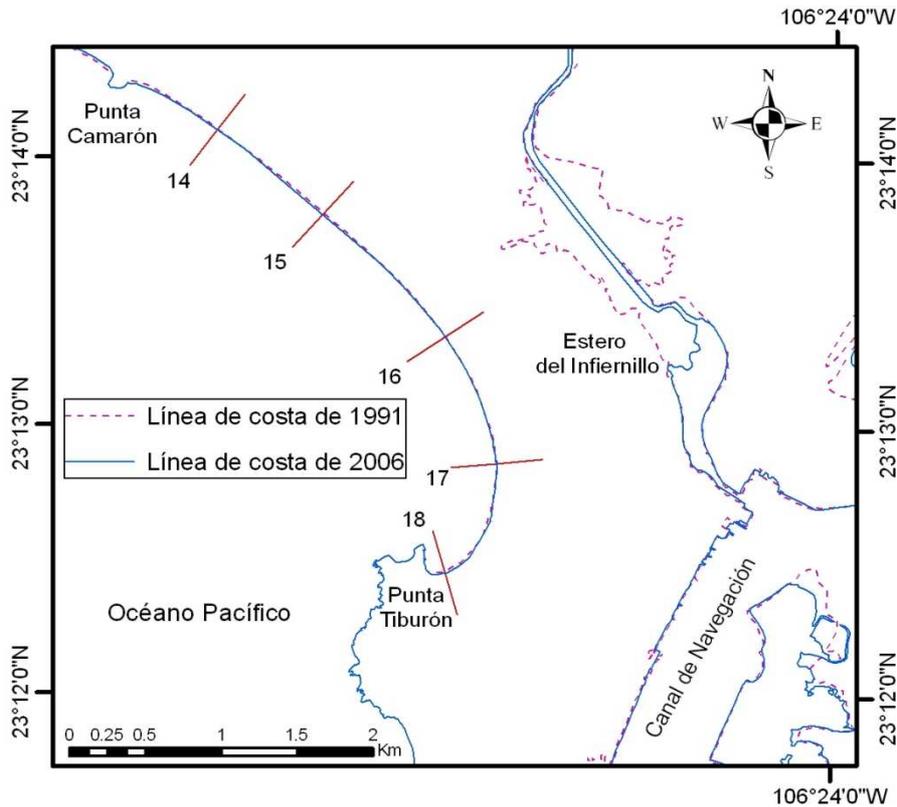


Figura III.15. Mapa de variaciones entre Punta Camarón y Punta Tiburón, durante 1991-2006.

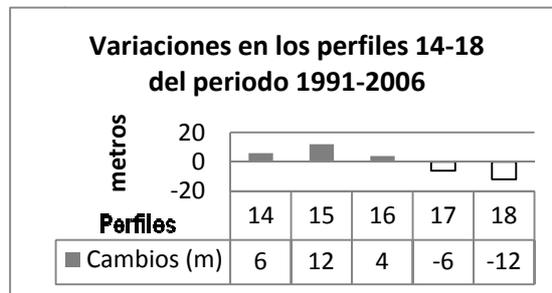


Figura III.16. Gráfica de variaciones morfodinámicas entre Punta Camarón-Punta Tiburón, durante 1991-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

La principal tendencia entre Isla de la Piedra-Río Presidio fue de acreción, que se registró en 10 de los perfiles, siendo la máxima de + 29 m en el perfil 34, con un gradiente de acreción promedio anual de + 1.9 m/año. Los cambios erosivos se registraron en 5 perfiles, de los cuales el mayor cambio fue de - 22 m en el perfil 22, para un gradiente de retroceso promedio anual de - 1.4 m/año. El resto de los perfiles no presentaron cambios morfodinámicos significativos (Figuras III.17, III.18 y III.19).

