



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

**MORFODINÁMICA COSTERA DE LA BAHÍA DE ACAPULCO. UN
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL**

PRESENTA

DANIEL FERNANDO GÓMEZ BENÍTEZ

Tutor Académico

Tutores Adjuntos

DR. ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ

DR. JOSÉ EMILIO BARÓ SUAREZ

DR. EDGAR ÁNGELES MORENO

TOLUCA DE LERDO, OCTUBRE DE 2019

RESUMEN

La playa es una zona de convergencia entre el mar y la tierra, es un sistema que a su vez depende de dos sistemas, el marino y el terrestre, por lo tanto de sus factores (oleaje, fenómenos hidrometeorológicos extremos, mareas y corrientes terrestres, venidas, retención de sedimentos aguas arriba por infraestructura, etc.); esta dependencia genera una vulnerabilidad mayor a los cambios en la morfología de la costa. El estudio de los cambios morfológicos en las zonas costeras es una directriz en los procesos de planeación de las mismas. En este trabajo se analizaron los cambios morfológicos en la bahía de Acapulco en el periodo de 1985 a 2017, esto con base en la digitalización de Imágenes Landsat 5 y 7; se generaron 8 líneas de costa (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2017), se definieron 10 puntos de control a lo largo de la bahía, en las cuales se calcularon tasas de cambio (erosión y/o acreción) por quinquenio, así como una tasa global. En los 10 puntos de control se realizaron medidas de perfiles topográficos y estudios granulométricos para determinar la morfología actual de la costa y obtener la disposición espacial de acuerdo al tamaño de grano. Finalmente se generaron escenarios de retroceso de la línea de costa para los años 2050 y 20100 en playas específicas. El factor preponderante en la zona de estudio es la erosión, manteniéndose en un promedio de -1.0 m/año, para la porción sur de la bahía, la tasa máxima de erosión obtenida fue de -1.61 m/año, este mismo sector, alcanzó el máximo histórico (de acuerdo al intervalo de tiempo analizado) en el punto de control 10, de -4.19 m/año para quinquenio 1985-1990; este comportamiento evidencia la influencia del factor antrópico en la zona.

Palabras Clave: Morfodinámica, bahía de Acapulco, Erosión, Acreción, tasas.

ABSTRACT

The beach is an area of convergence between the sea and the land, this system depends on two systems, the marine and the land, therefore its factors (waves, extreme hydrometeorological phenomena, tides and land currents, increasing of river levels, retention of sediments upstream by infrastructure, etc.); This dependence creates a greater vulnerability to changes in the morphology of the coast. The study of morphological changes in coastal areas is a guideline in its planning processes. In this work the morphological changes in Acapulco Bay in the period from 1985 to 2017

were analyzed, this based on the digitalization of Landsat Images 5 and 7; 8 coastline lines were generated (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 and 2017), 10 control points along the bay were defined, in which exchange rates were calculated (erosion and / or accretion) each five years and a global rate. In the 10 control points, topographic profile measurements and granulometric studies were carried out to determine the current morphology of the coast and obtain the spatial arrangement according to the grain size. Finally, backwater scenarios of the coastline were generated for the years 2050 and 20100 on specific beaches. The predominant factor in the study area is erosion, maintaining an average of -1.0 m / year, for the southern portion of the bay, the maximum erosion rate obtained was -1.61 m / year, this same sector, reached the historical maximum (according to the time interval analyzed) at control point 10, from -4.19 m / year for the five-year period 1985-1990; This behavior demonstrates the influence of the anthropic factor in the area.

Key words: Morphodynamics, Acapulco bay, erosion erosion, accretion, rates.

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Justificación	4
Objetivos	6
Hipótesis	6
CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL	7
1.1 La Teoría General de Sistemas y la Geografía	7
1.2 Geoinformática y Análisis Espacial en los estudios de Geografía Física	8
1.3 Conceptos generales de la zona costera y su morfodinámica	9
1.4 Principales enfoques para el estudio morfodinámico de las zonas costeras	15
1.5 Experiencias internacionales y nacionales en estudios morfodinámicos de la línea costera	20
1.6 El manejo integrado de zonas costeras	23
1.7 Marco legal y normativo aplicable a zonas costeras mexicanas	24
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN FISICO-GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	29
2.1 Delimitación y estructura territorial	29
2.2 Clima y temperatura	30
2.3 Fisiografía	31
2.4 Hidrografía	31
2.5 Constitución y evolución geológica de la región	32
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1 Materiales empleados	39
3.1.1 Imágenes LANDSAT	39
3.1.2 Software de procesamiento de Imágenes satelitales ENVI Classic	41
3.1.3 Otros materiales	41
3.2 Secuencia metodológica	44
3.2.1 Obtención de imágenes satelitales	44
3.2.2 Georreferenciación y vectorización	46
3.2.3 Cálculo de tasas de erosión o acreción	48

3.2.4 Elaboración de perfiles de playa	49
3.2.5 Análisis granulométrico	50
3.2.6 Identificación de las causas que han provocado las principales modificaciones en la línea de costa de la bahía de Acapulco en los últimos 30 años.	53
3.2.6.1 Causas naturales	53
3.2.6.2 Causas Antrópicas	54
3.2.7 Generación de un escenario de posición de la línea de costa para los años 2050 y 2100	54
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	56
4.1 Líneas de costa de la bahía de Acapulco	56
4.2 Tasas de erosión y acreción	64
4.3 Perfiles de playa	68
4.4 Causas de los cambios en la morfodinámica costera de la bahía de Acapulco	78
4.5 Escenarios predictivos de la línea de costa para los años 2050 y 2100	80
Conclusiones y recomendaciones	85
Referencias	88
Anexos	93

Introducción

La playa es una zona de convergencia entre el mar y la tierra, es un sistema que a su vez depende de dos sistemas, el marino y el terrestre, por lo tanto de sus factores (oleaje, fenómenos hidrometeorológicos extremos, mareas y corrientes terrestres, venidas, retención de sedimentos aguas arriba por infraestructura, etc.); esta dependencia genera una vulnerabilidad mayor a los cambios en la morfología de la costa. Las costas albergan una riquísima biodiversidad en sus varios ecosistemas, pero también, debido a sus bondades para con los seres humanos, las playas han sido escenarios de desarrollo de la humanidad y sus asentamientos.

La zona de costa presenta una dinámica como todos los elementos del sistema Tierra, dicha dinámica en su vertiente morfológica tiene implicaciones directas en el desarrollo de las comunidades costeras; esto es claro pues de esta dinámica depende la superficie de playa que puede ser utilizada para el desarrollo de la vida. La superficie de las playas está influenciada por el depósito y acarreo de arenas, así se presentan zonas de acreción (zonas donde la superficie de playa incrementa, debido a un mayor depósito de arena) y zonas de erosión (zonas en donde acarreo de arena aguas adentro es mayor al depósito, generando así pérdida en la superficie de playa).

La erosión de una costa ocurre cuando se rompe el balance sedimentario, es decir la cantidad de sedimentos arrancados superan al volumen de material depositado, en un lapso de tiempo determinado. Así mismo, entendemos que existe erosión costera cuando, comparando una playa en dos o más momentos distintos, una de las dos líneas de orilla está desplazada hacia tierra en la última apreciación de ella. Este cambio puede deberse a multitud de causas estacionales, y si suponemos una constancia en el tiempo de este retroceso, habría que analizar si ese estado es realmente erosivo, ya que pudiera suceder que el sedimento de la playa que antes estaba en su zona seca, se haya movido a la zona sumergida, o que exista un desequilibrio sedimentario a lo largo de todo el sistema litoral.

Por lo que solamente se puede afirmar que existe erosión de una costa cuando el sistema litoral en su conjunto ha perdido sedimento.

De acuerdo Zavala *et al* (2010) las costas que presentan un mayor retroceso o erosión en el país corresponden a la zona del golfo de México, siendo Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Yucatán las más afectadas por el proceso de erosión en ese orden. Resalta el análisis de este fenómeno en las costas del pacífico, donde el Municipio de Acapulco presenta una tendencia inversa a las costas del Golfo de México.

La bahía de Acapulco en el municipio homónimo, en el Estado de Guerrero, abarca un total de 25 km de costas hacia el océano Pacífico. El clima de la zona costera de Guerrero es cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 25°C. La temperatura mínima promedio es de 18°C y la máxima de 32°C. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de junio a septiembre, y la precipitación media del estado es de 1,200 mm anuales (Moreno *et al*, 2013).

Los fenómenos de origen hidrometeorológico en especial los Ciclones Tropicales, son los que ocasionan los mayores daños debidos a los efectos destructivos e inundaciones que afectan al Estado de Guerrero. Esta característica hace que el Municipio de Acapulco se encuentra ubicado dentro de una zona vulnerable por ciclones tropicales que se originan en el Océano Pacífico durante la temporada comprendida del 15 de Mayo hasta el 30 de noviembre. (SISTEMA MUNICIPAL DE PROTECCIÓN CIVIL DE ACAPULCO, 2016).

Como comprobó Palacio *et al* (1999) existe un relación directa entre la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos tales como los ciclones tropicales y la dinámica morfológica de los sistemas costeros, ya sea generando pérdida o aporte de sedimentos.

El presente estudio pretende hacer un análisis de las morfodinámica costera en la bahía de Acapulco, precisamente para detectar las zonas de erosión y acreción que se han generado durante el periodo comprendido entre 1985 al 2017, se pretende también,

mediante métodos cuantitativos inferir la tasa de erosión y acreción en unidades de distancia sobre tiempo.

Planteamiento del problema

La investigación en temas ambientales posee varias aristas, uno de ellos son los relacionados con el riesgo. Entre los fenómenos propios de la dinámica terrestre se encuentra la interacción entre mar y tierra que se presenta en las zonas costeras; el estudio de la dinámica costera toma especial relevancia en algunas costas de México, debido principalmente a la importancia económica de las mismas y a los acelerados efectos del cambio climático.

Dentro de los objetivos del milenio y los recientes planes nacionales de desarrollo, se resalta la importancia de la gestión ambiental de las zonas costeras, con estudios de zonas de erosión y acreción de sedimentos en playas en como una vía para generar medidas de adaptación al cambio climático. A pesar de que los estudios y análisis de morfodinámica costera se han aplicado en México, la mayoría de ellos se han enfocado en el sureste del territorio nacional, así pues se considera relevante realizar este tipo de estudios en otras costas prioritarias del país.

El conocimiento de la morfodinámica contemporánea, incluyendo el análisis impactos antrópicos; así como también elementos de dinámica marina de la zona de Acapulco; ofrecerá consistencia a los planes de ordenamiento territorial, garantizará mediadas más coherentes de adaptación y por ende contribuirá sustancialmente a mejorar la resiliencia de las comunidades asentadas en este espacio geográfico. Los aspectos antes mencionados en la actualidad constituyen un problema real, con vacíos teóricos y prácticos significativos, los cuales se tratarán de confrontar en esta investigación.

Justificación

La erosión de la zona costera, entendida como el desgaste o destrucción producida en la superficie de un cuerpo por fricción continua, ocasiona un impacto en las áreas costeras urbanas y semiurbanas las cuales constituyen ambientes frágiles y dinámicos debido a la interacción entre componentes naturales y socioeconómicos; este fenómeno provoca la pérdida de playas, el avance de la línea costera, la pérdida de ecosistemas, la destrucción de playas y cambios en la batimetría y morfología costera entre otros problemas (Carranza, 2010).

Las áreas costeras urbanas y semiurbanas constituyen uno de los ambientes más frágiles del hábitat terrestre debido a la dinámica propia y a la interacción de sus componentes, naturales y socio-económicos. Como consecuencia, se producen importantes problemáticas generadas principalmente por la acción del hombre sobre la naturaleza, aunque también tienen una importante presencia los procesos naturales. A partir del avance de las ciudades sobre estas áreas y del desarrollo de las actividades económicas, ya sean industriales, portuarias y/o turísticas, los recursos costeros son sometidos a una explotación continua y a medida que los cambios en el medio natural se van produciendo, se ve limitada su capacidad de respuesta alterándose el equilibrio preexistente. (Merlotto y Bértola, 2007).

Como lo mencionan Sánchez *et al* (2010) la actividad antropogénica contribuye a modificar la zona litoral, desde el momento que se construyen vías de comunicación, infraestructura energética y petrolera, hoteles, casas, restaurantes, etc. en su zona continental (supralitoral, hasta la construcción de muelles, espigones, escolleras, rompeolas en la zona marina (infralitoral) alterando el transporte litoral y la morfología de la playa.

Basado en lo anterior resulta imperativo realizar estudios que detallen la morfodinámica de las costas y así poder determinar los factores que potencian los fenómenos de erosión en las mismas, para de esta manera identificar y aplicar las medidas adecuadas para disminuir los impactos negativos para la sociedad y los ecosistemas.

El presente estudio pretende hacer un análisis de la morfodinámica costera en la bahía de Acapulco, precisamente para detectar las zonas de erosión y acreción que se han generado durante el período comprendido entre 1985 al 2017, se pretende también, mediante métodos cuantitativos inferir la tasa de erosión y acreción en unidades de distancia sobre tiempo. La temporalidad del estudio responde a las siguientes situaciones técnicas, ambientales y sociales.

A partir de que se comenzara a apoyar a la ciudad de Acapulco por parte del gobierno Federal en los años 50, el crecimiento de la zona fue en aumento, hasta convertirse en una joya del turismo nacional y de América Latina, ello se puede ilustrar en las siguientes cifras, en 1954 Acapulco recibió 92 694 turistas. En 1960 se registraron 540 100 y para 1972 sumaron 1.5 millones, para 1979 Guerrero proporcionaba al país el 42 por ciento de las divisas por turismo (Ramírez, 1986).

Derivado de este crecimiento turístico, para la década de los años ochenta eran evidentes los problemas ecológicos que sufría la bahía de Acapulco. Esto le restaría competitividad y derivado de ello perdería el apoyo del gobierno federal. La década de los 80 se destaca también en Acapulco, puesto que en ella se generó un repunte en la demografía de la ciudad en su zona costera y esto incide en las implicaciones antrópicas de la morfología costera (Cárdenas, 2016).

La temporalidad elegida para este estudio también responde a la disponibilidad de los recursos cartográficos, puesto que el estudio se realizará mediante la vectorización de imágenes del satélite LANDSAT 5 Y 7, dichas imágenes están disponibles desde el año 1985, por lo que ofrecen una mayor cobertura temporal en relación a otros sensores.

Objetivos

Objetivo General

Analizar espacialmente la morfodinámica de la línea de costa del municipio de Acapulco, mediante herramientas geotecnológicas en el periodo de 1985 a 2017, a fin de determinar su comportamiento espacial.

Objetivos Específicos

1. Identificar las zonas de erosión y acreción en la costa de la bahía de Acapulco.
2. Estimar la tasa de erosión-acreción en el periodo de 1985 al 2017.
3. Definir las causas naturales o antrópicas que han generado las transformaciones reveladas en este estudio, en el periodo de tiempo analizado.

Hipótesis

La zona costera de la bahía de Acapulco se encuentra influenciada por una gran presión antrópica debido a las actividades socioeconómicas que en el sitio se desarrollan. El manejo inadecuado de la zona probablemente genere desequilibrios ambientales, los cuales pueden impactar negativamente en la calidad de la playa y en el ambiente de forma general.

CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL

1.1 La Teoría General de Sistemas y la Geografía

Como lo expresara Correia (1994) “La inexistencia de una relación sociedad-naturaleza estática dificulta que se pueda establecer en forma precisa la definición y objeto de la geografía como ciencia, de allí que haya tantas divergencias entre los geógrafos al tratar de precisar ese objeto y su definición”. La magnitud del complejo concepto de geografía y su ampliación cada día mayor debida a la constante y progresiva transformación del espacio orienta hacia la definición de una base conceptual fundamental, conceptos que deberían estar muy claros para todo profesional, pero que siempre generarán conflictos, en vista de los criterios de cada especialista que los usa (Rojas, 2005).

En la búsqueda de respuestas el hombre es conducido a una serie de procesos sensoriales que luego conecta a unas estructuras mentales llamadas ideas, que se originan en un conjunto de fases tales como: observar, percibir, comparar, concernir, agrupar, inferir, cada una de las cuales hace parte de un proceso mayor que es analizar. Dicho proceso puede intervenir en la solución de problemas y la toma de decisiones.

Fue el biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), quien acuñó la denominación "Teoría General de Sistemas". Término que se refiere a una propuesta metodológica que pretende conocer la realidad a partir de la interacción entre los conjuntos que conforman un sistema. Se entiende como sistema al grupo de elementos que conforman una unidad que funciona a partir de interrelaciones e interacciones entre ellos. Los elementos de un sistema están organizados para el adecuado funcionamiento del conjunto.

En geografía la teoría ha sido aplicada en el análisis de casos de geografía física, en los que a partir de *conjuntos* o espacios de características uniformes, se crean relaciones con otros. Esta corriente analiza el espacio como un *geosistema*, unidad dinámica entre las entidades bióticas: flora y fauna, y el hombre (las sociedades y sus creaciones), y abióticas: atmósfera, relieve, suelos y agua. Tomando en cuenta que el espacio costero es en sí mismo un geosistema, bien puede ser estudiado mediante esta teoría y a partir del análisis espacial.

Apoiada en su concepción por la “Teoría del Holismo”, enunciada por Smuts en 1926, la “Teoría General de Sistemas” fue propuesta en Alemania por Carl Troll en 1949, quien estableció que el mundo y sus componentes se encontraban integrados en un todo,

donde el desarrollo teórico de los sistemas responde a la lógica corística desarrollada en Alemania después de la Segunda Guerra Mundial, en la cual se manifiesta la importancia del estudio ecológico del paisaje fundamentado en la división natural del espacio, desarrollado por medio de los métodos de regionalización físico-geográfica, donde los conceptos esenciales parten de la caracterización del espacio geográfico compuesto por diferentes sistemas que se encuentran relacionados entre sí, los cuales a su vez se encuentran constituidos por subsistemas subordinados existiendo el permanente flujo de materia, energía e información (Espinosa, 2009).

1.2 Geoinformática y Análisis Espacial en los estudios de Geografía Física

La Geografía juega un papel importante en los hechos y fenómenos que se suscitan en el espacio, a lo largo de la historia ha adquirido mayor importancia como resultado de grandes adelantos científicos y tecnológicos teniendo como característica fundamental el ser a la vez descriptiva y analítica; ya que su labor fundamental es la exploración y el conocimiento de los procesos que han contribuido a configurar de muy diversas formas la superficie terrestre (Trejo, 1994).

La investigación geográfica, durante los tres últimos decenios del pasado siglo XX estuvo signada, sin lugar a dudas, por la influencia de la llamada REVOLUCIÓN DE LA INFORMACIÓN (R.I.) y, en este mismo marco referencial, por las TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (T.I.C.) aplicadas al manejo de información georreferenciada. Bajo esta égida fueron radicalmente cambiados, desde los métodos y técnicas para el levantamiento de datos espaciales, hasta los métodos y medios de comunicación de información geográfica (Sistemas Distribuidos).

En el marco de esta Revolución, en la cual estamos inmersos, se reconoce la aparición y consolidación de la GEOINFORMÁTICA, disciplina que abarca desde los procedimientos, métodos e instrumentos que han revolucionado la captura de datos geográficos, incrementando su cantidad, calidad, frecuencia y oportunidad; hasta agrupar, además, medios, métodos y técnicas de almacenamiento de datos en formato digital (estructura vectorial y raster), que facilitan su procesamiento para la producción de

información, y finalmente, con las bondades que ofrece la computación gráfica y la flexibilidad que le confieren las redes (LAN, WAN) y la red de redes (INTERNET) facilitar la comunicación de información y la toma de decisiones (Flores, 2004).

Todos los elementos que rodean a los hombres, ya sean de carácter físico o humano, generan en él una serie de interrogantes acerca de la existencia de los mismos, su composición, su funcionalidad, su distribución, su organización espacial, la relación que establecen entre ellos y, claro está, la relación entre éstos y el propio individuo.

Bosque (1992) define el análisis espacial como “el conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos, en los que se considera de alguna manera, sus características espaciales”. De acuerdo a los objetivos de este trabajo, se puede indicar, que se pretende generar un análisis espacial de las transformaciones sufridas por la línea de costa debido a su morfodinámica.

1.3 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 franja 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 litosfera, la hidrosfera, 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 mayoría de 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:
- Tierras altas limítrofes, de rocas duras.
 - Tierras bajas limítrofes, de rocas suaves.
 - Zonas limítrofes de depósitos sin consolidar.
 - 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 (Figura 1.1).



Figura 1.1. Principales formas costeras. Tomado de Slideplayer.com (2019).

Según la definición manejada por Guilcher (1958), se presentan a continuación algunos conceptos de dichas geformas, bajo su identificación dentro del área de estudio de la presente tesis:

a) Acantilados y plataformas rocosas

Un acantilado es una ruptura de pendiente, no cubierta por vegetación, cuyo nivel es normalmente empinado, entre 15° y la vertical; su altura es muy variable, llegando a sobrepasar los 1 000 m (Guilcher 1958), en el caso de los mayores acantilados conocidos. 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. 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).

b) Playas y dunas costeras

De acuerdo a Torrete (2017), 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.

La playa se divide de acuerdo a su morfología en: cara de playa, playa frontal, playa distal y médano (Figura 1.2).

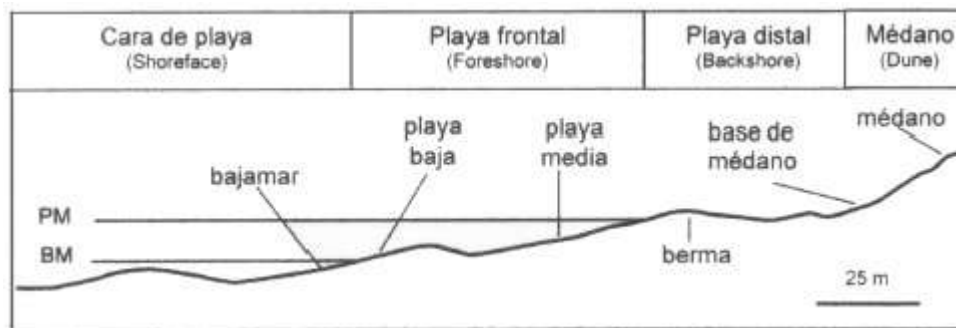


Figura 1.2. Partes de la playa (Tomado de Torrete, 2017)

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. De cualquier forma, un cierto tipo de vegetación favorece la formación de dunas costeras.