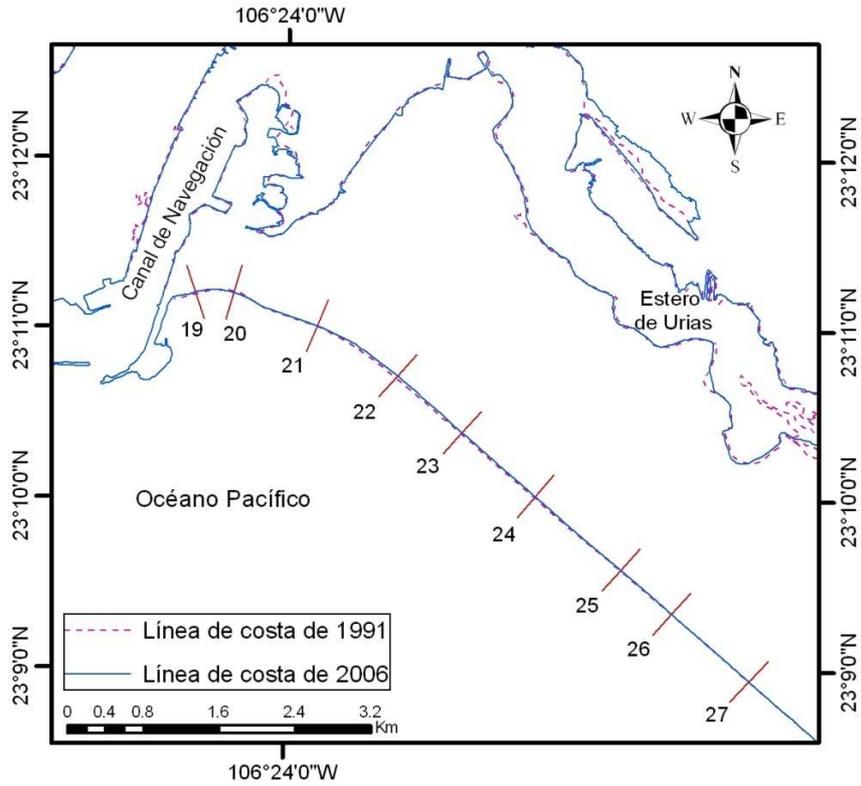


Figura III.17. Mapa de variaciones morfodinámicas entre Isla de la Piedra y río Presidio (perfiles 19-27), durante 1991-2006.

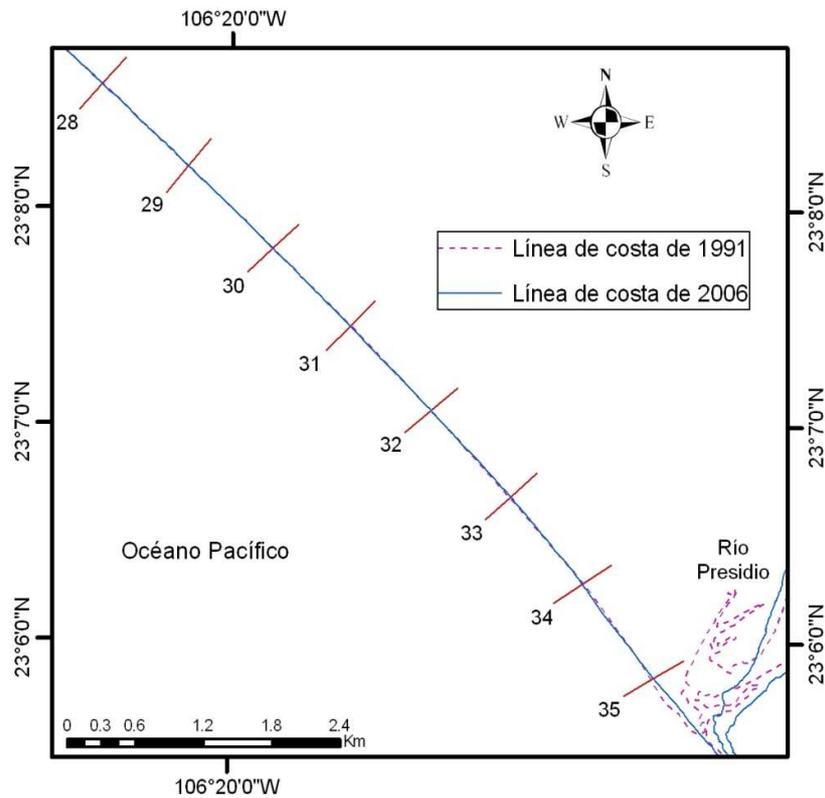


Figura III.18. Mapa de variaciones morfodinámicas entre Isla de la Piedra y río Presidio (perfiles 28-35), durante 1991-2006.

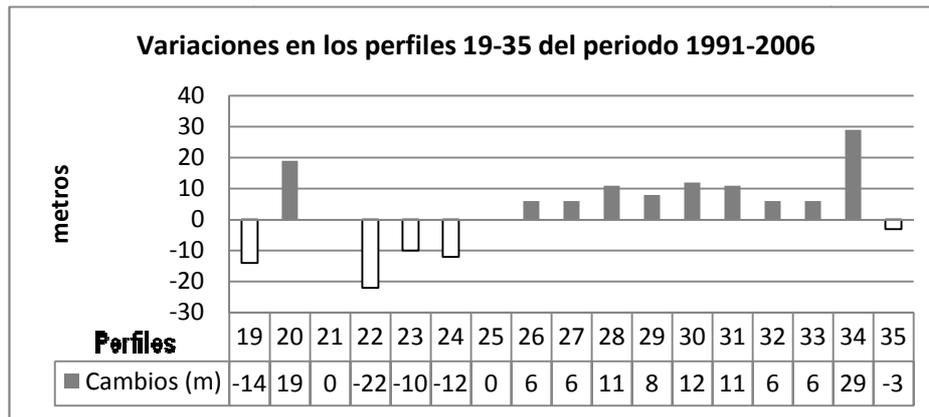


Figura III.19. Gráfica sobre variaciones morfodinámicas entre Isla de la Piedra-río Presidio, durante 1991-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

III.3. Tendencias morfodinámicas generales para los sectores costeros diferenciados, entre 1977 y 2006.

Tomando los datos de los cálculos y de las mediciones para los períodos 1977-1991 y 1991-2006, se calcularon las tasas promedio de variación morfodinámica entre 1977 y 2006. Para cada perfil, se sumaron los valores de ambos períodos y después se dividieron entre el número total de años.

Las mayores tasas de erosión entre Punta Cerritos y El Sábalo, se registraron en los perfiles 1 y 4, siendo de - 0.6 m/año para ambos casos, cabe destacar que las mayores variaciones de estos perfiles, sucedieron durante el período 1977-1991. Por otra parte, la mayor tasa de acreción fue en el perfil 6 (+ 1.2 m/año), donde al igual que en el caso anterior, la mayor variación ocurrió en el primer período de tiempo analizado (Figura III.20).

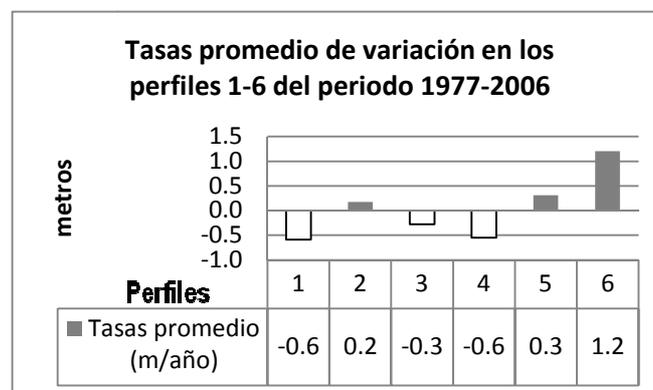


Figura III.20. Gráfica sobre las tasas promedio de variación morfodinámica entre Punta Cerritos y El Sábalo, durante 1977-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

En las playas entre El Sábalo y Punta Camarón, la mayor tasa de erosión fue de -2.1 m/año, en el perfil 11. Es importante mencionar, que en este perfil y sus cercanías, se presentó la mayor erosión del área de estudio y que el cambio en la línea de costa sólo se presentó durante el primer período analizado, lo cual no quiere decir que se haya estabilizado, sino que los muros de las construcciones de la zona, hacen que en este tipo de comparaciones no se pueda medir, ni establecer por alguna otra vía, una diferencia. Sin embargo, dichos inmuebles se ven afectados como se muestra en la figura III.21.



Figura III.21. Fotografías tomadas en Punta Codo: a) Escarpa de erosión al interior del Condominio Torre al Mar, causado por el agua de mar al pasar por debajo del muro (Marzo de 2007); b) Marea alta, golpeando directamente los muros de protección, que han provocado la ruptura del perfil costero, aumentando la energía del oleaje en el sitio (29 de Enero 2010, tomada de Norte a Sur); c) Marea alta, idem. al anterior (29 de Enero 2010, tomada de Sur a Norte); d) Escarpe de erosión y daños causados por el mar (18 de Enero 2010).

La mayor acreción de este sector de costa, se originó en el perfil 9, durante 1977-2006, cuando se construyó una escollera y ocasionó que el resultado determinara una tasa promedio de $+ 0.7$ m/año durante todo el período (Figura III.22).

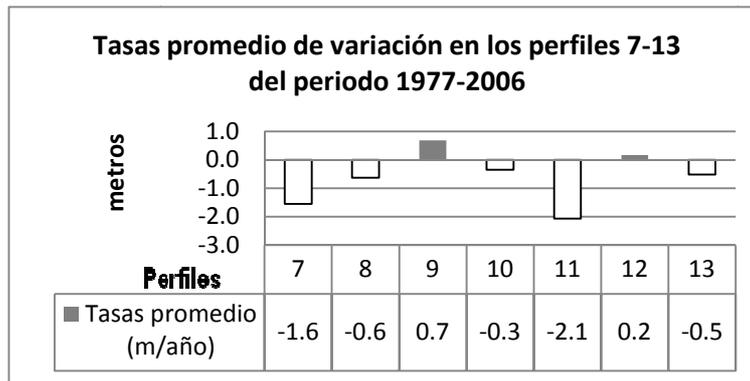


Figura III.22. Gráfica sobre las tasas promedio de variación morfoodinámica entre El Sábalo y Punta Camarón, durante 1977-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

La principal tendencia en el sector Punta Camarón-Punta Tiburón, fue erosiva, presentándose la mayor tasa de retroceso en el perfil 18, con un promedio de - 0.8 m/año, en este caso, se presentaron para ambos períodos temporales analizados, mientras que el único perfil que presentó acreción para el período total, fue el 15, con una tasa muy débil de + 0.1 m/año (figura III.23), ocasionada por la acumulación que se originó durante 1991-2006.