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 (Cuadrado, 2012). 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 movimiento 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.

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. Aún en desembocaduras sin deltas, existen 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.

1.4 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 términos 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, 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. Como ejemplo de las causas antrópicas de carácter local, se pueden mencionar, la retención de sedimentos en las presas que reduce 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 local. Mientras que a nivel regional o global, impacta especialmente 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 operan. 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, común. pers.).

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. 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.

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 y deben utilizarse como referencias para observar tendencias con respecto a la actualidad.

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. Cuando esta fuente de datos está disponible, es la más común para determinar posiciones pretéritas de la línea de costa, con una adecuada precisión.

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 estatales, 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 está 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.

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

Los estudios geográficos ambientales en las zonas costeras son variados. En los relacionados con la morfodinámica costera se pueden consultar trabajos muy consistentes que abordan la problemática mediante análisis cuantitativos (Ojeda, 2001; Hernández *et al.*, 2006; Jiménez, 2010; González, 2011; Rodríguez, 2012; Ordaz, 2016).

El presente trabajo, empleará metodologías cuantitativas, como posteriormente se podrá constatar; por tal motivo se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de artículos científicos, tesis de posgrados y otras fuentes, de investigaciones que siguieran este enfoque.

A continuación, se describirán los aspectos más importantes de un grupo de investigaciones. Por ejemplo, Codignotto, (1997) quien realizó un análisis geomorfológico de las zonas de erosión y acreción en la región del estrecho de Magallanes. Esto con el objetivo de identificar los principales factores formadores de costas en la región de estudio, identificando una relación directa entre las direcciones de las microcorrientes marinas con las zonas de generación de playas.

Ojeda, (2001) realiza una revisión crítica de las metodologías utilizadas para el cálculo de los riesgos de erosión, tanto de la peligrosidad natural (tasas de erosión) como de algunos aspectos de la vulnerabilidad (cartografía de la peligrosidad natural actual y potencial). Ojeda, hace énfasis en que las fuentes de información mejor adaptadas a la evaluación de este riesgo son la fotogrametría digital en combinación con D_GPS y la altimetría láser aerotransportada (LIDAR), ya que permiten obtener cualquier tipo de tasa de erosión, no pierden continuidad espacial y proporcionan información altimétrica de precisión.

Entre los trabajos realizados en México y que se pueden considerar con aportes importantes desde el punto de vista metodológico y de aplicación de los resultados, se destaca el trabajo realizado por Hernández *et al.*, (2006). Estos autores evaluaron las tendencias morfodinámicas en el margen costero del estado de Tabasco (retroceso y acreción costera), mediante la aplicación del método cartográfico histórico-comparativo de documentos correspondientes a los años 1943, 1972, 1984 y 1995, así como por observaciones y mediciones geomorfológicas de campo (2003-2004). Dichas observaciones se ejecutaron en algunos sectores con régimen de retroceso sostenido de la costa, entre los que se destacan las tasas medias anuales de retroceso del poblado Sánchez Magallanes (-3 a -5 m/año) y de la desembocadura del río San Pedro y San Pablo (-8 a -9 m/año).

Siguiendo con casos de estudios en las costas mexicanas, Jiménez (2010), analizó la variación espacio-temporal (en metros/años) de la erosión y/o acreción en tres tipos de costas a lo largo de Veracruz, rectas o semirectas, curvadas o en forma de bahía y costas con infraestructuras antrópicas. Para el análisis utilizó fotografías aéreas de tres fechas

diferentes (1980, 1995 y 2006) como fuente de información y el método *EPR (End Point Rate)* para obtener la tasa de cambio anual de línea de costa. En este trabajo se demostró que los cambios en la costa no son lineales, las costas rectas presentan mayormente zonas de acumulación que de erosión y en las curvadas ocurre lo contrario; por lo anterior se sugiere que el aporte directo de los grandes ríos influye de forma directa en el balance de sedimentos en la costa.

En la costa del pacífico, González (2011) expone las tendencias morfodinámicas de las playas mazatlecas entre Punta Cerritos y la desembocadura del Río Presidio, entre los años 1977 y 2006. González aplicó el 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); complementando la información con observaciones y mediciones geomorfológicas de campo en el año 2009. A partir de las mediciones geomorfológicas realizó perfiles transversales a las playas en 13 estaciones (sitios) y se cartografiaron los diferentes morfoelementos de las playas, como bermas, dunas embrionarias y cadenas de dunas longitudinales.

Las herramientas de teledetección, también han sido empleadas al servicio del análisis de los procesos morfodinámicos. Por ejemplo, en Centroamérica, Rodríguez (2012) para la determinación de la magnitud de los procesos de erosión-sedimentación en la playa *El espino* (En el Salvador), utilizó como método fundamental el análisis multitemporal de imágenes aéreas y satelitales, complementándolo con perfiles geomorfológicos puntuales. Demostrando así, que los procesos de erosión que están teniendo lugar en la playa están determinados fundamentalmente por acciones antropogénicas. En ella se destaca la eliminación de la vegetación original de la playa y la construcción de instalaciones y viviendas sobre la zona activa de la playa, utilizando estilos constructivos que nada favorecen el funcionamiento morfodinámico de las playas y manifestando la utilidad de las imágenes en los estudios morfológicos de la costa.

Existen buenas experiencias, que conformaron antecedentes de consulta para este trabajo, especialmente en la zona geográfica del Caribe. Esta región se caracteriza por eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente los huracanes, capaces de modificar súbitamente la posición de la línea de costa; así como su morfometría. En este sentido se pueden citar las aportaciones metodológicas de Juanes (2015), Cervantes (2015) y Ordaz *et al.* (2016).

Juanes (2015), hace un profundo resumen de cómo enfocar en un primer momento el monitoreo de las playas en el Caribe y posteriormente realiza un excelente balance de las medidas mitigación más convenientes, esto según las condiciones geográficas específicas de cada sitio.

Por su parte Cervantes (2015), caracteriza el geoambiente costero urbano e industrial de Moa, en la costa norte del oriente de Cuba, esto con vista a identificar y evaluar geoindicadores que permitieran el diseño y establecimiento de programas de manejo. Entre los indicadores propuestos por Cervantes están la posición de la línea de costa, el nivel relativo del mar, los patrones de comportamiento oceánico, la geodinámica costera, entre otros.

Ordaz *et al.*, (2016), quienes generaron la evaluación de la morfodinámica costera de la playa Bailén, en el sur de Cuba occidental. Para lograr sus objetivos; aplicaron mediciones topográficas del perfil transversal de playa y de la posición de la línea de costa en 15 estaciones de observación, en los años 2007, 2010 y 2013, las que fueron comparadas con la posición del año 2003 (posición de referencia). Los volúmenes de arena acrecionada o erosionada en el período 2003-2007 fueron estimados después de los impactos del huracán Iván del año 2004. Estos autores incluyen además, la realización de ensayos granulométricos para establecer la tendencias espacio-temporales en el comportamiento del diámetro promedio de los granos de arena.

Erikson *et al.*, (2017) desarrollaron un estudio de la evolución de los perfiles de playa en el sureste de California, esto, mediante la generación de un modelo en periodos decadales y centenales que consideraran al factor cambio climático. Lo que obtuvieron

fueron escenarios de ascenso del nivel del mar para el año 2100, en los que calcularon un incremento medio de un metro en el nivel del mar.

1.6 El manejo integrado de zonas costeras.

Las zonas de costa por su naturaleza geológica, compuestas por litologías de edades recientes y poco consolidadas, se convierten en sitios muy susceptibles a sufrir cambios en un corto lapso de tiempo. El oleaje, las mareas, las corrientes, el viento, los cambios seculares del nivel medio del mar y la actividad antropogénica son algunos de los factores que influyen en la dinámica de las playas, determinando su grado de fragilidad.

Después de la Cumbre de la Tierra en 1992, el Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) es considerado el eje central organizativo y parte esencial del desarrollo sostenible en las zonas costeras. Esta forma de gestionar dichos espacios se sustenta en la necesidad de que los recursos presentes en la región no desaparezcan, sino que perduren, modelando las intervenciones del hombre en el medio, las acciones para evitar su deterioro y la preocupación por hacer un uso racional de los mismos (Windevoxhel *et al*, 2000).

En la actualidad, el análisis de los cambios morfodinámicos de las costas constituye una de las direcciones ambientales e ingenieriles de mayor significado para su planeación y su desarrollo sostenible, así como para la preservación y la protección de sus recursos naturales (Ordaz *et al*, 2016).

1.7 Marco Legal y Normativo aplicable zonas costeras mexicanas.

En este acápite se enuncian los tratados internacionales, leyes nacionales y normas tanto internacionales como mexicanas que tienen que ver con el manejo de zonas costeras, esto mediante una síntesis que se puede observar en la tabla 1.1.

El propósito de este apartado es identificar las leyes y normas que rigen a los ecosistemas costeros, para de este modo, poder abordar la zona de estudio desde un enfoque de manejo integrado y también así fundamentar las posibles medidas a aplicar de acuerdo a los resultados de la investigación.

Tabla 1.1. Marco Legal y Normativo aplicable a las zonas costeras. Elaboración propia con base en el Diario Oficial de la Federación, *International Standardization Organization* y Normas Oficiales Mexicanas.

CONVENIOS INTERNACIONALES				
Convenio	Estatus	Países u organizaciones que lo establecen	Fecha de Publicación en el Diario Oficial	Sinopsis
Convención para la Protección de la Flora, de la Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América.	Vigente	Organización de Estados Americanos	29/05/1942	Se definen las áreas protegidas y se conviene su creación. Se adoptan medidas de protección para la fauna y flora, la apertura al público, la investigación científica de ciertos espacios protegidos y la emisión de instrumentos legislativos en la materia.
Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas "Convención de Ramsar".	Vigente	UNESCO	29/08/1986	Se establecen acciones y medidas a cargo de los Estados para conservar los humedales, flora y fauna que cada uno designe y las actividades en la materia de la Oficina Permanente que se crea al efecto, cuyas funciones quedan aseguradas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.
Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural.	Vigente	UNESCO	02/05/1984	Se reconoce la obligación de identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el patrimonio cultural y natural situado en el territorio de cada una.
Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar	Vigente	México, Reino Unido, Estados Unidos y Rusia	16/07/1975	Se establecen medidas generales para prevenir el vertimiento de

por Vertimiento de Desechos y otras Materias.				desechos u otras materias nocivas, desde buques, aeronaves, plataformas u otras construcciones en el mar.
Acuerdo para la Creación del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global	Vigente	Organización de Estados Americanos	06/07/1993	Se crea el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global como un organismo científico de investigación interdisciplinaria y cooperación en materia de cambio climático.
Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas.	Vigente	México Venezuela	29/11/2000	Se establece como objetivo promover la protección, conservación y recuperación de las poblaciones de tortugas marinas y del hábitat del cual dependen, basándose en los datos científicos disponibles y considerando las características ambientales, socioeconómicas y culturales de las partes.

LEYES NACIONALES

Ley	Estatus	Inclusión	Fecha de publicación en el Diario Oficial	Sinopsis
LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE	Vigente	Artículo 3ro. Fracción XIII BIS	05/06/2018	Se hace la definición de Ecosistema costero.
LEY GENERAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL Y SUSTENTABLE DE LAS COSTAS MEXICANAS	Propuesta	N/A	N/A	Establecer mecanismos coordinados para la conservación, mejoramiento, protección civil, zonas de protección, áreas de

				amortiguamiento y de seguridad en las zonas costeras
LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO	Vigente	Artículo 29. Fracción IV. Artículo 30. Fracción XVIII. Artículo 82. Fracción II.	13/07/2018	Se consideran acciones de adaptación la conservación, el aprovechamiento sustentable, rehabilitación de playas, costas, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar y cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas para uso turístico, industrial, agrícola, pesquero, acuícola o de conservación.
LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL	Vigente	Artículo 2. Fracción XXIV	19/01/2018	Relación a fenómenos hidrometeorológicos que afectan zonas costeras
LEY FEDERAL DEL MAR	Vigente	Artículo 23. Artículo 34. Artículo 36. Artículo 37. Artículo 38.	08/01/1986	De los límites entre costas y aguas.
Propuesta de la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES)	Propuesta	N/A	N/A	Se propone la creación de de un ente gubernamental que se encargue de la gestión de mares y costas.
NORMAS				
Norma	Estatus	Aplicación (Nacional/Internacional)	Año de publicación	Sinopsis
ISO 13009	Vigente	Internacional	2016	La norma ISO 13009 sobre calidad en playas se aplica a partir de la gestión de riesgos y peligros en la playa,

				identificando las medidas de control para ayudar a reducir la probabilidad de frecuencia o impacto.
ISO 14001	Vigente	Internacional	2015	Conseguir el equilibrio entre el medio ambiente, la sociedad y la economía está considerado como algo esencial para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones a la hora de satisfacer sus necesidades.
NOM-22-SEMARNAT	Vigente	Nacional	2003	Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.
NOM-021-SEMARNAT	Vigente	Nacional	2002	Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Delimitación y estructura territorial

El municipio de Acapulco de Juárez, tiene una extensión territorial de 1,883.60 km², que representa el 2.6% de la superficie del Estado, cuenta con un litoral de 62 km que constituye el 12.3% de la costa Guerrerense. Forma parte de los 81 municipios que tiene el Estado.

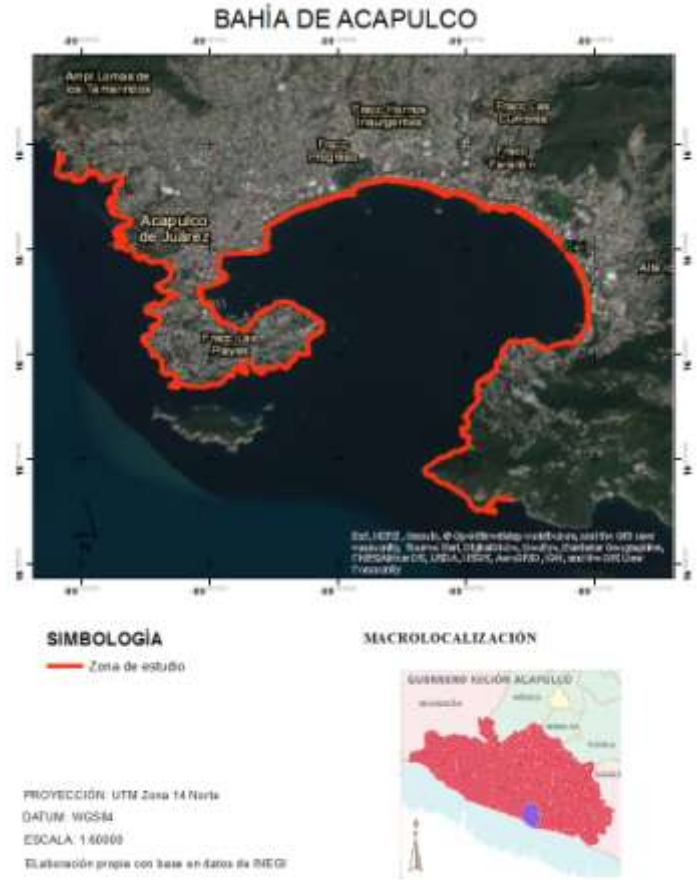


Figura 2.1. Ubicación de la zona de estudio. Elaboración propia.

El municipio de Acapulco, está integrado por una cabecera municipal que es la ciudad de Acapulco, está organizado territorialmente por 67 comisarías y 57 delegaciones municipales. Geográficamente está ubicado entre los paralelos 16°41' y 17°14' de latitud norte; los meridianos 99°28' y 101°00' de longitud oeste. Tiene una altitud que oscila entre

0 metros y 2,000 metros. Colinda al norte con los municipios de Juan R. Escudero (Tierra Colorada) y Chilpancingo de los Bravo; al oriente con el municipio de San Marcos, al sur con el océano pacífico y al poniente con el municipio de Coyuca de Benítez.

En particular, el área objeto de estudio corresponde a 30 km de periferia de costa de la bahía de Acapulco, (Figura 2.1) y es donde se concentra la principal actividad económica del municipio.

2.2 Clima y temperatura

Acapulco cuenta con un clima tropical húmedo y seco, clasificado como Aw por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura anual en Acapulco se encuentra entre 31.4 °C la máxima y la mínima a 24.5 °C, con una temperatura media de 27.9°C. Las tormentas tropicales y los huracanes son una fuerte amenaza desde mayo hasta noviembre. En los últimos 50 años la bahía ha sido impactada con distintos niveles de intensidad por al menos 2 huracanes y tormentas tropicales. Este elemento es un factor modificador de la geomorfología de la costa que se debe tener en cuenta en la interpretación de los resultados de esta tesis. Así mismo, en los últimos 50 años los huracanes más intensos han sido: Claudia, un huracán categoría 1 de acuerdo a la escala Saffir-Simpson que impactara en 1973, Pauline en 1997, un huracán categoría 4, el cual causó severos daños en la mancha urbana de Acapulco, se registraron numerosos movimientos de materiales térreos, como caídos de rocas y flujos de lodo y escombros, detonados por la saturación y colapso de algunas de las zonas altas con pendientes fuertes que rodean a dicha población y Lester que impactara en 2004, que fue un huracán categoría 1 (CONAGUA, 2012 y CENAPRED, 2000).

Los meses con más días de lluvia son agosto y septiembre con máximos acumulados en 24 horas de 226 mm. Su precipitación anual promedio es variada, en su extremo sur, particularmente en el sureste donde se ubica el área objeto de estudio, alcanza hasta los 1 200 mm.

En la zona centro y los extremos oeste y suroeste del territorio donde se localiza la cabecera municipal se presentan precipitaciones de anuales promedios de 1500 mm. En su extremo norte, en una muy pequeña porción, se llega a presentar precipitaciones de hasta 2 000 mm.

2.3 Fisiografía

De acuerdo con la clasificación de Raisz, (1964), el área se ubica en la provincial fisiográfica de la Sierra Madre del Sur; la parte norte, corresponde a la subprovincia Cuesta del Sur y la sur, a la llamada Planicie Costera.

En el norte, destacan sierras con alturas hasta de 1850 m y cerros que alcanzan 500 m. En el sur, a partir de la cota 500 m la morfología es de cerros aislados, en dirección a la costa las pendientes disminuyen paulatinamente hasta formar una faja costera de amplitud variable y se denominan Lomerío de la Vertiente del Pacífico y Planicie Litoral, donde se aprecian abanicos aluviales, planicies lacustres y ocasionalmente de inundación.

2.4 Hidrografía

El municipio forma parte de dos regiones hidrológicas, la Costa Grande y en ella prácticamente toda la zona oeste, suroeste y sur del municipio perteneciente a la cuenca del río Atoyac, mientras que el resto del territorio municipal forma parte de la región Costa Chica-Río Verde. Además, el municipio es enriquecido por el río Papagayo. Otros recursos hidrológicos de importancia son el río de La Sabana que cruza el municipio, los arroyos de Xaltianguis, Potrerillo, La Provincia y Moyoapaasí, así como las lagunas de Tres Palos y de Coyuca.

Tabla 2.1 Hidrografía de Acapulco.

Hidrografía	Región Costa chica-Río verde	68.38%
	Región Costa grande	32.62 %
Cuenca:	Río Papagayo	49.66%
	Río Atoyac y otros	31.62%
	Río Nexpa y otros	18.72%
Subcuenca		
	R. Papagayo	48.14%
	R. La Sabana	24.81%
	R. Cortés y Estancia	18.72%
	B. de Acapulco	6.73%
	R. San Miguel	1.52%
R. Coyuca	0.08%	
Corrientes de agua	Perennes: Xaltianguis, La Sabana, La Joya, Papagayo, El Pozuelo, Aguacostia, Potrenillos, Moyoapa, Santa Rosa y Grande.	
Cuerpos de agua	Perennes: Laguna de Tres Palos, Gral. Ambrosio Figueroa (La Venta) y Laguna de Coyuca.	
Fuente: Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Acapulco, Guerrero. 2010.		

2.5 Constitución y evolución geológica de la región.

El área de estudio se encuentra dentro del Terreno Tectoestratigráfico Xolapa. De acuerdo a Campa (1990) un terreno es una entidad geológica extensa caracterizada generalmente por una secuencia estratigráfica coherente en la cual la continuidad deposicional puede ser establecida. La secuencia litológica del terreno representa una historia geológica diferente de los terrenos adyacentes o cercanos al interior cratónico.

El terreno Xolapa cuyo basamento está representado por el Complejo Xolapa (Figura 2.2) fue descrito por primera vez por De Cserna (1965) como una secuencia potente de rocas metasedimentarias de intensidad variada (esquistos de biotita, gneis de biotita, mármol cipolino y anfibolitas) que aflora entre El Ocotito y Acapulco, Gro. Ortega (1981) sitúa el complejo Xolapa paralelo al litoral del Pacífico, con una longitud de 600 km de largo de ancho que oscila de los 50 a 150 km, que va de Salina Cruz, Oax. a Zihuatanejo,

Gro. Interpreta el Complejo Xolapa como un arco magmático, construido por un proceso continuo de emplazamiento de magma y migmatización de la corteza.