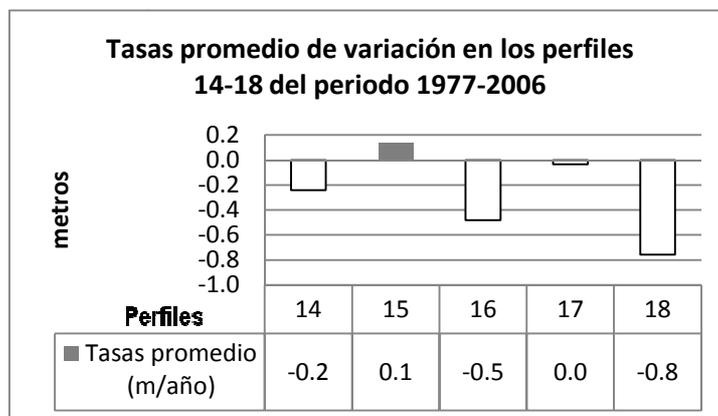


Figura III.23. Gráfica sobre las tasas promedio de variación morfoodinámica entre Punta Camarón y Punta Tiburón, durante 1977-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

Ya que a lo largo de este sector de playa está construido el malecón de Mazatlán, algunos de los cambios registrados en el período 1991-2006, pueden ser debidos a las obras realizadas para la ampliación de dicha infraestructura vial, ya que implicaron el movimiento de grandes volúmenes de arena durante el tiempo que duraron los trabajos de su remodelación, como se observa en la figura III.24.



Figura III.24. Fotografías del sector Punta Camarón-Punta Tiburón, durante las obras realizadas como parte de la ampliación del malecón de Mazatlán (Noviembre de 2003).

Para el sector Isla de la Piedra-Río Presidio, la tendencia en casi todos los perfiles fue a la acreción sedimentaria. Solamente en dos de ellos, se dieron tasas erosivas que fueron mínimas, en el orden de -0.1 m/año (perfiles 20 y 24). Del resto de los perfiles, la mayor tasa acumulativa se presentó en el 27, el más cercano a la desembocadura del Río Presidio, con un promedio de $+1.1$ m/año. (Figura III.25).

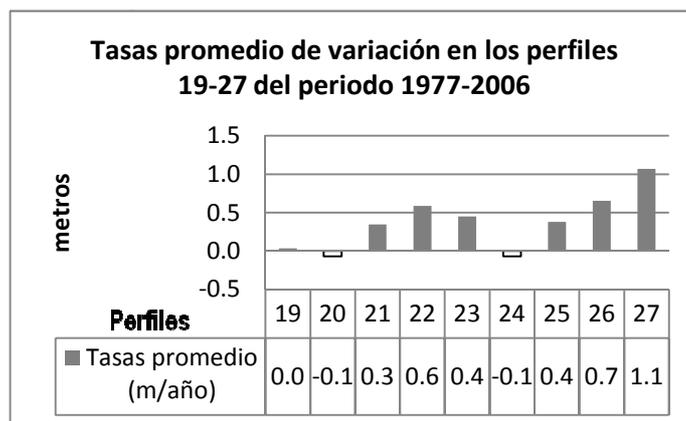


Figura III.25. Gráfica sobre las tasas promedio de variación morfológica entre Isla de la Piedra y Río Presidio (perfiles 19-27), durante 1977-2006. Los cambios positivos indican acumulación y los negativos erosión.

En la totalidad del sector costero estudiado, los perfiles con mayores cambios fueron el 6 y el 11, correspondiendo el primero, a la mayor tasa de acreción y, el último, a la mayor tasa de erosión, ambos considerando el período comprendido entre los años 1977 y 2006. En el caso del perfil 6, la línea de costa en el año 1977 pasaba por la boca del Estero del Sábalo, lo cual entonces causaba erosión en ese transecto, mientras que en las dos imágenes de fechas posteriores, sobre las cuales se trazaron las líneas de costa para comparar, aparece una escollera que fue construida en ese lugar para delimitar la entrada a la Marina Mazatlán. Por supuesto, que la construcción rígida de la escollera ha funcionado como una trampa sedimentaria para la corriente de deriva costera, encargada del transporte y distribución de sedimentos a lo largo de la playa.

En el caso del perfil 11, se presentó una erosión acelerada en el período 1977-1996 (- 60 m) y en la comparación de las imágenes del año 1991 con las del 2006, no se apreciaron nuevos cambios de retroceso costero, debido a que actualmente el alcance del nivel del mar y de la acción del oleaje están controlados por muros de construcciones hoteleras más recientes, los cuales se vieron afectados por el oleaje, pero impiden su acción erosiva tierra adentro, como ocurría en este perfil de playa, antes de las modificaciones por la actividad turística (Fig. III.21). De no existir dichas construcciones, la actividad erosiva se hubiese incrementado en el entorno litoral. No obstante, está demostrado internacional y nacionalmente, que la presencia de construcciones en el perfil longitudinal de playa rompen el régimen energético del oleaje en el modelado de su perfil de equilibrio, y estas rupturas contribuyen a la destrucción paulatina de dicho perfil acumulativo, además de dañar las estructuras civiles perturbadoras. A futuro, las obras civiles del condominio Torre al Mar deben monitorearse para evitar daños constructivos y accidentes humanos.

III.4.- Medidas correctivas, preventivas, mitigativas y de control.

En lo referente a la erosión costera, es necesario dirigir esfuerzos a *“mejorar la resiliencia de los espacios litorales mediante una mejor gestión de los sedimentos y la preservación del espacio suficiente para los procesos costeros”* (Comisión Europea, 2005).

Las experiencias del estudio EUROSION, llevado a cabo en las costas europeas, nos dan una idea de la problemática en el tema de la erosión y destaca la importancia de un manejo integral de la zona costera. A continuación, se muestran

algunos puntos importantes contenidos en dicho estudio, que deben ser tomados en cuenta para el caso de las playas mazatlecas:

- Los espigones o escolleras resultan eficaces solamente para un tramo de costa limitado, acentuándose la erosión aguas abajo del flujo de la corriente de deriva litoral, creando así un efecto dominó, que determina retroceso de las costas afectadas. Esta situación aun no es significativa en Mazatlán, pero debe monitorearse sistemáticamente los cambios operados a lo largo de la playa.
- La regeneración artificial con arena es especialmente exitosa si: 1) es una medida de seguridad eficaz; 2) es rentable y 3) brinda oportunidades a otros usos de la costa. Además de ser indispensable que sea hecha con conocimientos suficientes sobre la hidráulica litoral. Este procedimiento pertenece al grupo de “métodos blandos” en la recuperación de playas, y aunque es rentable económicamente, a largo plazo no es rentable ambientalmente, dado que el suministro de arenas, a partir de cuencas sedimentarias en la plataforma presenta volúmenes finitos y limitados del material.

Otra de las dificultades de este método, es la difícil conciliación de intereses en la inversión financiera individual por los propietarios, que en ocasiones, como ocurre en Mazatlán, son numerosos y no todos poseen el mismo capital disponible de inversión. Para que se posea una idea, en el vertimiento de arenas en la playa de Varadero, Cuba, en el año 1998, por la empresa holandesa D. Blankevoort, la extracción en la cuenca submarina con una draga de succión en marcha, el transporte marítimo en la draga, y el bombeo y distribución con densidades de arena por perfiles transversales establecidos, requirió de 1 000 000 de m³ y de una inversión de US \$ 5 000 000 (Hernández-Santana y Reyes-González, 2002). Claro en este caso, la playa es propiedad pública del estado, y no existieron este tipo de dificultades; pero en experiencias de la empresa cubano-española CESIGMA, S. A. en República Dominicana, muchos años demoró la negociación entre los hoteleros, propietarios de parcelas de playa, para aprobar el esquema técnico-económico de un proyecto único de regeneración de playa por vertido de arena, financiado por diversos propietarios (Hernández-Santana, comun. pers.).

- Para la evaluación rigurosa del riesgo y de sus impactos, así como la planificación espacial en zonas costeras, se necesita información de diversas disciplinas, una visión a largo plazo y a diferentes escalas espaciales y temporales. Una de las premisas básicas e imprescindibles es el manejo integrado de la zona costera, con la creación de un comité ejecutivo, tanto

gubernamental como privado, con la participación de organizaciones sociales, encargado de planear, ejecutar y controlar, de una manera armónica, el conjunto de actividades económicas sectoriales, sociales, académicas, educativas, jurídicas, etc., siempre bajo el prisma del desarrollo sustentable del territorio costero.

- Es importante mantener el monitoreo sistemático en los lugares ya estudiados, así como iniciarlo en nuevas secciones transversales de la playa, con vistas a determinar cambios en las tendencias registradas en la presente tesis. Para ello, debe presentarse y entregarse un ejemplar de la tesis a las máximas autoridades gubernamentales de la ciudad de Mazatlán, a los efectos de organizar la continuidad de este tipo de estudio, tan vital para la protección de su principal recurso natural: la playa.
- En caso de azote de la costa mazatleca por eventos hidrometeorológicos extremos, como huracanes de alta categoría, establecer el “monitoreo instantáneo” para calcular la magnitud de los efectos modificadores, generados por el intenso oleaje y el viento.
- Diseñar cursos sobre morfodinámica costera para todos los sectores académicos, jurídicos, socioeconómicos, inversionistas y otros de carácter gerencial del turismo, para elevar el conocimiento sobre esta temática multidisciplinaria y la conciencia ciudadana para alcanzar niveles razonables para con la sustentabilidad del turismo de playa. Sería aconsejable para las autoridades gubernamentales y gerenciales de esta actividad, la elaboración conjunta de una manual divulgativo, que favorezca la educación ambiental costera, tanto de turistas como de la ciudadanía mazatleca.
- Establecer a largo plazo, bajo el auspicio gubernamental y la sociedad civil, un Consejo Mazatleco para el Manejo Integrado de la Zona Costera. Este paso podría contar con el apoyo y la supervisión de la Unidad Académica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de Mazatlán.