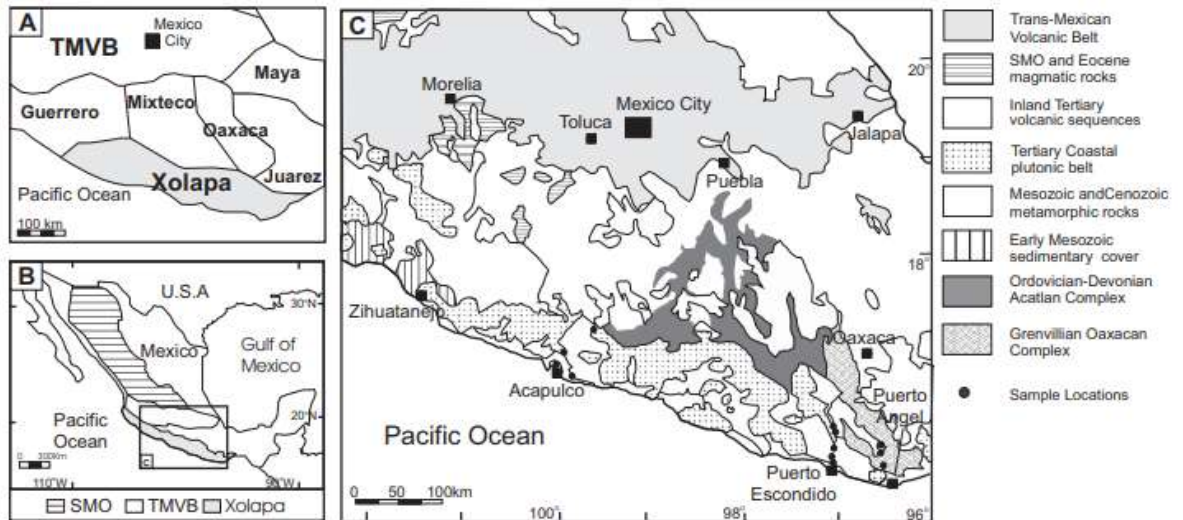


Figure 1. (A) The tectonostratigraphic division of southern Mexico showing the main terranes as well as the location of the Xolapa Complex (after Campa and Coney, 1983). (B) Distribution of Tertiary magmatic provinces in Mexico (Morán-Zenteno et al., 1999); SMO—Sierra Madre Occidental; TMVB—Trans-Mexican Volcanic Belt. (C) Schematic geologic map of southern Mexico, showing sample locations (after Ortega-Gutiérrez et al., 1999).

Figura 2.2. Constitución del complejo Xolapa (Ducea *et al*, 2004).

El magmatismo en el Terreno Xolapa termina por actividad de plutonismo contra los terrenos adyacentes, el cual se caracteriza por un patrón sistemático en las edades de cristalización entre 35 m.a., al oeste de Acapulco, hasta 27 m.a., al este de Puerto Ángel, conformando el Batolito de la Costa, mismo que se caracteriza por presentar una serie de cuerpos intrusivos de composición granítica, granodiorítica y diorítica, con intemperismo esférico, al microscopio presentan textura granular, hipidiomórfica holocristalina cuyos componentes principales son: Ortoclasa, albita, oligoclasa, biotita y anfíbol (Morán, 1997).

Morán (1997) y otros autores concluyen que los patrones geocronológicos, la geoquímica del magmatismo del sur de México y sus relaciones con los principales rasgos tectónicos reconocidos expresan una relación compleja.

La plataforma en la que se encuentra la bahía de Acapulco se encuentra en la Unidad morfo-tectónica VIII de acuerdo a la clasificación morfo-tectónica de Carranza *et al* (1976), misma que se describe a continuación.

Cubre una longitud aproximada de 1260 km desde Puerto Vallarta, Jalisco hasta Tehuantepec, Oaxaca. Se encuentra en la Planicie Costera Suroccidental, la cual se limita al norte por la Sierra Madre del Sur, al oeste por la Cordillera Neovolcánica y al este por el Portillo Ístmico. Las provincias fisiográficas con que se asocia son: Zona Montañosa de la Costa del Suroeste, Cuenca del Balsas y Zona Montañosa de Guerrero-Oaxaca. Frente a esta unidad se tiene una plataforma continental muy angosta, que se ensancha ligeramente en las cercanías del Delta del Río Balsas y del Batolito de Oaxaca. La línea de costa es paralela a la Fosa México Mesoamericana.

En general se presentan costas rocosas, abruptas, a excepción de algunas áreas donde, por influencia de corrientes fluviales, se desarrolla una incipiente planicie costera. Las rocas más abundantes en la parte continental, son metamórficas e ígneas, con edades paleozoicas y posiblemente precámbricas. De acuerdo a Ducea *et al* (2004), específicamente la zona de la bahía de Acapulco se encuentra conformada por rocas plutónicas del terciario en general (Figura 2.3), aunque se puede analizar de mejor la distribución en el plano geológico de CONAGUA (2015) debido a la escala, en este, se pueden apreciar las litologías de la zona de estudio (Figura 2.4).

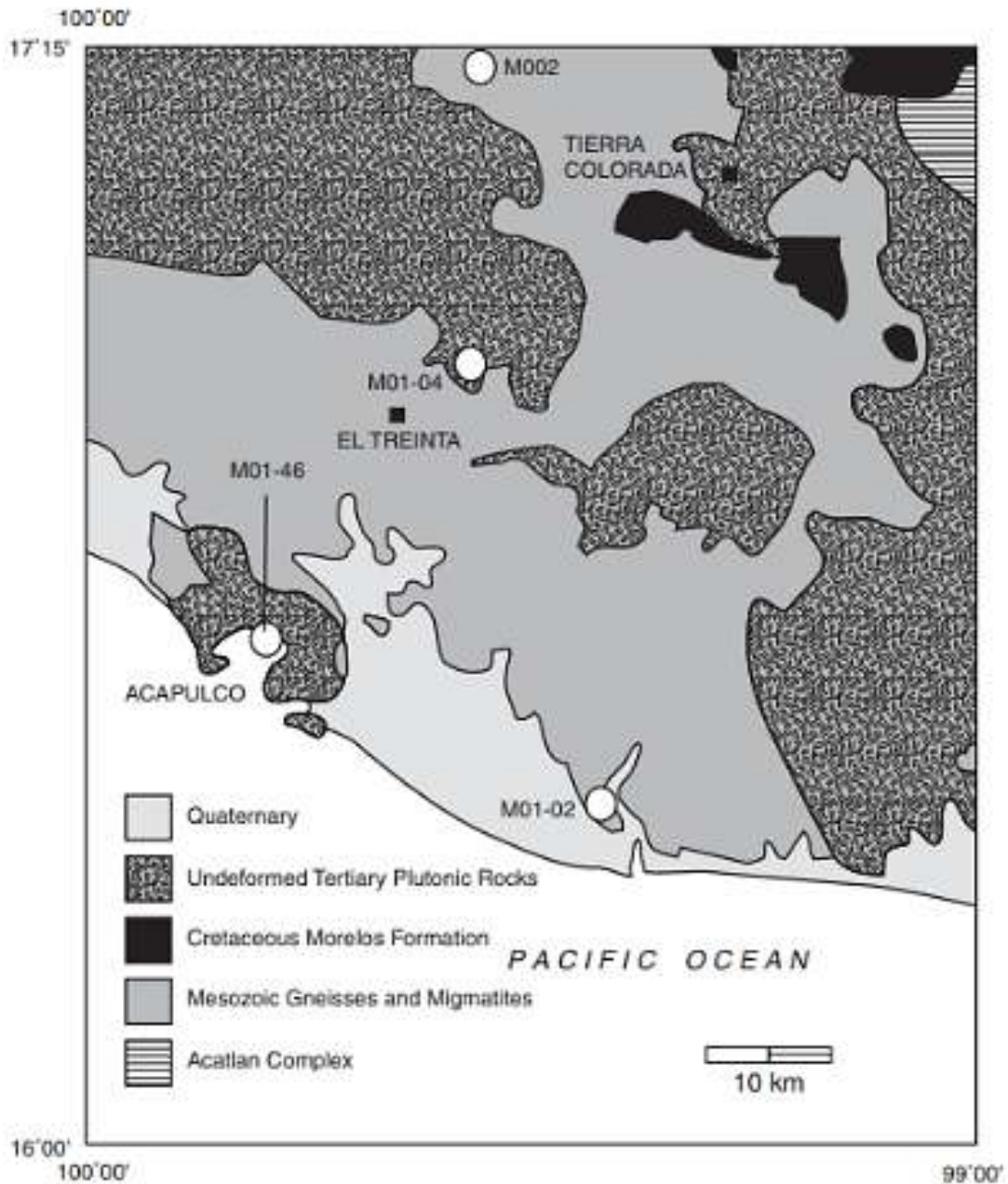


Figura 2.3. Plano geológico de Acapulco (Ducea *et al*, 2004).

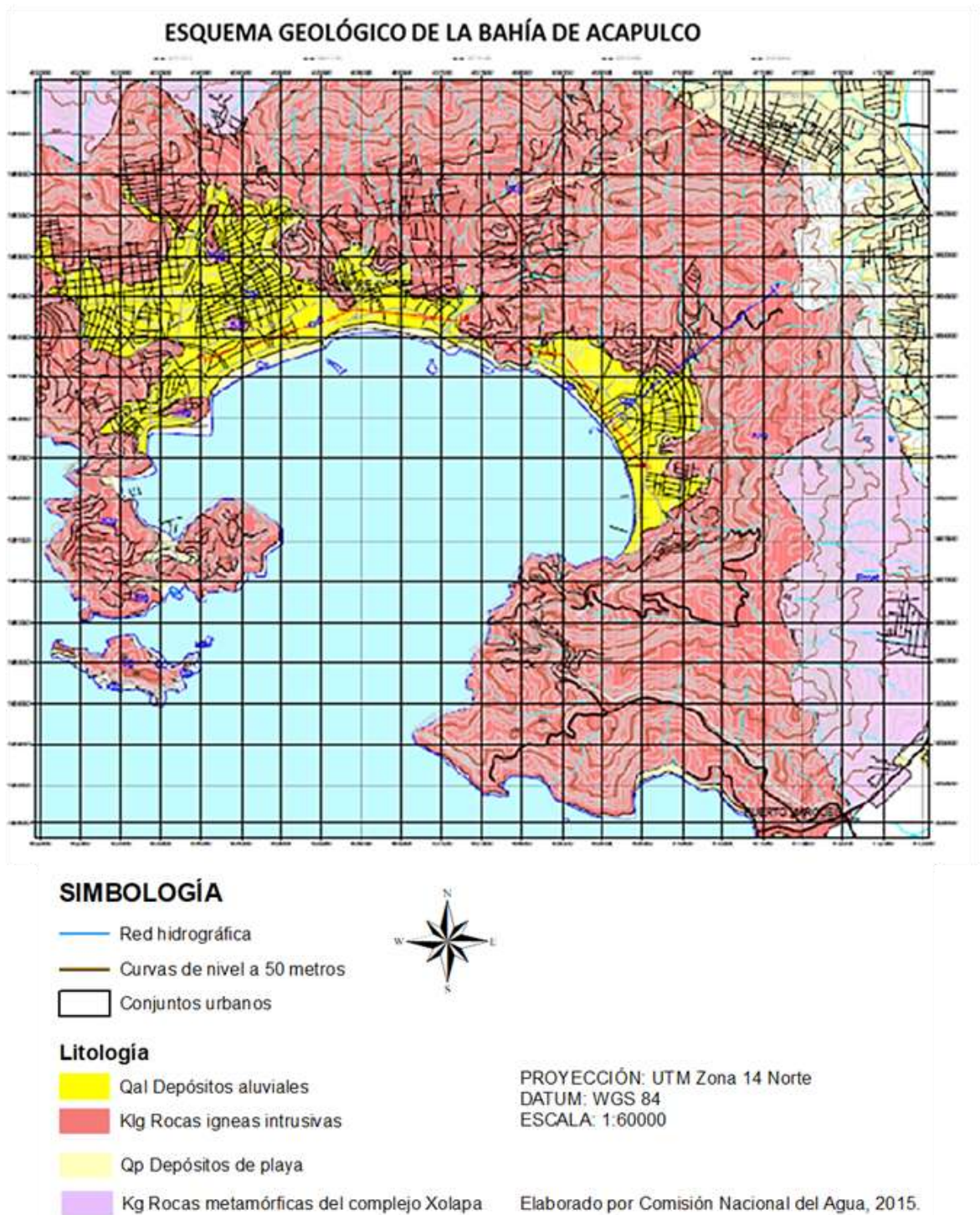


Figura 2.4. Esquema Geológico de la bahía de Acapulco (CONAGUA, 2015).

El Estado de Guerrero sitúa en el borde sureste de la placa norteamericana y frente a la costa de la entidad se localiza la llamada fosa de Acapulco, formando parte de la Trinchera Mesoamericana, que marca la zona donde la placa cortical oceánica de Cocos es cabalgada por la placa continental de Norteamérica, provocando tensiones, fallamientos y movimientos sísmicos. Esta zona del margen pacífico no ha experimentado grandes rotaciones o traslaciones latitudinales desde el Cretácico Medio y que las rotaciones estarían relacionadas a una cizalla lateral izquierda a lo largo de la Margen Continental (Morán 1997).

Para el Terreno Xolapa, los resultados paleomagnéticos en los granitos de Acapulco y El Ocotito indican una estabilidad regional desde el Terciario Temprano. Las Rocas metasedimentarias del Complejo Xolapa tienen una complicada historia de deformación, intrusión y metamorfismo. Estas rocas metasedimentarias con intrusiones de plutones tonalíticos en el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, pueden haber sido derivados de fuentes proterozoicas. La afinidad con las rocas paleozoicas del Complejo Acatlán y las edades obtenidas en el complejo metamórfico en la zona norte del Terreno Xolapa, sugieren que estas rocas representan el basamento del Terreno Mixteco, reconstruido durante los procesos metamórficos y plutónicos del Cretácico Temprano (Morán 1993).

Las edades de las rocas sedimentarias de este complejo son similares a las edades de los complejos Acatlán y Oaxaca, lo que sugiere que la primera generación de plutones se emplazó en un arco magmático continental, desarrollado en el borde de dichos terrenos o muy cercano a ellos (Morán 1997).

Hermann (1994) y otros constatan que el Complejo Xolapa revela metamorfismo de alto grado y migmatización a escala grande, culminando entre 34 y 46 Ma. La duración de esta actividad termal coincide con el tiempo de subducción de la Placa Farallón debajo del margen continental Norteamericano, y es consistente con la interpretación de dicho complejo como un arco magmático, cuya actividad termal culmina en el Terciario Temprano. Ocurre también crecimiento cortical generalizado por plutonismo de

composición granodiorítico, tonalítico y granítico entre los 27 y 37 Ma, posiblemente indicando una actividad local más temprana. Esto puede representar la etapa final de la evolución del arco del Complejo Xolapa, antes de que la actividad magmática cambiara a su posición actual en México central (Eje Neovolcánico Transmexicano).

El Terreno Xolapa contiene rocas plutónicas y en menor frecuencia, rocas volcánicas de edades del Cretácico Tardío, Paleoceno, Eoceno y Oligoceno. La edad de los plutones Cenozoicos del Terreno Xolapa varía aproximadamente 45 Ma (Eoceno) en la zona occidental del Terreno a 12 Ma (Mioceno) en la parte oriental (Salinas *et al* 2000). Las variaciones en la edad de los plutones del margen continental, desde Puerto Vallarta, hasta Huatulco, muestran una migración del magmatismo con dirección NW-SE. En cambio, en el segmento Acapulco-Huatulco (550 km) existe un decremento de edad de 21 a 33 Ma y velocidad de migración de 45.8 km/Ma, la cual es significativamente más alta (Hernández, 1995).

La disminución progresiva de edades de enfriamiento de los plutones sugiere un mecanismo tectónico adicional al gravitacional. La geobarometría de plutones indica que el emplazamiento de los cuerpos ígneos oligocénicos ocurrió a profundidades entre 10 y 22 km. Las edades calculadas con distintas pruebas isotópicas permiten estimar tasas de enfriamiento mayores a 100°C por millón de años, lo cual es considerablemente mayor que la norma reportada para rocas continentales en otras partes del mundo (Tolson 1998). La cinemática activa, desde un punto de vista sismológico es compleja, ya que no hay evidencia sísmica de grandes fallas laterales. Los sismos se caracterizaron como inversos (asociados a la subducción) (Tolson, 1998).

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales empleados

3.1.1 Imágenes LANDSAT

Entre los satélites de recursos, el programa Landsat, operado por la Agencia Espacial Norteamericana (NASA por sus siglas en inglés) puede considerarse el más fructífero, puesto que ha proporcionado datos multiespectrales de alta resolución a una amplia gama de usuarios durante más de 25 años, lo que representa el registro más largo de información sobre la superficie terrestre obtenido de forma global y repetitiva desde el espacio.

A mediados de los 80, el programa Landsat entra en una nueva etapa en cuanto a financiación y funcionamiento con la transferencia del programa al sector privado. En 1985 la compañía EOSTAT (*Earth Observation Satellite Company*) recibe los derechos para vender productos Landsat por un período de 10 años con el compromiso de participar en el desarrollo de futuros sensores. El gobierno de Estados Unidos de América mantenía la responsabilidad en el control físico de la plataforma y se comprometía a colaborar en el desarrollo de los Landsat 6 y 7.

Este proyecto ha culminado con el lanzamiento en 1999 del Landsat 7, que se esperaba tuviera una vida de cinco años. El Landsat 7, aún active, parece abrir nuevas expectativas en la distribución y comercialización de los datos con el abaratamiento de los productos y el consiguiente acceso a un mayor número de usuarios.

Instrumentos de observación

En lo que a equipamiento se refiere el programa Landsat puede ser estructurado en 3 generaciones. Una primera fase constituida por los Landsat 1, 2 y 3 cuyo equipamiento estaba formado por un explorador de barrido multiespectral MSS (Multispectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras vidicon RBV (Return Beam Vidicon).

Los satélites de la segunda generación Landsat 4 y 5 mantienen el sensor MSS para garantizar la continuidad de los datos anteriores, eliminan las cámaras RBV e incorporan un

nuevo sensor denominado TM (Thematic Mapper) diseñado para la cartografía temática que proporciona datos de mayor resolución espacial, espectral y radiométrica.

Con el lanzamiento del Landsat 7 (ya que el 6 no llegó a funcionar) se entra en una versión mejorada de la segunda generación con la incorporación de una versión actualizada del TM denominado ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) *Sensor Thematic Mapper* (TM) y el ETM+.

En la segunda generación del programa Landsat se introdujo un nuevo tipo de sensor, denominado Thematic Mapper (TM), diseñado para la cartografía temática. Al igual que su predecesor, el MSS, el Thematic Mapper es un equipo de barrido multiespectral. Frente al MSS, el TM aumenta el número de detectores, de 24 a 100, a la vez que se reduce el campo de visión, se aumentan los niveles de codificación y se realiza el barrido en dos direcciones. Todo ello le permite mejorar la resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 a 30 m, de 4 a 7 bandas, y de 6 a 8 bits.

En el TM, cada oscilación del espejo supone 16 líneas de barrido, frente a 6 en el MSS. De esta forma se precisan 16 detectores por banda, salvo la banda térmica que registra una menor resolución (120 m) y solo requiere cuatro detectores. Este aumento en el número de detectores complica el proceso de calibración, a la par que aumenta el volumen de datos a procesar (6 veces superior al MSS). Los detectores están formados por tubos de silicio, para las bandas 1 a 4, indio-antimonio para las bandas 5 y 7, y mercurio-cadmio-telurio para la banda 6.

En la actualidad el Landsat 7 está equipado con una versión mejorada del TM denominado ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) por lo que todo lo explicado en este apartado para el TM es de aplicación para el ETM+. El ETM+ incorpora a mayores una banda pancromática (0.5 a 0.9 μm) con una resolución espacial de 15 m, lo que permite obtener ampliaciones a una escala de hasta 1:25.000.

3.1.2. Software de procesamiento de imágenes satelitales (ENVI)

El software ENVI es un sistema de procesamiento de imágenes diseñado para proporcionar análisis multiespectral de los datos obtenidos por la teledetección desde aviones y satélites, puede analizar imágenes de cualquier tamaño, con su procesamiento de imágenes basado en ficheros y bandas.

ENVI le permite trabajar con imágenes estero, bandas individuales o ambas, cada banda espectral está disponible para todas las funciones del sistema. Se puede seleccionar bandas de varios ficheros para procesarlas juntas. ENVI está completamente escrito en IDL (lenguaje de datos interactivo), basado en matrices, que proporciona un procesamiento de imágenes integrado, grandes capacidades de visualización.

Posee además las herramientas necesarias para el tratamiento de las fotos aéreas e imágenes de radar las que son muy útiles cuando encontramos cubrimiento de nubes. ENVI permite el procesamiento de datos en la gestión del medio ambiente, y calidad de productos, proporcionando una fuente alterna a la información de campo, estas imágenes detectan minerales específicos o manchas de petróleo, ofrece el máximo de información para el planeamiento y análisis urbano, en este software se pueden hacer estudios morfológicos del terreno a partir de la batimetría con una amplia variedad de sensores ópticos y de radar muy usados en los estudios Oceanográficos y costeros (Méndez *et al*, 2007).

3.1.3. Otros materiales

Además de las imágenes Landsat empleadas en esta tesis, donde se procesaron imágenes en el periodo de tiempo comprendido entre el año 1985 y 2017; también fue necesario el empleo de otros materiales de apoyo (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Materiales de apoyo para el estudio de la morfodinámica costera de la bahía de Acapulco.