CONCLUSIONES

Considerando los datos de las mediciones registradas durante los periodos 1977-1991 y 1991-2006, se calcularon las tasas promedio de variación entre 1977 y 2006. Para cada perfil, se sumaron los valores de ambos periodos y después se dividieron entre el número total de años, según el método de la *tasa de punto final*. Este método resultó efectivo para las condiciones de registros aero-satelitales locales en Mazatlán.

Las mayores tasas de erosión entre Punta Cerritos y El Sábalo, se registraron en los perfiles 1 y 4, siendo de -0.6 m/año para ambos casos, cabe destacar que las mayores variaciones de estos perfiles, sucedieron durante el periodo 1977-1991. Para el perfil 1, cabe destacar, que este perfil de encuentra a la “sombra sedimentaria” del promontorio de Punta Cerritos, lo cual pudiera contribuir a un bajo suministro sedimentario, dado que dicho sector de costa abrasiva, interrumpe el transporte de sedimentos de la corriente de deriva litoral, proveniente del noroeste. En tales posibles condiciones, el balance genético erosión-acumulación podría presentar un déficit sedimentario que haya conducido al ligero retroceso calculado; este aspecto merece una observancia sistemática en el futuro cercano. En el caso del perfil 4, este cambio se pudo deber a que en 1977 la playa conservaba su perfil natural y vegetación, mientras que en la imagen de 1991 aparece una construcción en ese lugar, lo cual explicaría que en ese período se facilitara una erosión mayor a la ocurrida entre 1991 y 2006.

Por otra parte, la mayor tasa de acreción en el sector mencionado anteriormente, fue en el perfil 6 (1.2 m/año), donde al igual que en los casos anteriores, la mayor variación ocurrió en el primer período de tiempo analizado. Esto se debe a que en el año 1977, en ese lugar se encontraba una entrada natural al estero El Sábalo, lo cual ocasionaba erosión, pero para el año 1991, ya se había construido una escollera para delimitar la entrada al desarrollo Marina Mazatlán, ocasionando la acumulación de sedimentos, debido al carácter de “bolsillo sedimentario” jugado por dicha escollera. Esta situación ha sido comprobada en muchas partes del mundo.

En las playas entre El Sábalo y Punta Camarón, la mayor tasa de erosión fue de -2.1 m/año, en el perfil 11. Es importante mencionar que en este perfil y sus cercanías, se presentó la mayor erosión del área de estudio y que el cambio en la línea de costa solo se presentó durante el primer periodo analizado, lo cual no quiere decir que se haya estabilizado, sino que los muros de las construcciones de la zona, hacen que en este tipo de comparaciones no se pueda medir una diferencia. Sin embargo, dichos inmuebles se ven afectados por el oleaje, como se muestra en la figura III.21. En este proceso erosivo podría influir la configuración ligeramente convexa de la costa, precisamente en la ubicación del perfil 11, así como, la desviación de la dirección del oleaje, causada por la presencia de las islas de Chivos, Pájaros y Venados, todas cercanas y al Oeste de la playa, pero esta situación debe estudiarse a detalle durante próximos monitoreos.

La mayor acreción de este sector de costa, se dio en el perfil 9 durante 1977-2006, donde se construyó una escollera y ocasionó que el resultado fuera una tasa promedio de 0.7 m/año para el total de años.

La principal tendencia en el sector Punta Camarón-Punta Tiburón, fue erosiva, presentándose la mayor tasa en el perfil 18, con un promedio de - 0.8 m/año, en este caso, se presentaron para ambos periodos de tiempo. Mientras que el único perfil que presentó acreción para el total de los años, fue el 15, con una tasa de 0.1 m/año, ocasionada por la acumulación que se dio durante 1991-2006.

Ya que a lo largo de este sector de playa está construido el malecón de Mazatlán, algunos de los cambios que se registraron en el período 1991-2006, pueden ser debidos a las obras realizadas para la ampliación de dicha estructura, ya que implicaron el movimiento de grandes cantidades de arena durante el tiempo que se estuvo trabajando en esta remodelación.

Para el sector Isla de la Piedra-Río Presidio, la tendencia en casi todos los perfiles fue acumulativa. Solamente en dos de ellos se dieron tasas erosivas que fueron mínimas, en el orden de -0.1 m/año (perfiles 20 y 24), proceso que puede ser parte del equilibrio natural de la playa. Del resto de los perfiles, la mayor tasa acumulativa se presentó en el 27, el más cercano a la desembocadura del Río Presidio, con un promedio de 1.1 m/año.

Estos resultados indican y formulan la necesidad del diseño y la implementación de un plan interdisciplinario de manejo integral para esta zona costera, el cual podría incluir los siguientes puntos básicos:

- Monitoreo permanente de perfiles de playa, como estrategia para el seguimiento de la modificación de la línea de costa.
- Registro de las construcciones hechas en las playas, que incluya su extensión y distancia a la orilla del mar.
- Análisis de cambio de uso de suelo, donde se tome en cuenta la deforestación de la vegetación costera y la transformación del perfil natural de la playa.
- Registro de eventos hidrometeorológicos extremos y su impacto en las playas (perfil y vegetación).