Otros Materiales	
Material	Descripción
Imágenes Landsat 5TM C1 nivel 1 y 7ETM+ C1 nivel 1	Las imágenes LANDSAT 5 TM y las LANDSAT 7 tienen una resolución de 30m, un ancho de pasada de 185 metros y una revisita de 16 días. Dichas imágenes fueron obtenidas del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos), mediante la página GloVis, creando una cuenta y activando el buscador. https://glovis.usgs.gov/app?fullscreen=1
Software de procesamiento de imágenes satelitales ENVI Classic	Es un sistema de procesamiento de imágenes diseñado para proporcionar análisis multiespectral de los datos obtenidos por la teledetección desde aviones y satélites, puede analizar imágenes de cualquier tamaño, con su procesamiento de imágenes basado en ficheros y bandas.
Software SIG QGIS 3.4 64 bits	QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta

	numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos raster y bases de datos.
Nivel fijo	Es un instrumento que se usa en la nivelación diferencial de un terreno y se compone de un anteojo telescópico para crear la línea de visión y permitir la toma de lecturas de un estadal y un sistema para orientar la línea de visión en un plano horizontal (Wolf y Ghilani, 2016).
Estadal	Es un aparato de fibra de vidrio graduado en metros y decimales, el cual permite hacer mediciones con un nivel fijo o teodolito a fin de determinar diferencias de elevaciones (Wolf y Ghilani, 2016).
Cinta métrica	Cinta métrica marca TRUPER de 30m de fibra de vidrio.
Juego de tamices	Se utilizaron los tamices: No. 10, No. 18, No. 35, No. 60, No. 100 y No. 150
Agitador de tamices	Marca SHIEVESHAKER serie 18090
Balanza de laboratorio	Marca Scout de alta precisión

3.2. Secuencia metodológica

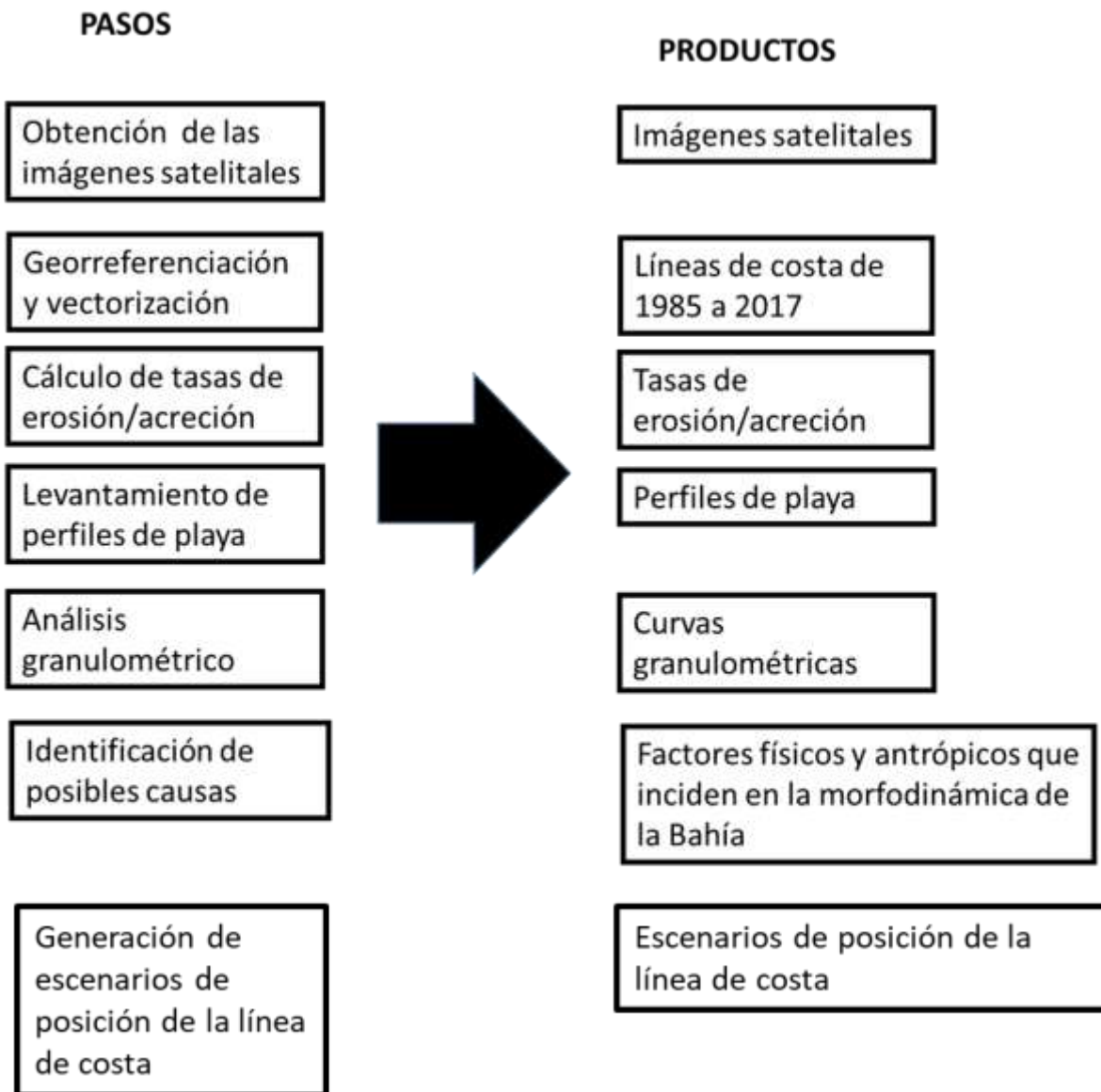


Figura 3.1. Secuencia metodológica. Elaboración propia

3.2.1. Obtención de imágenes satelitales

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron imágenes LANDSAT 5 TM y LANDSAT 7 ETM+ ambas de nivel 1 del periodo 1985 a 2017 por quinquenio, es decir, se descargaron las imágenes de los años 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2017, todas correspondientes al mes de abril y buscando las que presentaran la menor nubosidad posible en la zona de costa. Las imágenes fueron obtenidas de la base de datos del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) mediante la página de GloVis

(<https://glovis.usgs.gov/>), para esto fue necesario crear una cuenta de acceso en la página EarthExplorer (<https://ers.cr.usgs.gov/register/>). La secuencia para generara la descarga de las imágenes es la siguiente:

- 1- Acceso al sistema de EarthExplorer
- 2- Abrir el menú DATA Set
- 3- Buscar la secuencia LANDSAT collection 1 level-1
- 4- Click en LANDASAT 4-5 TM o bien LANDASAT 7 ETM+
- 5- Click en resultados

Al finalizar este procedimiento se despliega la colección de imágenes disponibles para descarga, solo basta seleccionar las necesarias para iniciar la descarga (Figura 3.2). Es importante señalar que, para un estudio de comparación temporal como el presente, es necesario que las imágenes sean del mismo mes o de fechas similares, para que no se generen sesgos por variaciones estacionales.

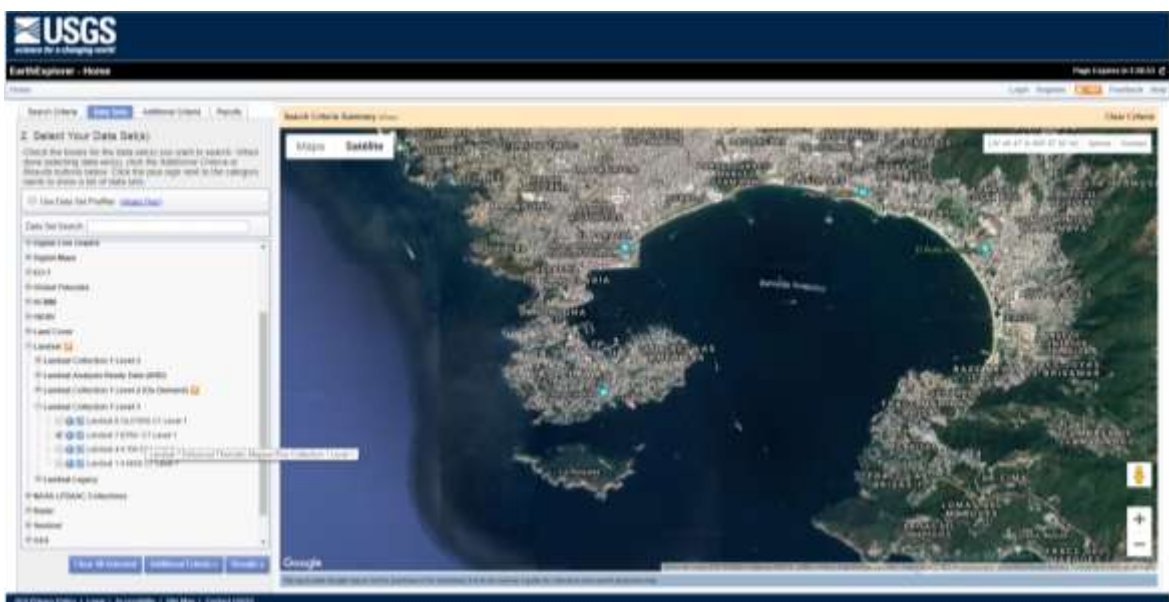


Figura 3.2. Ejemplo del ambiente web del sitio de descarga de imágenes LANDSAT 5 TM y LANDSAT 7.

3.2.2. Georreferenciación y vectorización

Para el proceso de georreferenciación de las imágenes satelitales se utilizó el software QGIS 3.4.0 mediante el siguiente proceso a cada imagen:

- 1.- Abrir un nuevo proyecto en QGIS y acceder a la configuración de QGIS mediante el menú *Configuración/Opciones/Pestaña General* y en la sección *Mediciones* marcamos la opción *Metros*.
- 2.- En el buscador de la ventana *Complementos* digitalizar *Georreferenciador* y activa la casilla de verificación que aparece junto al mismo.
- 3.- Carga en la interfaz de QGIS la capa raster (imagen satelital) previamente ubicada

mediante el botón *Añadir capa raster*



- 4.- Desplegar el menú *Raster/Georreferenciador* y haz clic sobre *Georreferenciador*.
- 5.- Añadir ahora al *Georreferenciador* la imagen que se va a georreferenciar.
- 6.- En el *Selector de Sistema de Referencia de Coordenadas* que aparecerá en pantalla indicar *UTM Zone 14N* y pulsa en *Aceptar*.

La interfaz del *Georreferenciador* está dividida en dos partes (Figura 3.3), en la parte superior la imagen que se va a georreferenciar y en la parte inferior el espacio destinado a los datos de los puntos de control (así se denominan a los dos pares de coordenadas X,Y de los puntos de control tomados en el dato de apoyo y en el dato a corregir.).

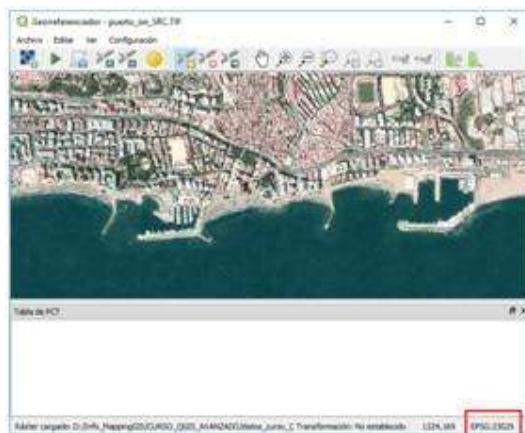



Figura 3.3. Interfaz del Georreferenciador de QGIS 3.4.0.

7.- Introducir esos puntos de control (Figura 3.4), para ello se selecciona el botón *Añadir*

punto  Para el caso de este estudio se introdujeron 10 puntos de control por imagen a fin de generar mayor exactitud en la información.

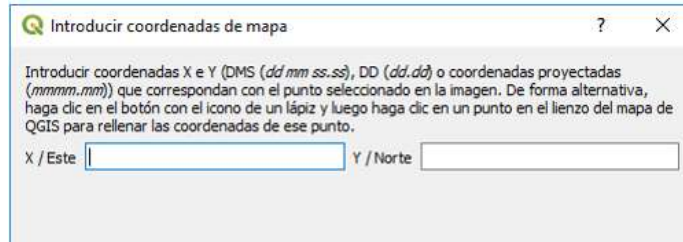



Figura 3.4. Interfaz para captura de puntos de control.

8.- Clic en el botón *Comenzar georreferenciado*  y aparece en pantalla una ventana de información que solicita que introducir el tipo de transformación (Fig. 3.5) En la ventana Configuración de la transformación se introdujeron los siguientes parámetros:

- Tipo de transformación: Polinomial 1
- Método de remuestreo: Vecino más próximo
- Compresión: NONE
- Raster de salida: puerto_corregido (Opcional).
- SER de destino: EPSG:32614 (corresponde a México y a la zona 14 Norte)



Fig. 3.5. Cuadro de diálogo para transformación de coordenadas en QGIS 3.4.0.

9.- Pulsar en *Aceptar* y después de unos segundos finaliza el proceso y la imagen georreferenciada se carga en la interfaz de QGIS.

Una vez finalizado el proceso de georreferenciación se procedió a Vectorizar la línea de costa de cada una de las imágenes en la zona correspondiente al área de estudio; esto también hacienda uso del software QGIS 3.4.0 realizando el siguiente proceso:

- 1.- Abrir un nuevo Proyecto en QGIS y cargar la imagen georreferenciada a vectorizar.
- 2.- Identificar la barra de edición en la interfaz (Figura 3.6).



Figura 3.6. Barra de herramientas de edición de QGIS 3.4.

- 3.- Clic en editar y comenzar el proceso de dibujo de la línea de costa haciendo el mayor acercamiento posible a fin de disminuir el error de edición.
 - 4.- Para finalizar, se guarda el vector generado (línea de costa) con formato *shapefile* (.shp)
- Al terminar el proceso de vectorización de las líneas de costa, se unieron para su análisis.

3.2.3. Cálculo de tasas de erosión o acreción

Una vez obtenidas las líneas de cota en formato shapefile, se identificaron las zonas en las que era más representativo algún proceso erosivo, es decir, que la línea más reciente se encontraba evidentemente más cercana a algún punto de referencia (por ejemplo, un edificio) que la más antigua, o bien inversamente.

Con base en lo anterior se seleccionaron en toda la bahía 10 puntos de control para determinar la distancia entre las líneas de costa de las diferentes temporalidades, y así poder calcular las tasas de erosión/acreción aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{L1-L2}{n}$$

L1= Línea de costa más antigua
L2= Línea de costa reciente
n= Número de años transcurridos

Dicha fórmula se aplicó entre cada línea de costa para al finar obtener la tasa global de erosión/acreción del periodo 1985-2017.

3.2.4. Elaboración de perfiles de playa

Un perfil de playa es una medida precisa de la inclinación y del ancho de la playa, la cual repetida a través del tiempo muestra cómo la playa está erosionando o acrecentando. El monitoreo consiste en medir el perfil de una playa desde un punto fijo establecido detrás de la playa. Este punto se llama marca de referencia y es el lugar donde se comenzará a medir. Es esencial siempre comenzar a medir el perfil de la playa en la marca de referencia. Si ocurre algún evento mayor como una tormenta tropical o huracán, el perfil de la playa debe medirse a la brevedad posible (UNESCO, 2007).

Para el caso de este estudio se elaboraron 10 perfiles transversales de playa, mediante el uso de un nivel fijo, un estadal y una cinta métrica. Los sitios seleccionados para realizar los perfiles coinciden con los puntos donde se calcularon las tasas de erosión/acreción. Los perfiles se tomaron mediante el siguiente proceso:

- 1.- Se niveló el aparato (Nivel fijo) mediante el ojo de buey del tripié.
- 2.- Se extiende la cinta de forma perpendicular a la línea de costa, desde un punto de referencia hasta el espejo de agua.
- 3.- Con ayuda del estadal se tomaron las mediciones de altitud desde el espejo de agua (línea de costa), hasta el punto de referencia, esto cada 3 metros.
- 4.- Una vez obtenidos los datos, se procesaron en una hoja de cálculo a fin de plotearlos en un gráfico en el cuál el eje de las abscisas corresponde a la distancia horizontal desde el punto de referencia al espejo de agua y el eje de las ordenadas corresponde a la elevación (desnivel) de cada punto con respecto al nivel del mar (Figura 3.7).

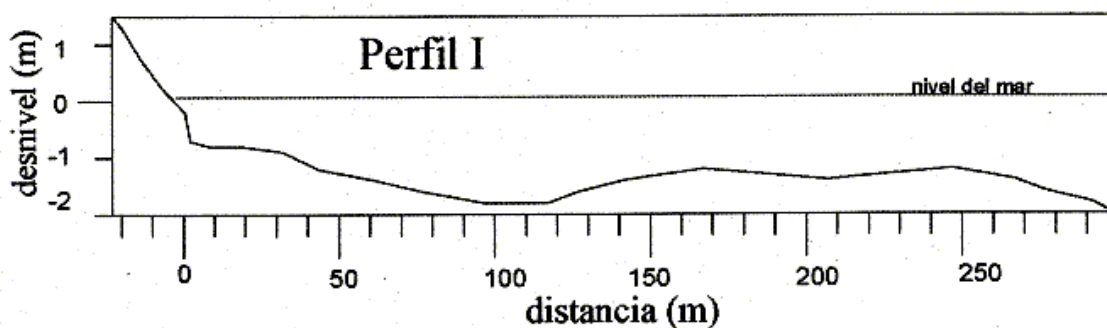


Figura 3.7. Ejemplo de un perfil de playa. (UNESCO, 2007).

Resulta importante resaltar que los perfiles de playa levantados en la bahía de Acapulco para este estudio (Figura 3.8), si bien carecen de un seguimiento temporal, si tienen relevancia desde el punto de vista espacial debido a que estos ayudan a identificar procesos erosivos y de acreción mediante su análisis desde el punto de vista geomorfológico.



Figura 3.8. Levantamiento de perfiles de playa en la bahía de Acapulco.

3.2.5. Análisis Granulométrico

El estudio de sedimentos en distintos ambientes, permite obtener información relacionada con su origen, distancia recorrida durante el transporte, mecanismos de transporte y ambientes de depositación. Tradicionalmente, los geólogos han obtenido parte de esta información a través del estudio de sedimentos no consolidados, a partir de las características texturales, mediante el uso de parámetros granulométricos o estadísticos tales como media, moda, mediana, selección, asimetría y curtosis (Folk, 1962).

Los resultados obtenidos a partir de estos estudios granulométricos, permiten interpretar, expresar y comparar, la distribución del tamaño del grano de un determinado

tipo de sedimento de forma cualitativa y cuantitativa. Así, en este caso, al conocer la distribución de los diámetros de los sedimentos en la bahía, se pueden realizar inferencias de la severidad de los procesos erosivos o acrecivos. Donde generalmente, un predominio de la fracción gruesa, indica mayor influencia de los procesos erosivos, debido al lavado o arrastre de las partículas más finas. Mientras que, la abundancia de sedimentos finos sobre la fracción gruesa, o la compensación entre ambas fracciones, es indicativo de un ambiente sedimentario acumulativo o al menos equilibrado.

Para la obtención de las características granulométricas se recolectaron 1000 g de arena en cada una de las 10 estaciones seleccionadas, que coinciden con los puntos en los que se realizaron los perfiles de playa. Las muestras fueron tomadas en la berma de la playa. Posteriormente, se aplicó el método de cuarteo para la obtención de los 200 g requeridos, los cuales fueron secados y tamizados, de acuerdo a la escala granulométrica de Udden-Wentworth 1922 (Tabla 3.2)

Tabla 3.2. Escala granulométrica Udden-Wentworth (1922).

		mm
		↑
Aglomerado	—	1024
	—	512
		256
Grava	Gruesa	128
	—	64
	Mediana	32
		16
Sábulo	Fina	8
	—	4
	Muy Gruesa	2
		1
Arena	Gruesa	0,5
	—	0,25
	Mediana	0,25
	—	0,125
	Fina	0,125
		0,062
Limo	Muy Fina	0,062
	—	0,031
	Grueso	0,031
		0,015
Arcilla	Fino	0,015
	—	0,0078
		0,0039
		0,0020
		↓

El estudio granulométrico de los sedimentos fue realizado en el laboratorio de suelos de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del estado de México utilizando los tamices que aparecen en la tabla 3.2 además de un agitador de tamices y una balanza de alta precisión.

Tabla 3.3. Tamices utilizados en el análisis granulométrico.

No. de tamiz	Apertura (mm)
10	2
18	1
35	0.5
60	0.25
100	0.149
150	0.004

Se utilizaron 200 g de sedimento para cada una de las 10 muestras, se hicieron pasar por los tamices con la ayuda del agitador, para así obtener los pesos retenidos en cada una de las mallas (Figura 3.9). Una vez obtenidos los pesos retenidos, se generó la curva granulométrica para cada una de las muestras ploteando en el eje de las abscisas el porcentaje de sedimento retenido y en el eje de las ordenadas el diámetro de las partículas en mm.



Figura 3.9. Tamices colocados en el agitador.

Es importante resaltar que el análisis granulométrico resulta de suma relevancia para ayudar a evidenciar los procesos de erosión/acreción que se presentan actualmente, debido a que en este tipo de estudios se obtiene el tamaño de grano promedio para cada sitio muestreado, así, de acuerdo a González y Millan, (2016), para sitios donde los procesos erosivos son los dominantes, generalmente la granulometría promedio corresponde de arenas gruesas a gravas y al contrario para procesos de acreción, en los que generalmente se acumulan en mayor medidas granos finos que van de las arenas finas a limos y arcillas; por lo anterior este estudio podría servir para futuros trabajos en la zona.

3.2.6. Identificación de las causas que han provocado las principales modificaciones en la línea de costa de la bahía de Acapulco en los últimos 30 años.

Para identificar las causas que potencian los procesos de cambio en la morfología de la costa, primero, se dividieron de acuerdo a su génesis, en naturales y antrópicas de acuerdo a la clasificación de Ibarra y Belmonte (2017), mismas que se describen a continuación:

3.2.6.1. Causas Naturales

Oleaje

El oleaje es el agente climático marino con mayor capacidad de acción sobre la costa, y se define como la alteración producida en la superficie del mar por la actuación continuada del viento sobre un área marítima, durante un cierto periodo de tiempo en la que se generan ondas con periodos entre 1 y 30 segundos. Como agente de la erosión costera, su acción es muy importante ya que genera corrientes longitudinales a lo largo de la costa y transversales que hacen emigrar a los sedimentos desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida (profundidad de cierre).

Tsunamis

Los tsunamis son series de olas con una gran longitud de onda, causadas por el desplazamiento de un gran volumen de agua. Los terremotos, las erupciones volcánicas y otras explosiones submarinas. Al tocar tierra pueden generar un depósito anormal de sedimentos que modifica la línea de costa.

Efecto de mareas

Las mareas son el paso de una onda de gran tamaño por las cuencas oceánicas. Se caracterizan por una elevación y caída rítmicas del nivel del mar durante un período de varias horas y son las olas oceánicas de mayor longitud. Las mareas se forman por la atracción de la tierra y su hidrósfera por cuerpos celestes. En las costas controlan la posición y amplitud de la zona de acción del oleaje y la circulación de masas de agua.

Marejadas (*Surge storms*)

Las tormentas asociadas a un aumento del nivel del mar (*surge storms*), producen importantes pérdidas de arena en la playa, trasladando el sedimento a zonas profundas. Cuando las condiciones mejoran las olas suelen transportar el sedimento hacia la playa, reconstruyéndose el perfil inicial.

3.2.6.2. Causas antrópicas

Las obras costeras (construcción de muelles y escolleras) deben tener en cuenta las células litorales, de manera que afecten lo menos posible a los procesos naturales, que mantienen la cantidad de sedimento dentro del sistema. También hay que tener en cuenta que las obras del litoral reciben los efectos del oleaje durante los temporales por lo que también pueden servir de protección.

La aplicación de revestimientos en zonas con retroceso costero rompe el equilibrio natural verano/invierno, lo que además de impedir el crecimiento de la playa en verano, al impermeabilizar la zona de *swash*, no permite la erosión de la parte alta de la playa en invierno, evitando la formación de la barra de sedimento que actúa de despensa en la zona de transición al *shoreface*, o zona de transición entre el interlitoral y la planta continental.

Los cambios en la hidrología y en los usos del suelo de las cuencas litorales está fuertemente relacionada con la erosión costera, debido a que existe una fuerte conexión entre los procesos de erosión de la cuenca y el aporte sedimentario de los ambientes marinos y costeros. Una de las mayores causas que provocan la erosión de las playas es la disminución en el suministro de sedimentos a una costa, debido a la regulación (Construcción de presas) de los ríos que suministran el material (Ibarra y Belmonte, 2017)

Con base en lo anterior, y tomando en cuenta las observaciones en campo, se identificaron los factores que influyeron en los cambios de la bahía de Acapulco en los últimos 30 años.

3.2.7 Generación de un escenario de posición de la línea de costa para los años 2050 y 2100

Para calcular los escenarios de posición de la línea de costa en la bahía de Acapulco, se utilizarán las tasas promedio anuales de retroceso o avance de la línea de costa (según sea el caso), y se elegirán ciertos sectores de la bahía, esto, considerando el comportamiento espacial que demuestren en el periodo total estudiado (1985-2017), prefiriendo aquellos sectores o playas que destaquen de los demás.

Una vez calculadas las tasas, en cada uno de los sectores en metros por año, se procederá a extrapolar esa tasa al año 2050 y 2100, esto, tomando la línea de costa de 2017 como referencia y generando áreas de influencia en los sitios elegidos.

Tomando en cuenta, que se prevé de acuerdo a la hipótesis que los procesos erosivos sean los que predominen en la zona de estudio, se colocará un mapa base en que se pueda observar la infraestructura costera que sería, en su caso, afectada por el retroceso de la línea de costa. En la figura 3.10 se muestra un ejemplo de retroceso de la línea de costa, en este caso por el ascenso del nivel del mar.

**Modelo de ascenso del nivel del mar,
datos del PICC , 2005-2105
+-1metro en 100 años**

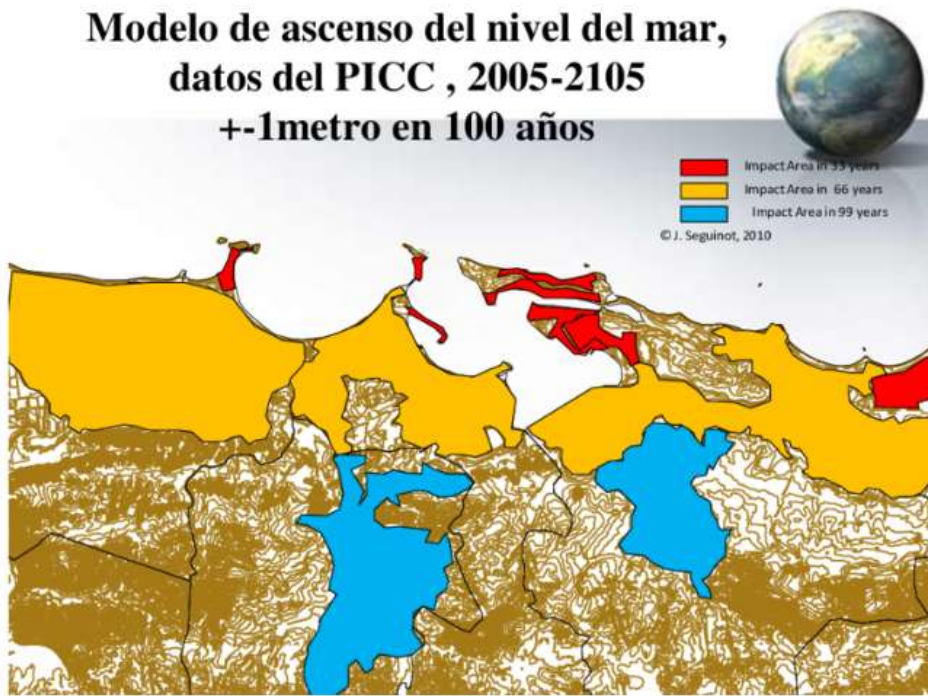


Figura 3.10. Ejemplo de predicción de escenarios de retroceso de la línea de costa.
Tomado de Seguinot (2015).

CAPITULO 4 RESULTADOS

4.1 Líneas de costa de la bahía de Acapulco

La figura 4.1 muestra la vectorización de las líneas de costas correspondientes a los años 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2017. La cuales se emplearon como referencia para estimar la dinámica reciente de la línea de costa en la bahía de Acapulco. En la misma figura se observa la localización de 10 puntos de control (P.C.), para los 30 km de línea de costa. Los P.C. fueron espaciados aproximadamente de forma regular (Figura 4.1). Sobre las líneas representadas se realizaron las mediciones de las tasas de las líneas de costa, la elaboración de perfiles y el muestreo granulométrico.

El mapa de líneas de costa que ofrece la vista general de la bahía (Figura 4.1), no ofrece una perspectiva útil para realizar un análisis detallado de los cambios en la morfología de la costa a través del tiempo. Para resolver este problema, se dividió la bahía en 6 sectores (A, B, C, D, E y F), en éstos se puede analizar la zona de estudio a una escala conveniente a fin de poder observar cambios específicos de la línea de costa, para esto se toman como referencia los P.C. Los sectores se presentan a continuación en formato de mapa (Figura 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7).

LÍNEAS DE COSTA DE LA BAHÍA DE ACAPULCO

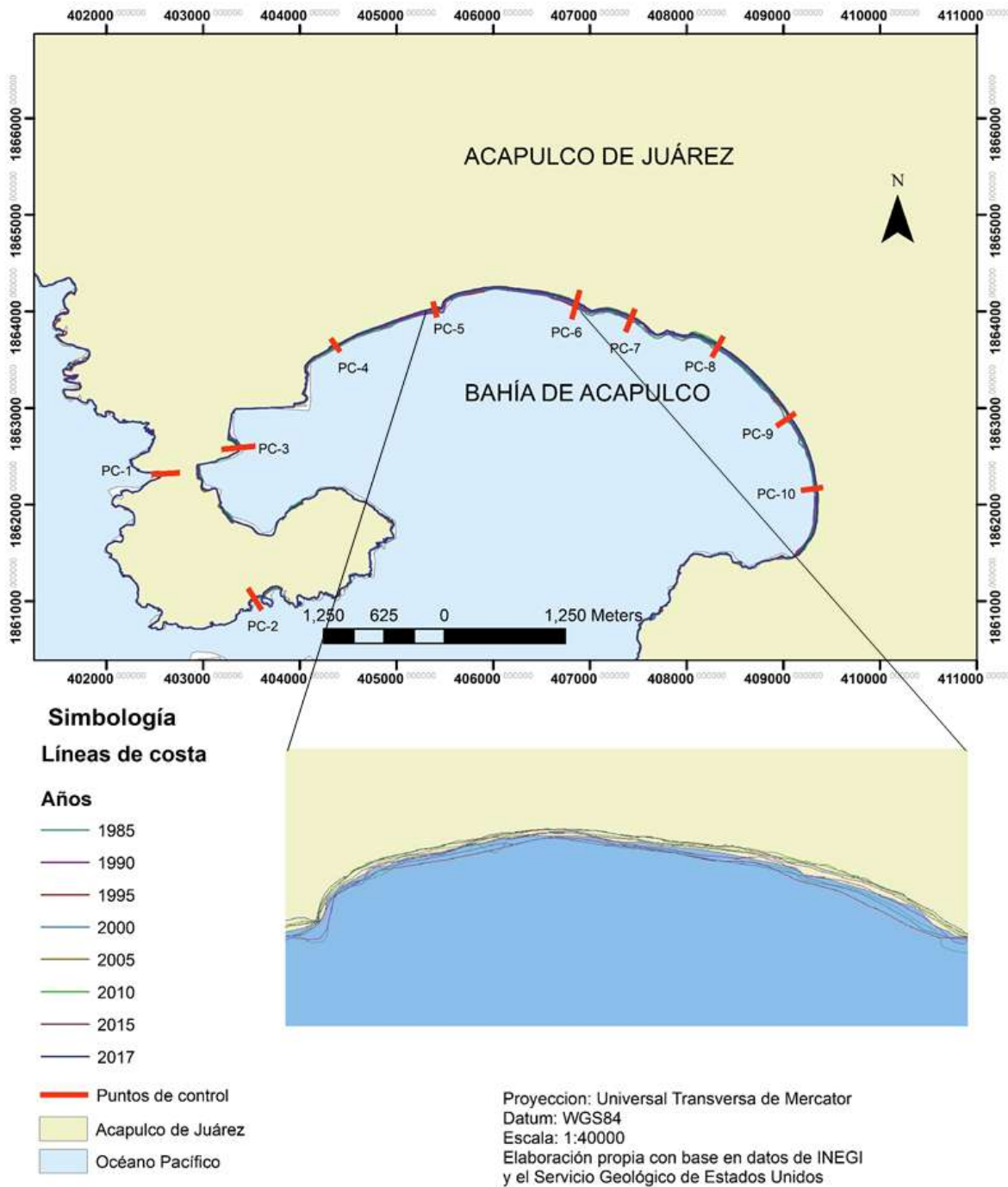


Figura 4.1. Representación de las líneas de costas de los años 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2017 para la bahía de Acapulco.

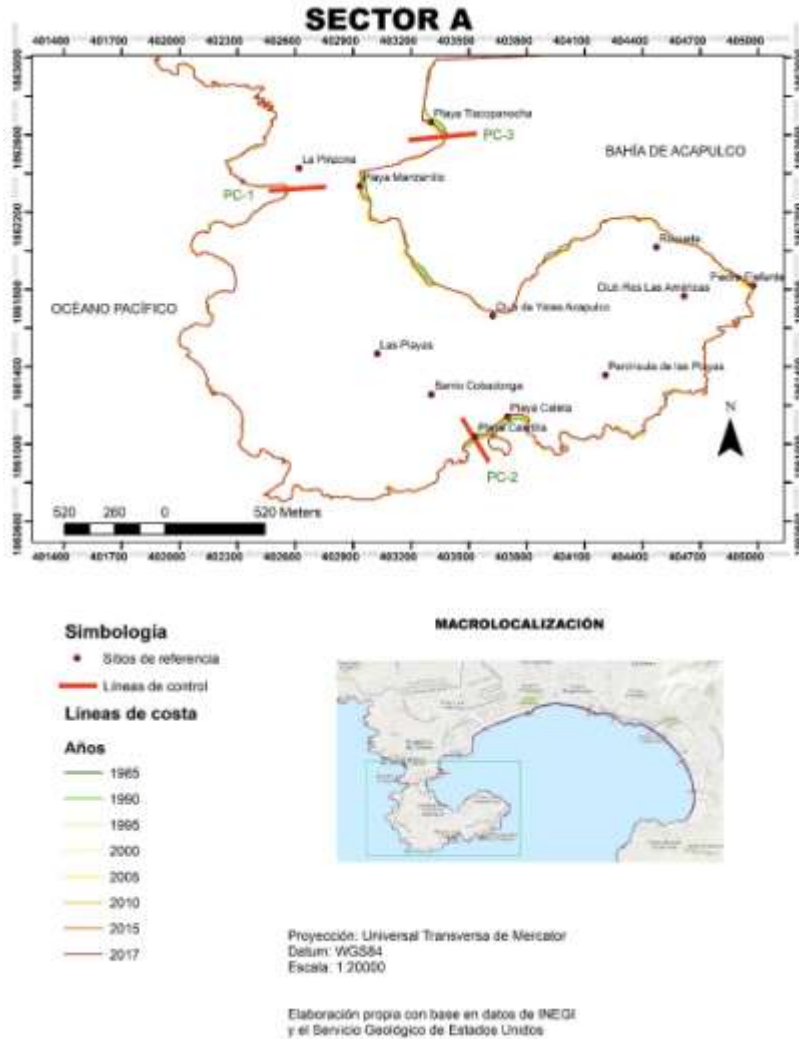
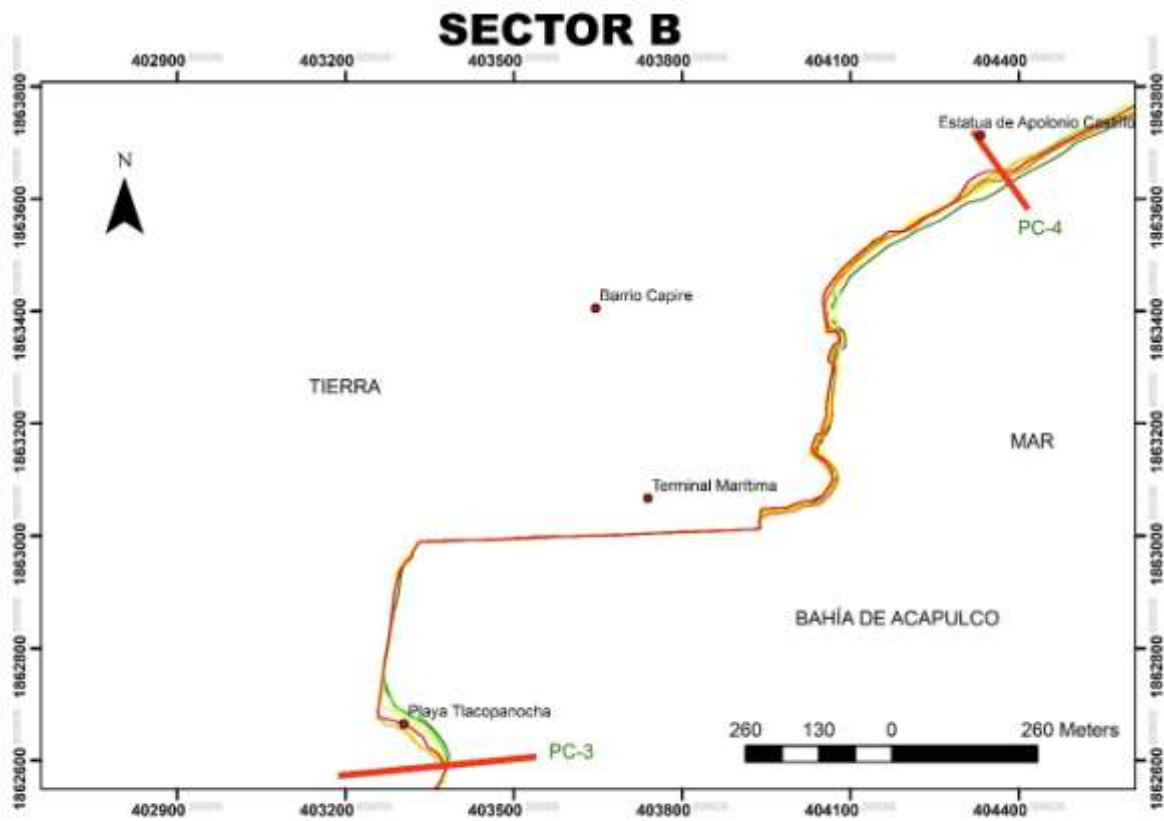


Figura 4.2. Detalle de la posición de la línea de costa. Sector A, la bahía de Acapulco.

Como se puede constatar en la figura 4.1, el área de trabajo abarcó los 30.0 km de bahía, en esta figura no se alcanza observar en detalle las variaciones de la línea de costa. Sin embargo, en las figuras que a continuación se muestran, se alcanza a distinguir algunas variaciones de la posición de la línea de costa. Por ejemplo, obsérvese en el sector A, como en algunos sitios muy bien localizados, ha existido un retroceso de la línea de costa respecto al año 1980 (Figura 4.2). En el resto de los sectores, también se observan cambios notables en la evolución de la línea de costa, en el próximo epígrafe “4.2. Tasas de erosión y acreción” se mostrarán y se analizarán las tasas de erosión para cada uno de los sectores en que fue dividida la bahía, incluso se discutirán las posibles causas en cada caso en particular.



Simbología

● Sitios de referencia

— Líneas de control

Líneas de costa

Años

— 1985

— 1990

— 1995

— 2000

— 2005

— 2010

— 2015

— 2017

MACROLOCALIZACIÓN



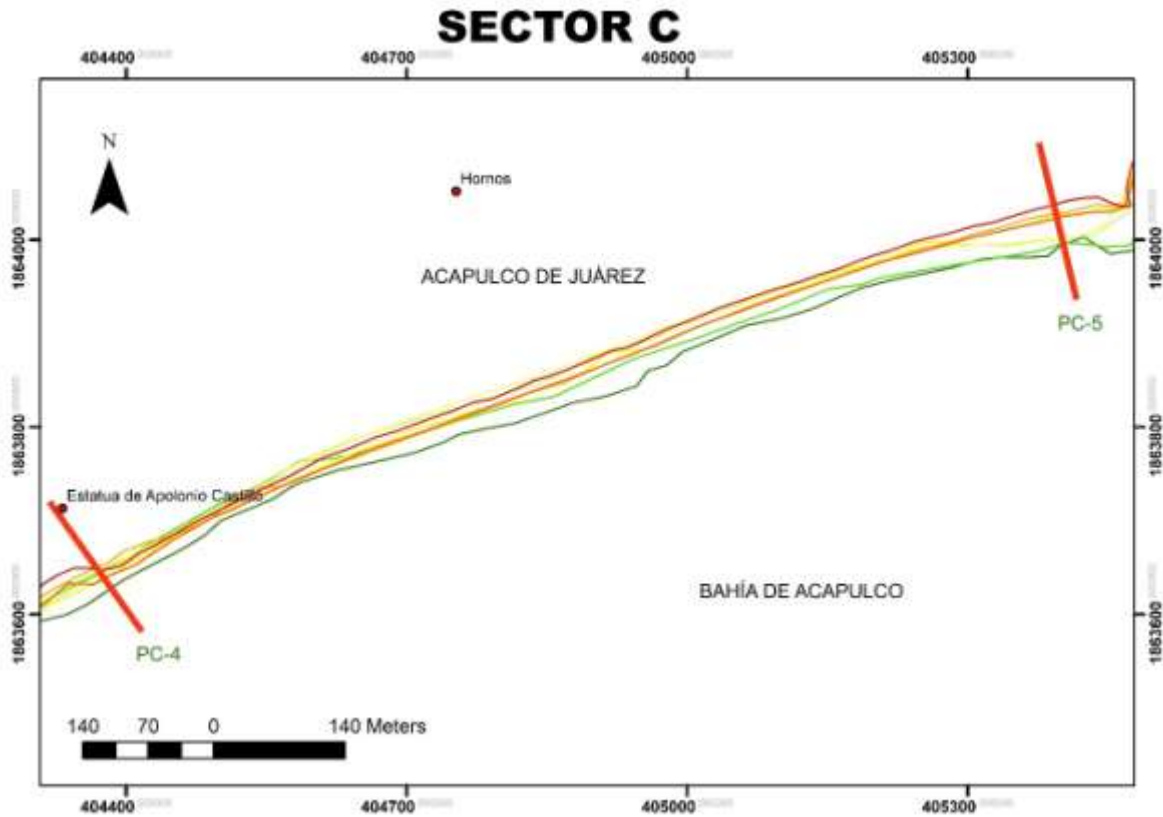
Proyección: Universal Transversa de Mercator

Datum: WGS84

Escala: 1:10000

Elaboración propia con base en datos de INEGI
y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.3. Detalle de la posición de la línea de costa. Sector B, la bahía de Acapulco