Este estudio morfodinámico costero propició la selección de los sitios para el monitoreo, los cuales son, de Norte a Sur: Punta Cerritos, Punta Codo (en el sector El Sábalo-Punta Camarón), Punta Tiburón y en perfiles centrales entre Isla de la Piedra-Río Presidio, con tendencias retrogradativas; y en El Sábalo, las cercanías meridionales de Punta Arenilla, y en las inmediaciones de Estrella de Mar, con tendencias de acreción.

En general, las playas estudiadas no presentan procesos acelerados, ya sean erosivos o acumulativos, por lo que se puede considerar una zona relativamente estable. Sin embargo, se deberá tomar especial cuidado en la intervención antrópica, ya que los cambios importantes que muestran los resultados de este estudio, ocurrieron donde hubo modificaciones realizadas por el hombre, casi todas con fines de desarrollo turístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, I., Cabrera, L. L., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., Sánchez, I., 2007. Aplicación de la fotogrametría a estudios de erosión costera. Congreso de la Asociación Española de Teledetección.
<http://www.madhatt3r.com/websites/redriesgoslitorales/pdf/charla-alonso-argentina.pdf> (Consultado el 14 de agosto de 2010).
- Barbosa Jasso, A., Santamaría Gómez, A., 2006. Estudio Comparativo de playas: Mazatlán, Acapulco, Cancún y Los Cabos (1970-2005). 2006. Universidad Autónoma de Sinaloa, 152 p.
- Baum, R. A., 1976. Eastern North Pacific Tropical Cyclones of 1975. Weather Service Forecast Center. NOAA. 104: 478-488.
- Boak, E., Turner, I. L., 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21 (4): 688-703.
- Bores, P.S., 1978. Clasificación de formas costeras. *Revista de Obras Públicas*, 125, 3163: 855-857.
- Brand of Naval Research Laboratory, Monterrey, CA, 2001. Typhoon Havens Handbook for de Western Pacific and Indian Oceans. Mazatlan.
http://www.nrlmry.navy.mil/port_studies/thh-nc/mexico/mazatlan/text/frame.htm
- Carter, R.W.G., 1998. Coastal environments. Academic Press, London, 617 p.
- Bravo Lujano, C., Hernández Unzón, A., 2009. Reseña del huracán "Rick". Temporada 2009 de Ciclones Tropicales. CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional,
<http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2009/pacifico/rick20p.pdf>
- Casal, G., Sánchez-Carnero, N. & Freire, J. 2007. Digitalización y publicación de una línea de costa del litoral gallego. IV Jornadas de la Infraestructura de Datos Espaciales de España (JIDEE07), Santiago de Compostela, 15 p.
- Charlier, R. H., De Meyer, C. P., 1998. Coastal erosion: response and management. Berlin: Springer, 343 p.
- Comisión Europea. 2005. Vivir con la erosión costera en Europa – Sedimentos y espacio para la sostenibilidad. Luxemburgo: Oficina para las publicaciones oficiales de las comunidades europeas. 40 p.
- Comisión Nacional Coordinadora de Puertos (México), 1975. Plan Director de Desarrollo Metropolitano: Mazatlán, 215 p.
- Davies, W. K., 1972. The conceptual revolution in Geography. Totowa, New Jersey: Rowman and Littlefield, 415 p.
- Dolan, R., Fenster, M. S., Stuart, J. H., 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7 (3): 723-744.

- Dolan, R., Hayden, B.P., May, P., May, S.K., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and beach*, 48(4): 22-29.
- Domínguez, L., Gracia, F. J., Anfuso, G., 2004. Tasas de avance/retroceso de la línea de costa mediante morfometría fotogramétrica en el sector Sanlúcar de Barrameda- Rota (Provincia de Cádiz). *Rev. Soc. Geol. España*, 17 (1-2): 71-86.
- Falkner, E., 1995. Aerial mapping: methods and applications. Boca Raton: Lewis, 322 pp.
- Feng, C., Hui-Mei, C., Xian-Ze, S., Dong-Xing, X., 2007. Analysis on Morphodynamics of Sandy Beaches in South China. *Journal of Coastal Research*, 23 (1): 236-246.
- Guilcher, A., 1958. Coastal and Submarine Morphology. Ed. John Wiley and Sons, London, 276 p.
- Gorsline, D. S., 1966. Dynamic characteristics of West Florida Gulf coast beaches. *Marine Geology*, 4 (3): 187-206.
- Gustavsson, M., Kolstrup, E., Seijmonsbergen, A. C., 2006. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, 77 (1-2): 90-111.
- Hernández Cerda, M. E.; Azpra Romero, E.; Carrasco Anaya, G.; Delgado Delgado, O.; Villicaña Cruz, F. J., 2001. Los ciclones tropicales de México. Ed. Plaza y Valdes, México D.F., 120 p.
- Hernández Norzagaray, J. E., 1983. Política de estado y transnacionalización del turismo: el caso de los servicios turísticos en Mazatlán. Tesis de Licenciatura (Licenciado en Sociología) UNAM, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, 126 p.
- Hernández-Santana, J.R., Ortiz-Pérez, M. A., Méndez-Linares, A. P., Gama-Campillo, L. (2008), Morfodinámica de la línea de Costa del Estado de Tabasco, México: Tendencias desde la Segunda Mitad del Siglo XX hasta el Presente. *Investigaciones Geográficas*, 65: 7-21.
- Hernández Santana, J. R., Méndez Linares, A. P., Figueroa Mah-Eng, J. M., 2007. Caracterización del relieve plio-cuaternario del entorno costero del Estado de Veracruz, México. *Cuaternario y Geomorfología*, v. 21 (3-4): 113-131.
- Hernández Unzón, A., 2006. Resumen del Huracán "Lane" del Océano Pacífico. CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional, <http://wwwsmn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2006/pacifico/lane.pdf> (Consultado en marzo de 2010).
- INEGI, 1950. VII Censo General de población. Estado de Sinaloa.
- INEGI, 1960. VIII Censo General de población. Estado de Sinaloa.