Simbología

● Sitios de referencia

— Líneas de control

Líneas de costa

Años

— 1985

— 1990

— 1995

— 2000

— 2005

— 2010

— 2015

— 2017

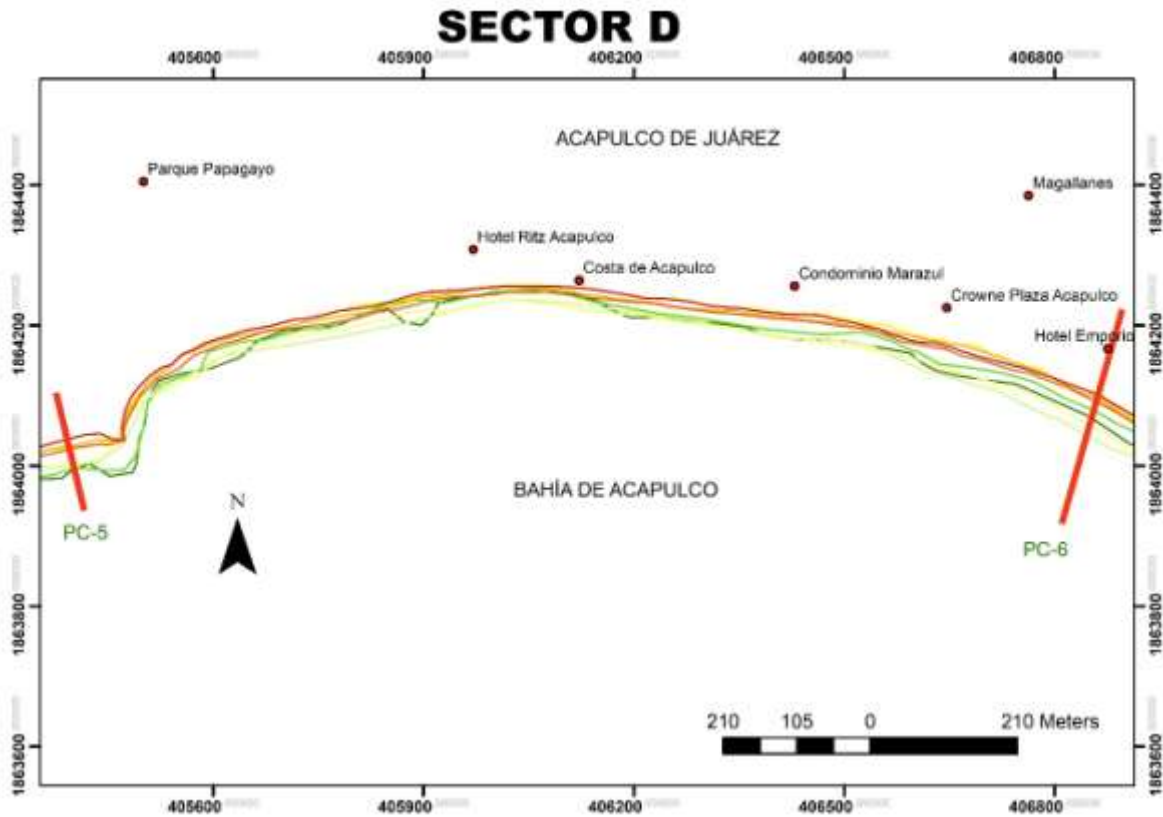
MACROLOCALIZACIÓN



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS84
 Escala: 1:6000

Elaboración propia con base en datos de INEGI
 y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.4. Detalle de la posición de la línea de costa. Sector C, la bahía de Acapulco



Simbología

● Sitios de referencia

— Líneas de control

Líneas de costa

Años

— 1985

— 1990

— 1995

— 2000

— 2005

— 2010

— 2015

— 2017

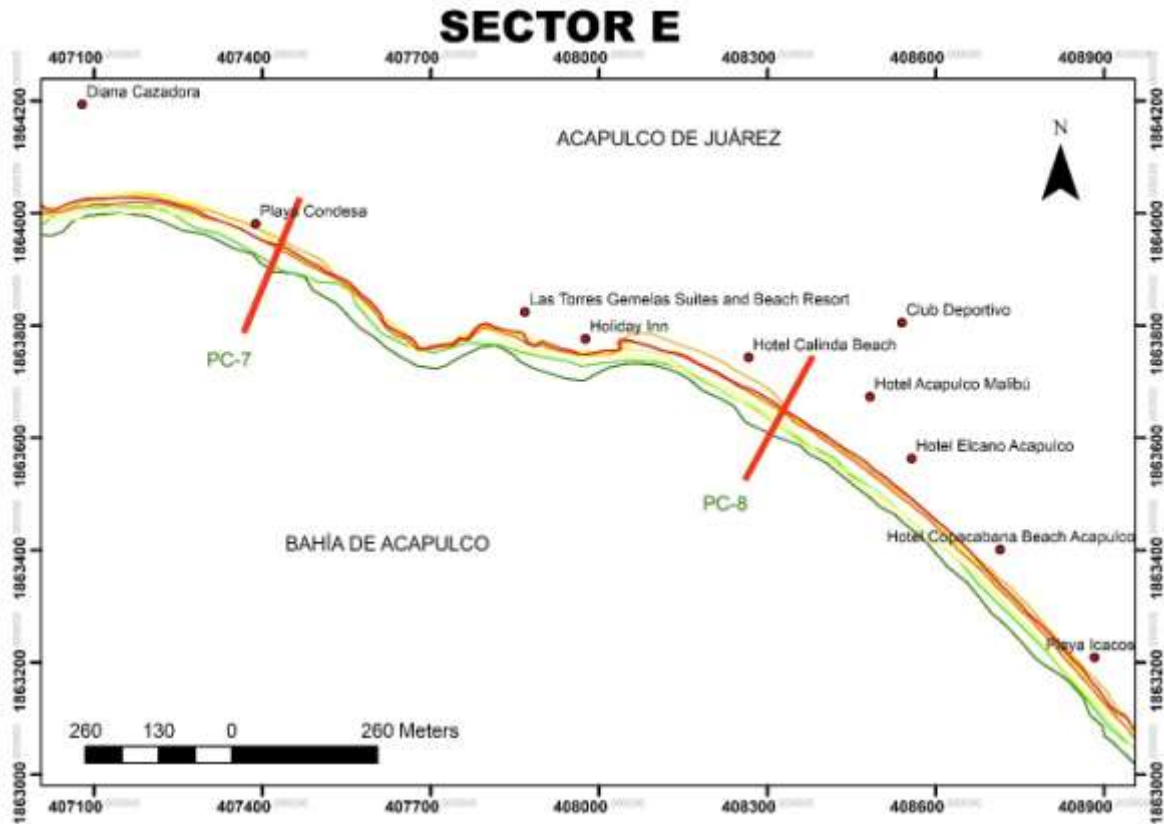
MACROLOCALIZACIÓN



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS84
 Escala: 1:8000

Elaboración propia con base en datos de INEGI
 y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.5. Detalle de la posición de la línea de costa. Sector D, la bahía de Acapulco.



Simbología

● Sitios de referencia

— Líneas de control

Líneas de costa

Años

— 1985

— 1990

— 1995

— 2000

— 2005

— 2010

— 2015

— 2017

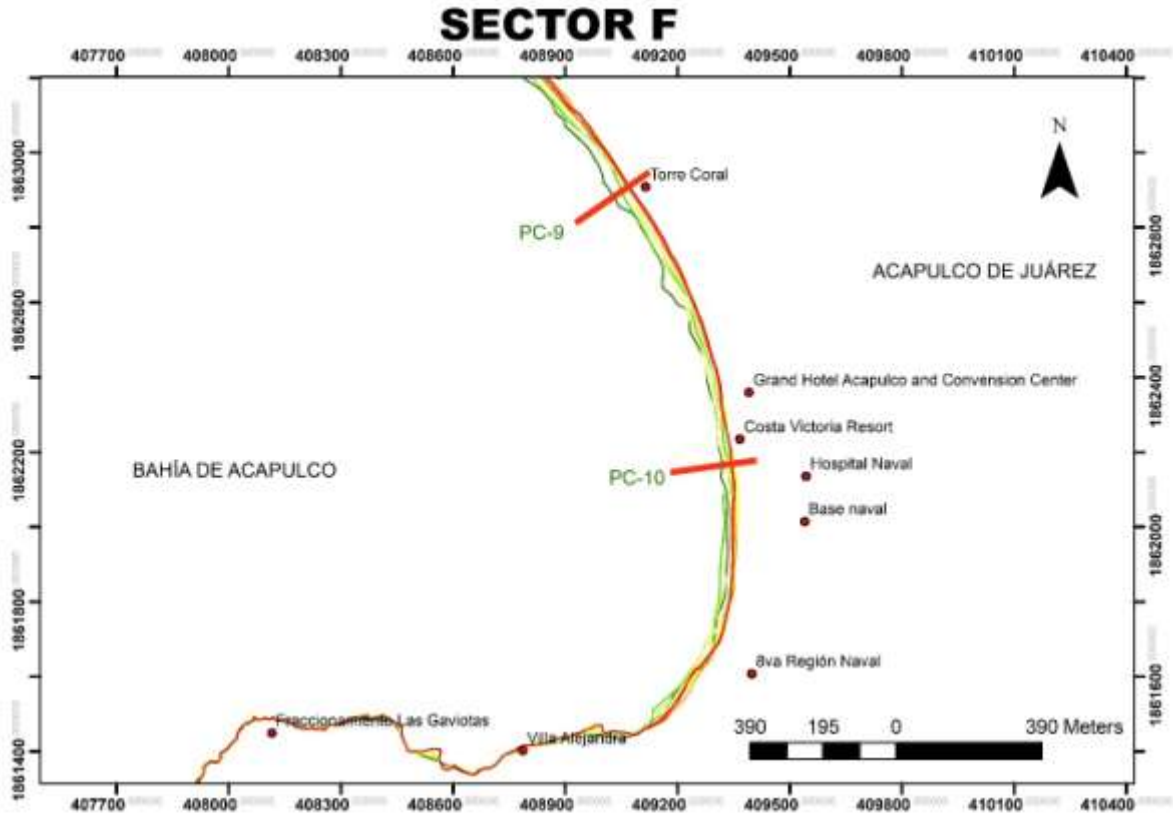
MACROLOCALIZACIÓN



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS84
 Escala: 1:10000

Elaboración propia con base en datos de INEGI
 y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.6. Detalle de la posición de la línea de costa. Sector E, la bahía de Acapulco.



Simbología

● Sitios de referencia

— Líneas de control

Líneas de costa

Años

— 1985

— 1990

— 1995

— 2000

— 2005

— 2010

— 2015

— 2017

MACROLOCALIZACIÓN



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS84
 Escala: 1:15000

Elaboración propia con base en datos de INEGI
 y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.7. Detalle de la posición de la línea de costa. Sector F, la bahía de Acapulco

4.2 Tasas de erosión y acreción

Cartografiadas las líneas de costas, en los años ya indicados y establecidos los puntos de control, se procede a las mediciones. En la tabla 4.1 se relacionan las tasas de erosión (-) o acreción (+) para los siete periodos considerados en este trabajo. En este caso se consideraron periodos de cinco años, por ejemplo: 1985 al 1990.

Tabla 4.1. Tasas de erosión (-) o acreción (+) en metros/año para la bahía de Acapulco, para siete quinquenios.

PERIODO	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	PC-6	PC-7	PC-8	PC-9	PC-10
1985-1990	-0.15	0.77	0.32	-0.9	-1.2	-3.32	-1.63	-2.88	-0.1	-4.19
1990-1995	0.28	0.74	0.33	-0.43	2.36	0.86	0.08	-3.83	-2.54	-2.11
1995-2000	-0.23	-0.76	-0.04	-0.61	-1.072	-1.43	0.81	-1.14	-0.37	0.69
2000-2005	0.3	-0.15	0.1	-0.27	-1.6	-0.4	1.94	3.13	-2.60	-3.94
2005-2010	0.21	0.2	0.1	-0.15	0.5	1.15	0.32	0.2	-0.65	-0.25
2010-2015	-0.13	0.16	-0.8	-0.17	1.63	1.49	-0.23	-0.47	0.68	1.62
2015-2017	-0.22	0.12	-0.05	-0.25	-1.39	-2.95	0.86	-1.87	-2.11	-2.63

De igual forma se recalcularon las tendencias de la línea de costa, pero en esta segunda ocasión, ampliando el periodo a diez años, por ejemplo: 1985 a 1995. Además, se realizó el cálculo global, es decir solo se consideró la línea de costa más antigua (1985) y la más reciente (2017) (Tabla 4.2).

La medición más alta de tasa de erosión, se verificó en el PC-10, entre el año 2000 y 2005, en este caso fue de -3.94 metros/año en sedimentos de playa. En contraposición, el punto de la bahía, donde se demostró un valor de recuperación mayor, fue PC-8 con una tasa de recuperación de +3.13 metros/año entre el 2000 y 2005. Resalta, en este caso, que las tasas de erosión (-) y recuperación (+) de la playa, más altas, corresponden al mismo periodo (2000-2005), con mediciones realizadas a unos 6.0 km, una de otras. En este epígrafe solo se está describiendo las evidencias, en próximos epígrafes se discutirán las causas.

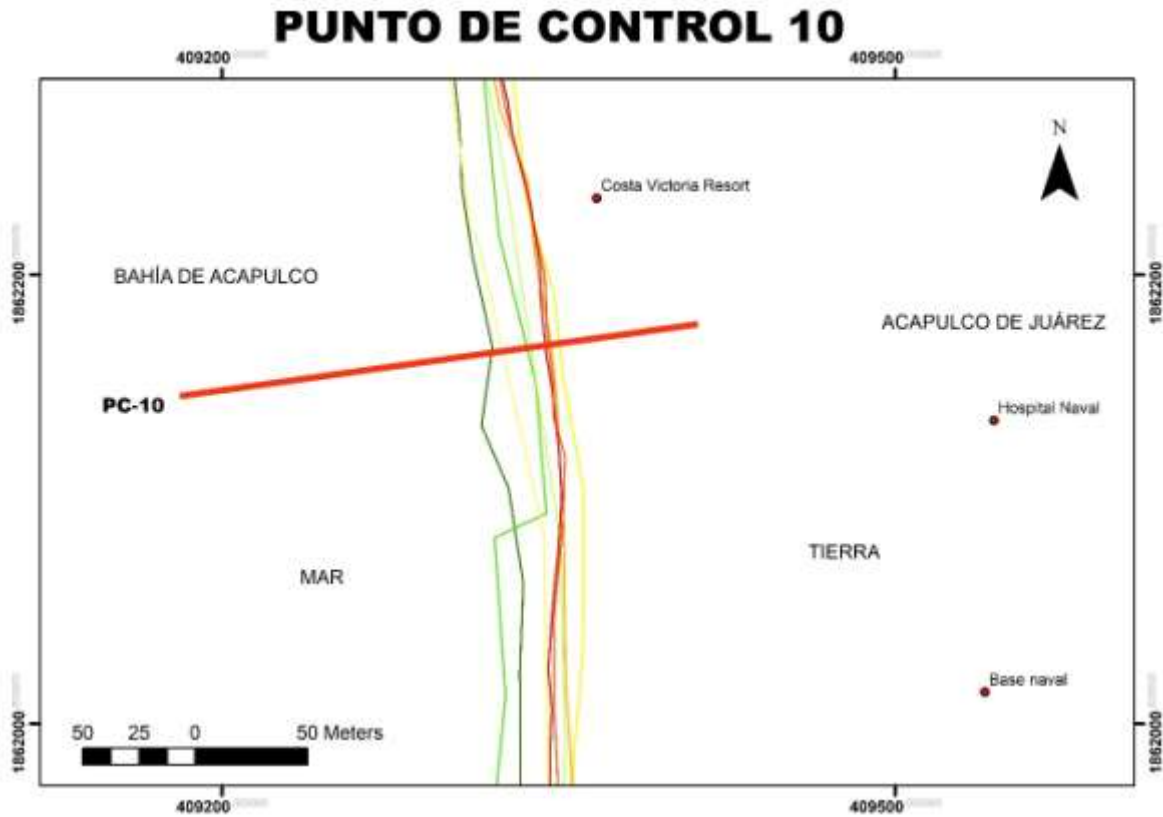
En general, según los datos mostrados, es evidente el predominio de los procesos erosivos, sobre los acumulativos. Independientemente del periodo analizado, en todos los puntos de control predominó la erosión. Sin embargo, se puede resaltar el punto de control 1, con las tasas de erosión más bajas y con una recuperación de la playa en 3 quinquenios: 1990-1995, 2000-2005 y 2005-2010.

Tabla 4.2. Tasas de erosión o acreción en metros/año para la bahía de Acapulco calculadas por decenio y en la última fila el desplazamiento total en metros (*).

PERIODO	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	PC-6	PC-7	PC-8	PC-9	PC-10
1985-1995	0.13	1.51	0.65	-1.33	1.16	-2.46	-1.55	-6.71	-2.64	-6.30
1995-2005	0.07	-0.91	0.06	-0.88	-2.67	-1.83	2.75	1.99	-2.97	-3.26
2005-2017	-0.14	0.48	-0.75	-0.57	0.74	-0.31	0.95	-2.14	-2.08	-1.26
1985-2017	-0.41	-0.47	-0.02	-0.95	-1.28	-1.05	0.74	-1.61	-1.72	-1.61
*1985-2017	-13.4	-14.9	-0.04	-30	-43	-44.3	23.4	-51	-23.7	-51.8

Cómo se puede apreciar en las tablas 4.1 y 4.2, el fenómeno predominante en la bahía de Acapulco es la erosión. Y este a su vez, se presenta con mayor intensidad en la parte sur de la bahía (PC-8, PC-9 y PC-10), la cual presenta una litología mayormente conformada por sedimentos poco consolidados del Cuaternario.

Por ejemplo, tomemos como referencia el PC-10, es el punto con una mayor tasa de erosión, para periodos de 5 años, con -4.19 metros/años, es decir se perdieron 20.95 metros (Figura 4.8.). En este punto en particular de la bahía se presenta una litología formada por depósitos de playa del Cuaternario, que a su vez generan una estructura geomorfológica de playa. El perfil de playa tomado en este punto de control muestra una duna con una longitud de 23 metros y una altura que no supera los 2 metros (Figura 4.9).



Simbología

• Sitios de referencia

— Líneas de control

Líneas de costa

Años

— 1985
 — 1990
 — 1995
 — 2000
 — 2005
 — 2010
 — 2015
 — 2017

MACROLOCALIZACIÓN



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS84
 Escala: 1:2500

Elaboración propia con base en datos de INEGI
 y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.8. Acercamiento al comportamiento de la playa en el Punto de control 10

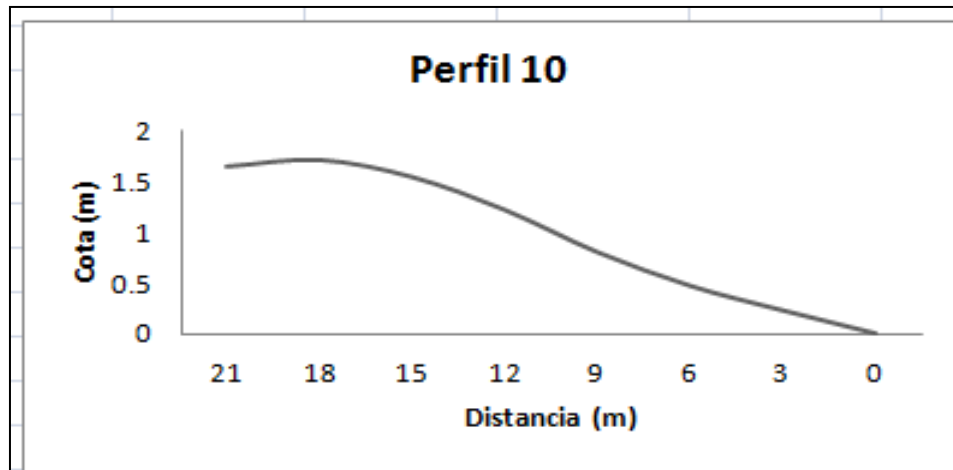


Figura 4.9. Perfil de playa tomado en el Punto 10

Al sur del punto 10, se encuentran un par de muelles de 50 y 150 metros respectivamente, de los cuáles se infiere que pueden retener sedimento y rompen el equilibrio natural, esto tomando en cuenta la dirección de depósito de sedimentos en la zona. (Figura 4.10). Las arenas en este punto tienen un diámetro medio de 0.579 milímetros, muy similar al resto de los puntos, lo que indica que el retroceso de la línea de costa, no ha impactado en un aumento paulatino del diámetro medio de las partículas (Figura 4.11).



Figura 4.10. Infraestructura y dirección de oleaje en el Punto de Muestreo 10.

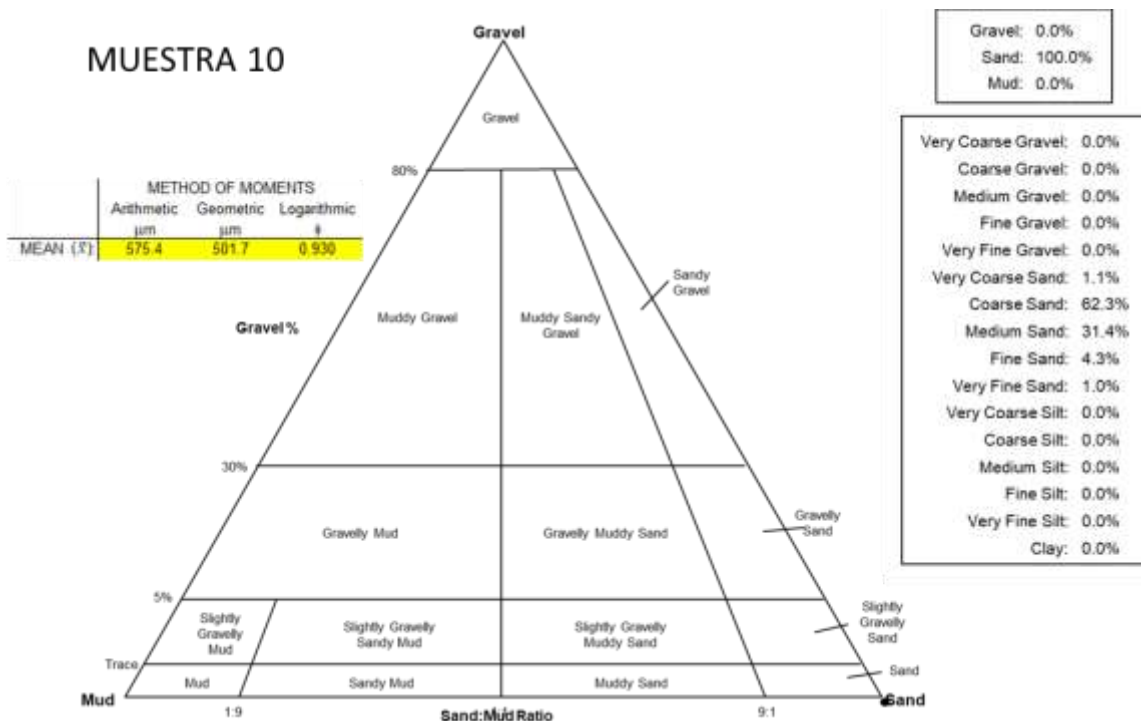


Figura 4.11. Análisis granulométrico de la muestra tomada en el Punto de control 10.

4.3 Perfiles de playa

Perfiles de playas poco desarrolladas

A lo largo de la bahía de Acapulco se pueden diferenciar, al menos dos tipos de perfiles de playas. Un primer grupo, que en esta tesis los denominamos “perfiles poco desarrollados”, es decir de poca extensión o longitud. Estos, generalmente identificados en la literatura geomorfológica como caletas, entrantes costeros o microensenadas estrechas alineadas. En este caso no sobrepasan los 15 metros (perfiles 1 y 2 de la Figura 4.12). Aunque, sobre estos perfiles existen determinados niveles de antropización, la interrupción de los perfiles de playas es normalmente natural, debido a la presencia de acantilados que suponen un aumento de la cota del relieve.

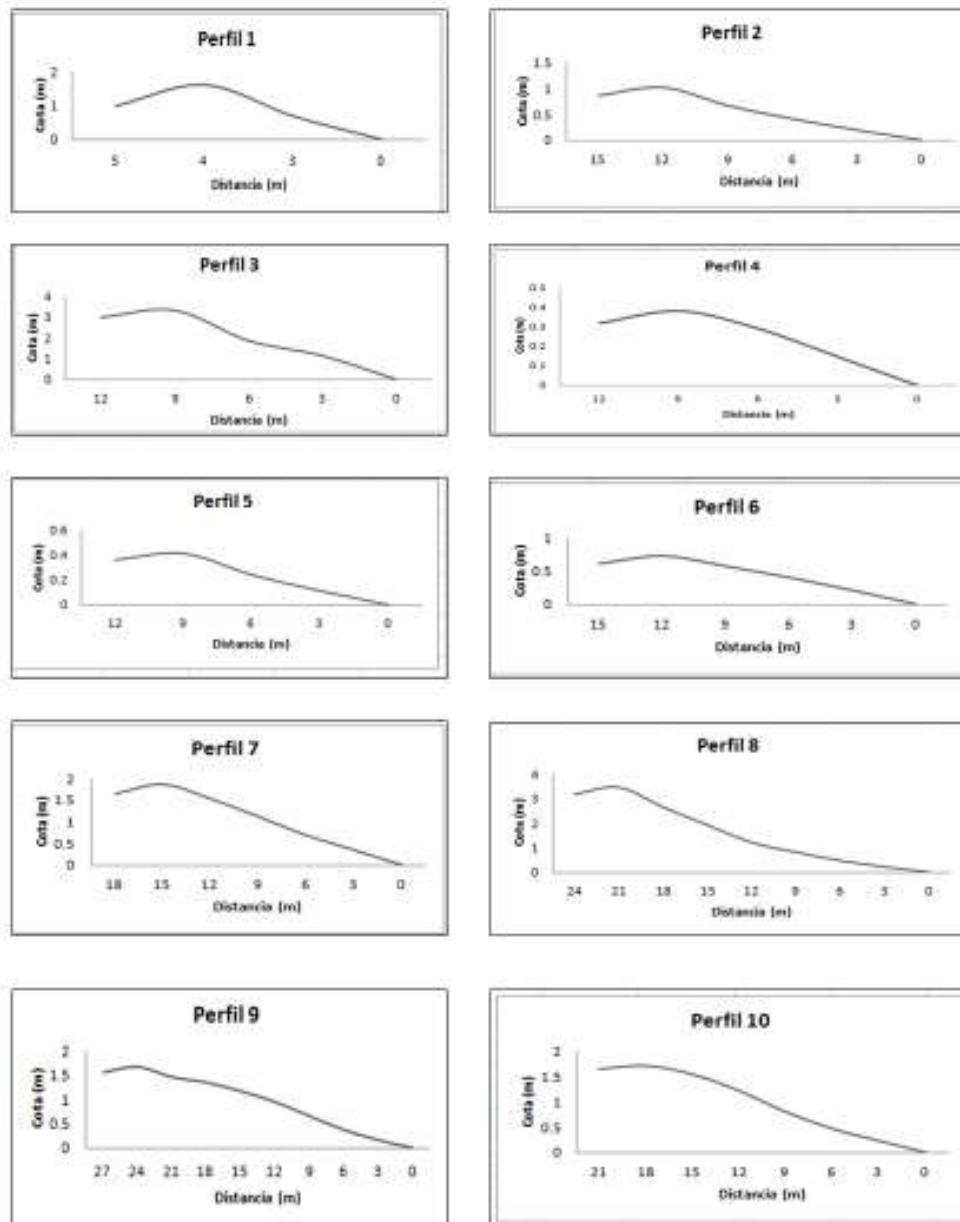


Figura 4.12. Perfiles de playa tomados en la bahía de Acapulco.

Por ejemplo, el perfil 1 (Figura 4.13), se desarrolla geomorfológicamente en un pequeño entrante, limitado por acantilados de unos 15.0 metros aproximadamente de altura. Se evidencia en el análisis granulométrico realizado en ese punto, que el 100% de la muestra tomada es arena, con un diámetro medio de 0.60 mm (Figura 4.14). En este caso se empleó la hoja de calculo “GRADISTAT” Version 4.0. creada po Blott y Pye, (2001).



Figura 4.13. Punto de control 1, ubicado en un entrante costero de la bahía de Acapulco.

La figura 4.14. evidencia la distribución de la muestra de acuerdo a su granulometría mediante un diagrama ternario, en el mismo se nombra al sedimento como arena cuarzosa. El coeficiente de curvatura (C_c) es de 0.85, indicando que estamos en presencia de una arena mal graduada. Es decir, existe evidente homogeneidad en el tamaño de las partículas (Figura 4.14 y 4.15).

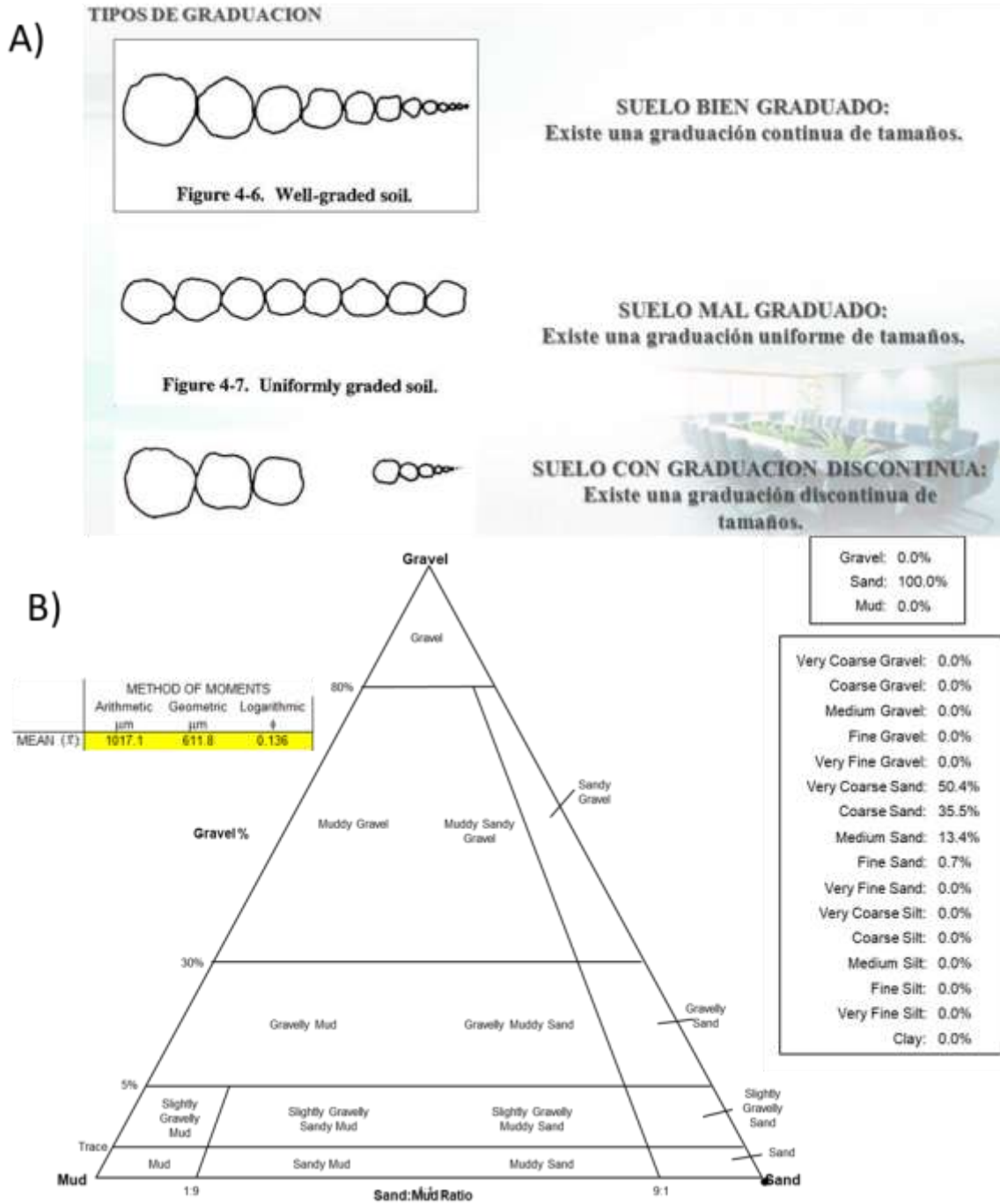


Figura 4.14. Análisis granulométrico de la muestra tomada en el Punto de control 1. Donde en A: se muestran los tipos de graduación (Terzaghi y Peck, 1973) y en B: el análisis estadístico.

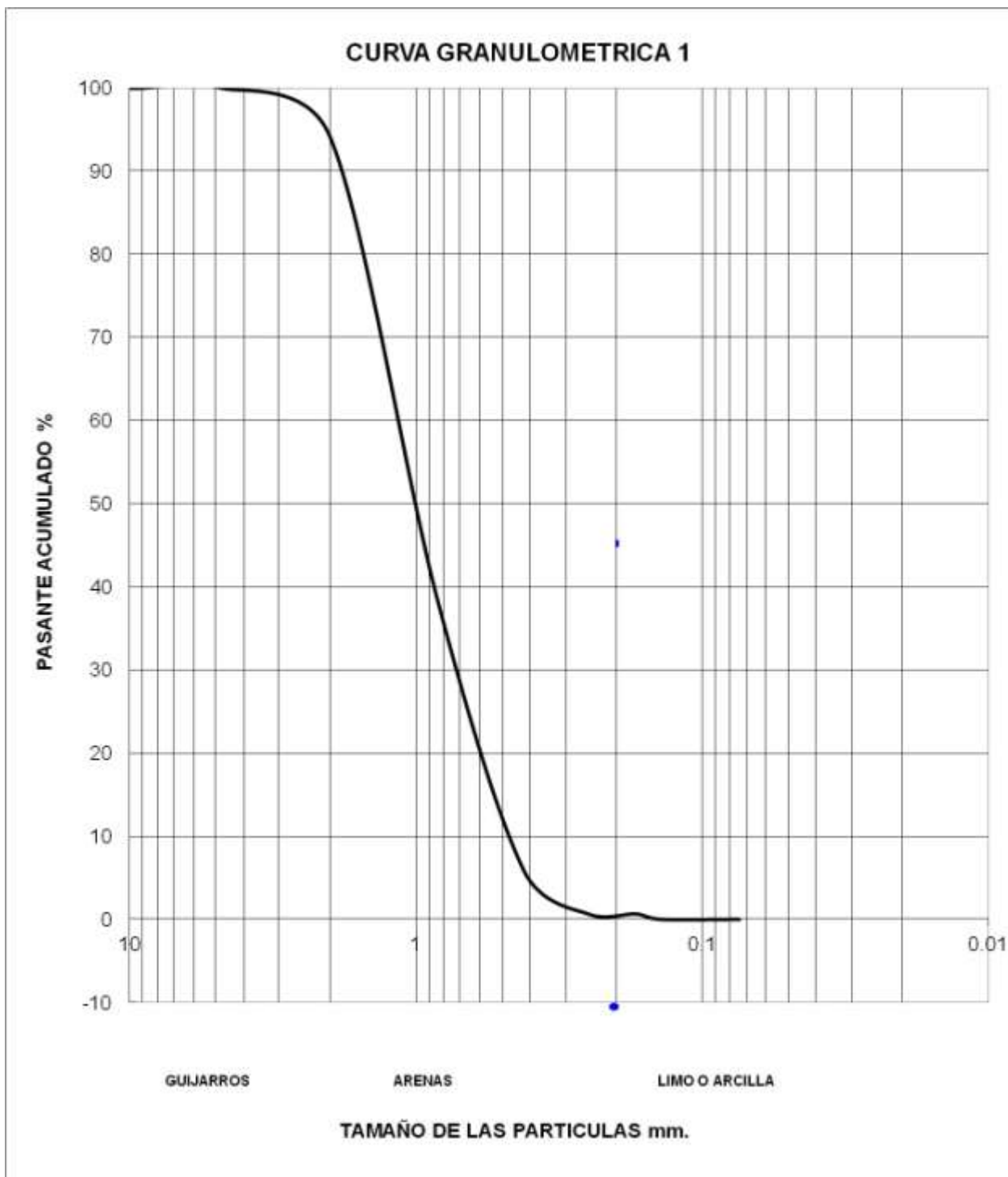


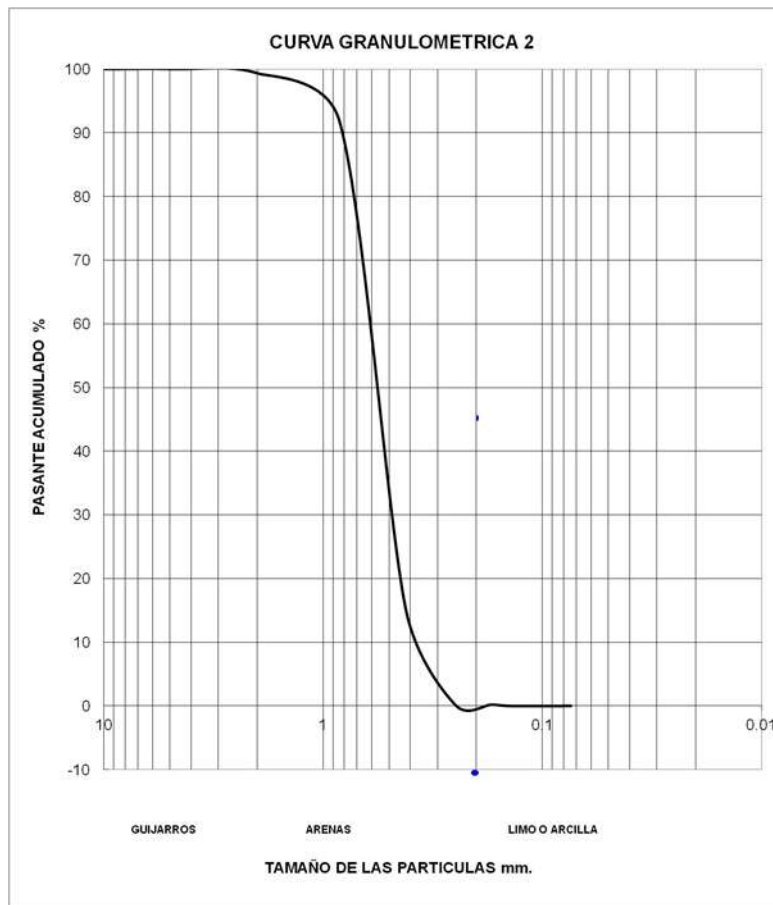
Figura 4.15. Curva granulométrica para los sedimentos de playas del entrante costero donde se ubica el punto de control 1.

Por otro lado, el perfil de playa 2, también de poca extensión (35.0 m), interrumpido de forma artificial por construcciones (Figura 4.16), muestra una gran homogeneidad del diámetro de las partículas de arenas, lo que expresa un buen equilibrio sedimentario (Figura 4.17). Lo anterior tiene su expresión, en el análisis temporal de PC-2, donde la línea de costa presenta muy poca variación, además se muestra el equilibrio que a mantenido este punto de la bahía de Acapulco en los últimos 32 años. La poca modificación de la posición de la línea de costa, muy posiblemente esté relacionada por la protección natural de la caleta en este sitio. En el anexo 1, se muestra las 10 curvas granulométricas elaboradas en esta tesis.



Figura 4.16. A) Ubicación del perfil de playa 2, protegido de forma natural por un islote.
B) Vista en superficie

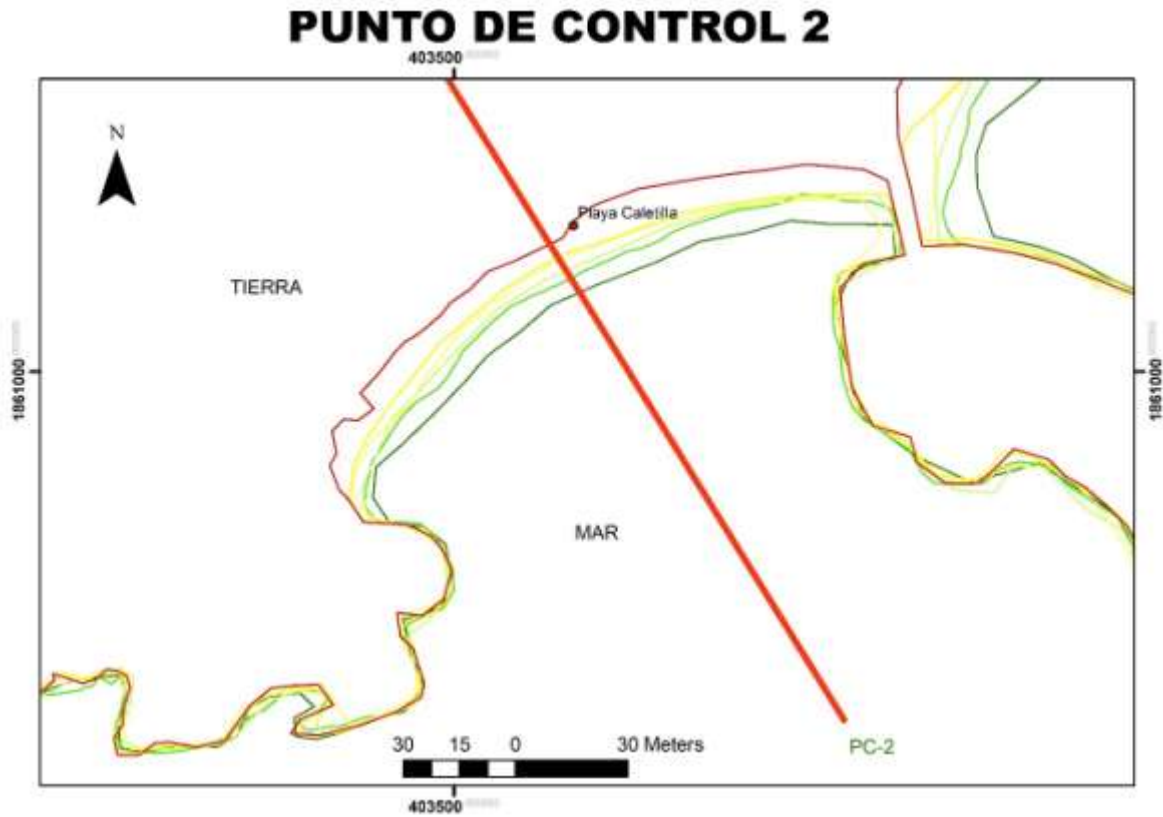
A)



B)

PERIODO	PC-2
1985-1995	1.51
1995-2005	-0.91
2005-2017	0.48
1985-2017	1.08

Figura 4.17. A) Curva granulométrica para las arenas de playas del punto de control 2. Donde se denota poca variación del diámetro de las partículas. B) Tasas de erosión o acreción en metros/año para la bahía de Acapulco calculadas por decenio para el PC-2.



Simbología

- Sitios de referencia
- Líneas de control

Líneas de costa

Años

- 1985
- 1990
- 1995
- 2000
- 2005
- 2010
- 2015
- 2017

MACROLOCALIZACIÓN



Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: WGS84
 Escala: 1:1500

Elaboración propia con base en datos de INEGI
 y el Servicio Geológico de Estados Unidos

Figura 4.18. Vista maximizada del punto de control 2 correspondiente a la playa Caleta.

Otros perfiles de poca extensión o desarrollo, en este caso de estudio, corresponden a los perfiles 3, 4 y 5. El perfil 3, por ejemplo, no es precisamente un perfil de playa, corresponde a un acantilado de poca altura (Figura 4.19), de unos 4.0 metros aproximadamente de altura, constituido litológicamente por granodioritas. De acuerdo a esta litología, muy estable, observese en la tabla 4.1, donde los niveles de erosión son bajos respecto a los otros puntos de control.



Figura 4.19. Muestra pequeña acantilado de aproximadamente 4.0 metros de altura. PC-3.

Sin embargo, el perfil correspondiente al punto de control 5, evidencia una interrupción del perfil natural de playa, mediante el emplazamiento de obras civiles, en este caso específico, correspondiente a las construcción de escalones para la asta de la bandera y la avenida Miguel Alemán en la parte posterior (Figura 4.20).