- INEGI, 1970. IX Censo General de población. Estado de Sinaloa.
- INEGI, 1980. X Censo General de población y vivienda. Estado de Sinaloa.
- INEGI, 1990. XI Censo General de población y vivienda. Estado de Sinaloa.
- INEGI, 2000. XII Censo General de población y vivienda. Estado de Sinaloa.
- INEGI, 2005. II conteo de población y vivienda. Tabuladores básicos. Estados Unidos Mexicanos.
- INEGI, 2008. Cuaderno Estadístico Municipal de Mazatlán. Mazatlán, <http://200.23.8.5/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?prov=ce&edi=2008&ent=25012> (Consultado el 18 de agosto de 2010).
- H. Ayuntamiento de Mazatlán, Sinaloa. Plan Director de Desarrollo Urbano de Mazatlán 2005-2015. Mazatlán, Sinaloa. <http://www.mazatlan.gob.mx/modules.php?name=News&file=article&sid=3545> (Consultado en marzo de 2010).
- Kay R., Alder, J., 1999. Coastal planning and management. E and FN SPON (Routledge), Londres, 375 p.
- Komar, P.D., Inman, D. L., 1970. Longshore sand transport on beaches. *Journal Geophysics. Res.*, 75 (30): 5914-5927.
- Lavín, M.F., Castro, R., Beier, E., Godínez, V. M., Amador, A., Guest, P., 2009. SST, thermohaline structure, and circulation in the southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 114, C02025, doi:10.1029/2008JC004896.
- Montaño-Ley, Y., Peraza-Vizcarra, R., 1986. Aplicación de un modelo de tipo predictivo para cuantificar el transporte litoral de arenas en dos playas de la costa Sur de Sinaloa. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-1/articulo206.html> (Consultado el 18 de agosto de 2010).
- Montaño-Ley, Y., Gutiérrez-Estrada, M., 1987. Control de perfiles de playa en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 14(1): 1-11.
- Montaño-Ley, Y., Gutiérrez-Estrada, M., Aldeco-Ramírez, J., 1988. Análisis de funciones empíricas de Eigen en perfiles de playa de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 15(2):121-127.
- Moore, L. J., 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16 (1): 111-124.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Hurricane Center, www.nhc.noaa.gov/ (Consultado el 18 de agosto de 2010).
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Shoreline Mapping History. NOAA Shoreline Website. <http://shoreline.noaa.gov/intro/index.html> (Consultado en marzo de 2010).
- Ojeda, J., 2000. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la A. G. E.*, 30: 103-118.
- Palacio-Prieto, J.L., 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. UNAM-SEDESOL-INE-SEMARNAT, México, D. F., 161 p.
- Peralta Alemán, G., 2002. Tendencias del desarrollo nacional. Esfinge. México, pp.184-185.
- Sánchez Arcilla, A., Jiménez, J. A., 1994. Ingeniería de playas (I): Conceptos de Morfología Costera. *Ingeniería del Agua*, 1 (2): 97-114.
- Servicio Geológico Mexicano, 1999. Carta Geológico-Minera Mazatlán F13-1. Sinaloa, 1 hoja.
- Smithson, P., K., Addison, K., Atkinson, 2002. Fundamentals of the Physical Environment. Ed. Routledge, Third Edition, 974 p.
- Strahler, A., 2005. Physical Geography. Ed. John Wiley and Sons, Inc., 816 p.
- Trenhaile, A. S., 2004. Geomorphology. A Canadian Perspective. Ed. Oxford University Press, 456 p.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1973. Shore Protection Manual. Washington, D. C., 505 p.
- Verstappen, H. T., van Zuidam, R. A., 1968. ITC textbook of photointerpretation, VII:2- ITC System of Geomorphological Survey. ITC, Delft, The Netherlands, 520 p.
- Verstappen, H. T., van Zuidam, R. A., 1991. The ITC System of Geomorphological Survey. Netherlands, 89 p.