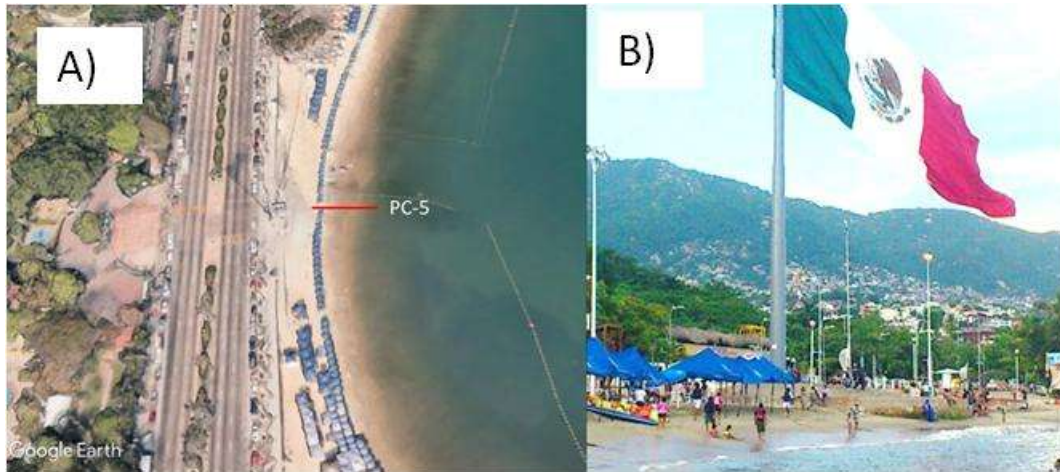


Figura 4.20. A) Ubicación del PC-5, donde se evidencia la interrupción del perfil de playa. B) Vista en superficie

Perfiles de playas bien desarrollados

Los perfiles 6, 7, 8, 9 y 10, están mejores desarrollados en su longitud. Siendo el perfil 8 el que mejor desarrollo alcanzó. La altura máxima de la duna en este perfil, es de 4.0 metros aproximadamente a lo largo de 25.0 m aproximadamente. Aquí es importante acotar, que se está en presencia del uno de los puntos de la playa donde la infraestructura hotelera se encuentra separada a una mayor distancia de la línea de costa (49 m). Elemento que permite la disipación de la energía de las olas y una menor erosión (Figura 4.21).

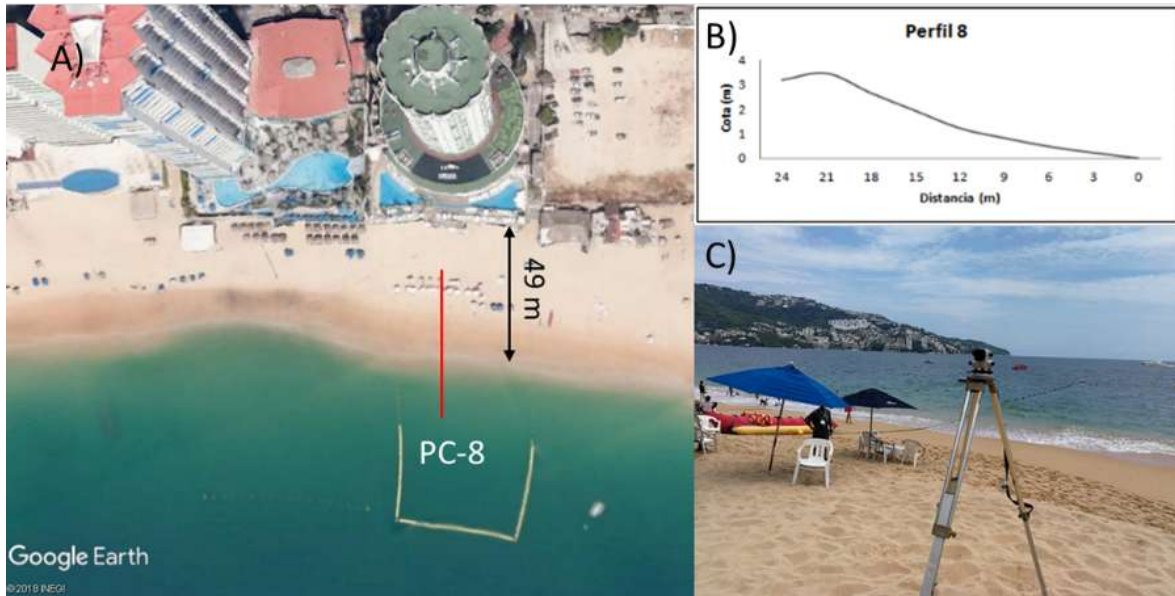


Figura 4.21. A) Buen desarrollo del perfil de playa, donde la duna alcanza una altura máxima de 4.0 m. B) Distancia de 49 m desde la línea de costa hasta el emplazamiento de la infraestructura hotelera. PC-8. C) Foto tomada en superficie.

4.4. Causas de los cambios en la morfodinámica costera de la bahía de Acapulco

Con base en el análisis específico, es decir por cada uno de los sectores de la bahía de Acapulco, se puede determinar que el factor que ha potenciado los cambios en la morfología de la costa, sobre todo los procesos erosivos, desde el año 1985 hasta el 2017 ha sido el antrópico. Esto, principalmente por la construcción de muelles y barreras que retienen el sedimento. Evidenciándose principalmente en la parte sur de la bahía, que incluye a los puntos de control del 8 al 10, mismos que a su vez corresponden a la zona hotelera de la bahía y que es donde se registraron las mayores tasas retroceso de playa (Figura 4.22).

SECTOR DE MAYOR EROSIÓN



Figura 4.22. Dirección de depósito y puntos de mayor erosión.

Por el contrario, las zonas en las que no se muestran cambios significativos en la línea de costa o bien, han mostrado procesos de recuperación (acreción), son aquellos correspondientes a zonas en las que la litología es mayormente conformada por materiales consolidados como es la zona norte de la bahía en la que se encuentran afloramientos de granodiorita.

Por otro lado, los puntos que muestran recuperación en la línea de costa y que a su vez tienen una litología de depósitos de playa, corresponden a sitios que se encuentran franqueados por barreras naturales, lo cual limita la acción erosiva del oleaje e inhibe la pérdida de sedimento. Un ejemplo de lo anterior es el punto de control 7, que corresponde a la playa denominada “playa condesa”, misma que a su vez mostró, en el análisis una tasa de recuperación promedio de 1.73 m/año que en desplazamiento total entre el año 1985 al

2017, representó 47.0 metros. Lo anterior se justifica, a que esta playa en específico se encuentra protegida naturalmente por afloramientos rocosos que actúan como barreras naturales (Figura 4.23)

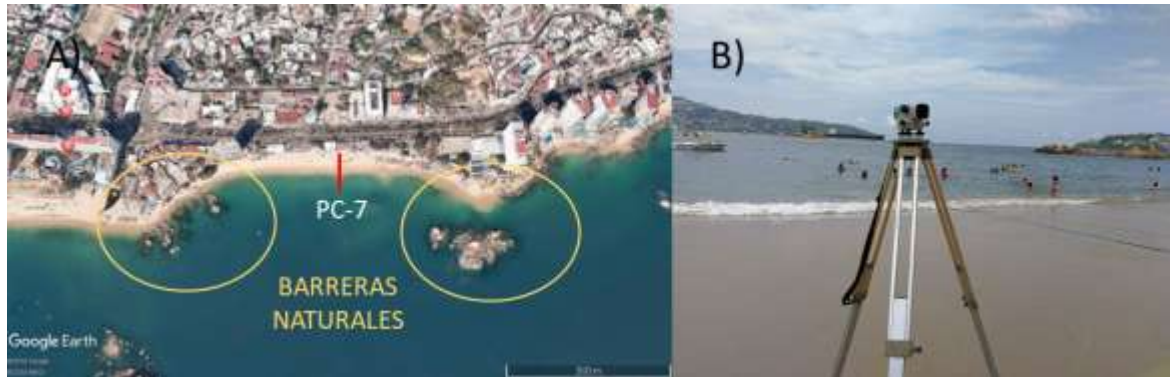


Figura 4.23. A) Playa condessa, punto de control 7. B) Vista en superficie.

4.5. Escenarios predictivos de la línea de costa para los años 2050 y 2100

Tomando en cuenta las tasas de erosión/acreción obtenidos para este estudio, se realizó un pronóstico del comportamiento de la línea de costa de la bahía de Acapulco, este pronóstico se aplicó a sectores específicos de la bahía, que fueron elegidos con base en el comportamiento de la línea de costa de 1985 a 2017, es decir, los que generaron interés debido a la presencia de cambios significativos en comparación al resto; pero también se consideró la relevancia socioeconómica de estos sectores, esto, de acuerdo al emplazamiento de infraestructura de importancia comercial (hoteles, centros comerciales, etc.). Los sectores en los que se realizaron los escenarios de cambio, así como las tasas promedio, se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Segmentos de playa pronosticados y tasas promedio de erosión.

Segmento de playa	Promedio en m/a
Playa Tamarindos (PC-4)	-0.95
Playa el morro (PC-6)	-1.05
Playa Icacos (PC-9)	-1.72
Playa Acapulco (PC-10)	-1.84

A continuación, se muestran los pronósticos generados en este estudio, como escenarios predictivos del retroceso de la línea de costa, para cada playa estudiada. Dichos escenarios fueron calculados para el año 2050 y 2100. (Figuras de la 4.24 a la Figura 4.27).



Figura 4.24. Escenarios de retroceso de la línea de costa para la playa Tamarindos.



Figura 4.25. Escenarios de retroceso de la línea de costa para la playa El morro.

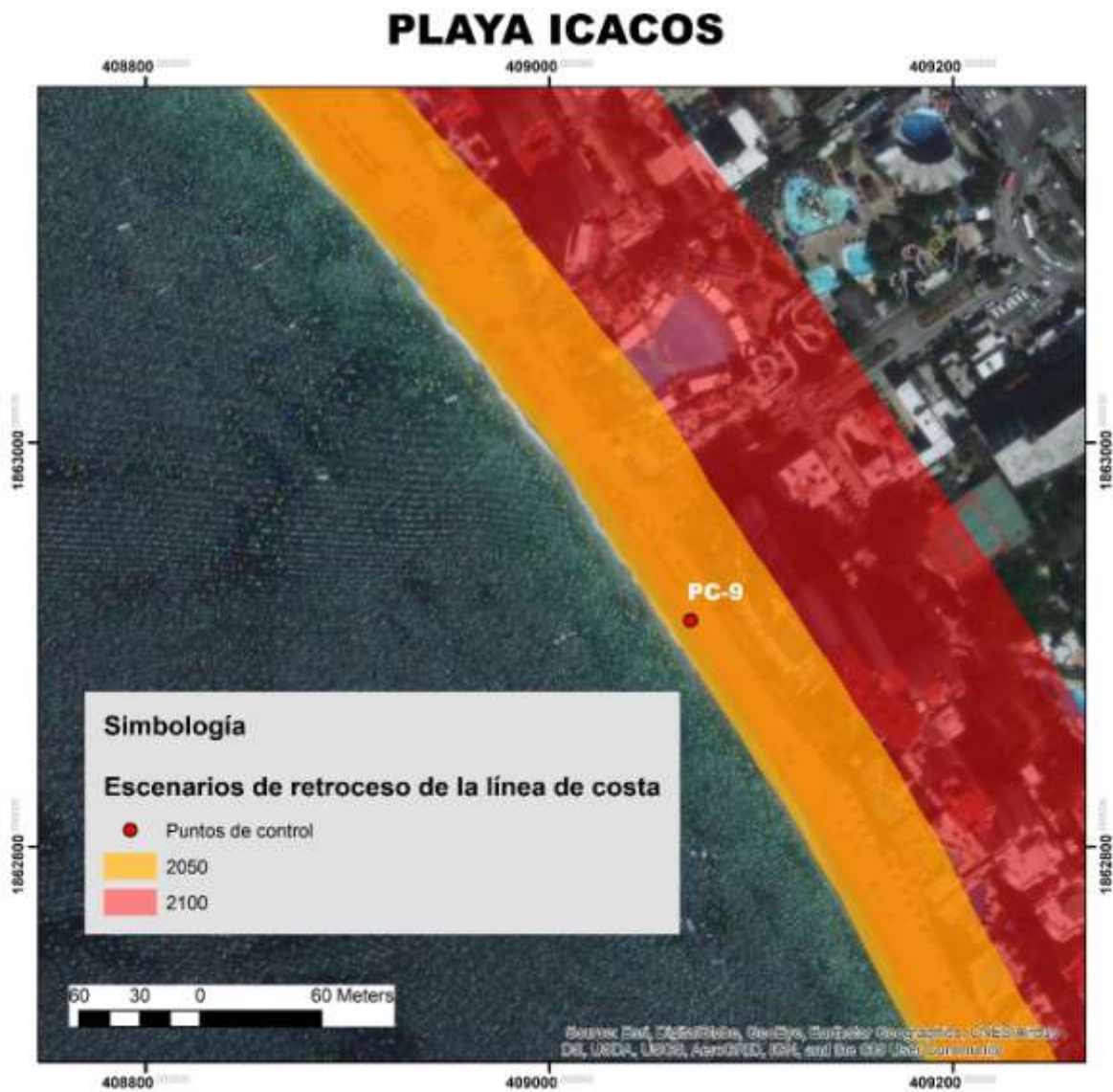


Figura 4.26. Escenarios de retroceso de la línea de costa para la playa Icacos.

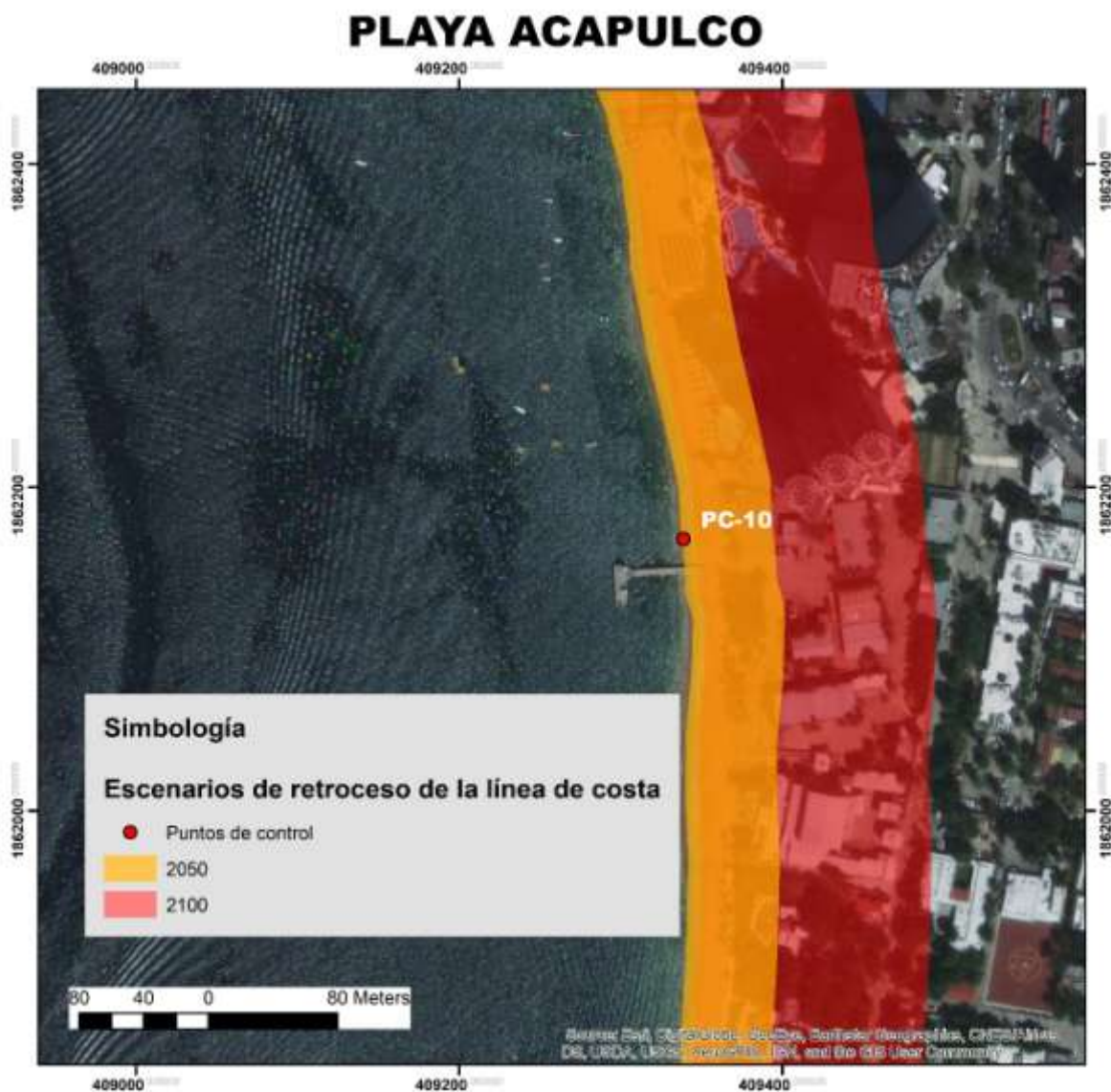


Figura 4.27. Escenarios de retroceso de la línea de costa para la playa Acapulco.

Se evidencia en cada uno de los escenarios de retroceso de la línea de costa, un potencial de desastre, sobre todo en cuestiones económicas. Vale aclarar, que estos los pronósticos que se observan en las figuras de este acápite, solamente generan un escenario que se daría de continuar con las tasas de erosión computadas, es decir, sin intervención de factores externos, por lo tanto, las áreas de influencia podrían incrementar o disminuir.

Conclusiones y recomendaciones

Se distribuyeron 10 puntos de control a lo largo de los 32 km de la bahía de Acapulco. Los sitios de monitoreo se distribuyeron de forma más o menos equivalente, siempre que respondieran o representaran, diferentes situaciones geomorfológicas, geológicas y de uso de la superficie. En 9 de los 10 puntos de control establecidos, predominó la erosión sobre los procesos de acreción. Resultando los puntos 5, 6, 8, 9 y 10, los de retrocesos más extraordinarios con valores de desplazamiento totales, entre -40.0 y -50.0 m, entre los años 1985 y 2017. También sobresale el punto de control 3, el cual permaneció con movimientos casi nulos, justificado esto por su conformación litológica, en este caso granodiorita. Y el punto control 7, el cual experimentó una recuperación importante, es decir un desplazamiento de la línea de costa en dirección al mar de +23.4 m, geomorfológicamente este sitio, conocido como playa Condesa, se encuentra franqueado (barrera natural) por afloramientos de rocas.

Como promedio las tasas de erosión se comportaron por debajo de -1.0 m/año, del punto de control 1 al 4. Y entre -1.2 y -1.9 m/año desde el punto de control 5 al 10, exceptuando el PC 7, el cual experimentó una tasa de recuperación promedio de +1.73 m/año. El mayor valor promedio de tasa de erosión correspondió al PC 10, con un valor de -1.61 m/año, este mismo punto, alcanzó el máximo histórico (de acuerdo al intervalo de tiempo analizado), de -4.19 m/año para quinquenio 1985-1990.

De acuerdo al análisis e interpretación de los resultados alcanzados en esta tesis, y en función de las observaciones de campo, se pueden inferir algunos elementos causales de la erosión en la bahía de Acapulco. Se puede indicar que el emplazamiento de estructuras ha limitado el equilibrio sedimentario en bahía, debido a la retención de sedimentos. Especialmente en la zona sur, que corresponde a los PC 8, 9 y 10, que corresponden a la zona hotelera Punta Diamante. Lo anterior se evidencia con presencia de estructuras perpendiculares a la línea de costa, específicamente muelles o embarcaderos de la base naval. Por otro lado, la presencia de infraestructura (viales y edificios) muy cerca de la línea de costa, por ejemplo, en el PC 5, donde prácticamente el oleaje impacta sobre los escalones que sirven de base a la asta de la bandera.

Así mismo, se creyó conveniente diseñar escenarios futuros de la posición de la línea de costa para los años 2050 y 2100. En este caso se emplearon las velocidades promedio de desplazamiento de las líneas de costa calculadas en esta tesis. Para lo cual se tomaron 4 segmentos de la bahía: Playa Tamarindos, Playa Condesa, Playa Icacos y Playa Acapulco. Donde para el “escenario 2050”, ya la línea de costa debería estar afectando la infraestructura adyacente a las playas Icacos y Acapulco. Y para el “escenario 2100”, la infraestructura contigua a las cuatro playas mencionadas, ya tendrán niveles de afectación importantes debido a la interacción con el mar.

Tomando en cuenta los escenarios de retroceso de la línea de costa que se evidencian en este trabajo, se recomienda a los tomadores de decisiones de la zona de estudio, ejecutar medidas de mitigación ante el escenario de riesgo que provocan los procesos erosivos. A continuación se enlistan algunas medidas de control de erosión costera divididas en blandas (Medidas intangibles) y duras (Medidas tangibles).

Medidas Blandas

En el acápite correspondiente al marco legal y normativo de este trabajo, se encuentran las leyes y normas aplicables a la gestión de las zonas costeras mexicanas, incluyendo la Ley General de Protección Civil y el Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar, estos, junto al ordenamiento ecológico del territorio, estipulan los lineamientos para la construcción en las zonas costeras, convergen en que las edificaciones deben colocarse en la zona de berma de playa. El cumplimiento de las leyes vigentes en temas costeros coadyuvará a la mitigación de los procesos erosivos.

Medidas Duras

A continuación se proponen algunas medidas estructurales o duras potencialmente aplicables a la bahía de Acapulco, estas medidas son propuestas por la red atlántica para la gestión de los riesgos costeros (2017).

Geotextiles

Las construcciones están concebidas para mantener la arena y pueden disponerse de forma perpendicular (p.ej.: espigones, cuando domina la deriva litoral) o longitudinal respecto de la costa, por ejemplo para desplazar el centro de una línea de dunas a la trasplaya. Están formadas por tejidos permeables de fibras sintéticas con forma de bolsa o de espiral. Se llenan de arena mediante una bomba de presión.

Arrecifes artificiales

La finalidad de los arrecifes artificiales, situados en la zona intermareal la costa baja o anteplaya, consiste en reducir la acción de las olas en las playas. Disminuyen la deriva litoral y favorecen el crecimiento de la playa, reduciendo de este modo la erosión.

Pilotes hidráulicos

Estas construcciones permeables se utilizan para disipar la energía de las olas sobre la playa, limitando así el transporte de sedimentos y favoreciendo la estabilidad de la playa.

Regeneración artificial de las playas

El objetivo de regenerar las playas es compensar el desequilibrio del litoral, debido a la erosión natural y a los impactos antrópicos (presencia de construcciones de defensa). El propósito consiste en dotar a las playas de materiales (arena, rocalla) exógenos de la célula sedimentaria, por medio de camiones, dragas marinas, etc.

REFERENCIAS

- Blott, S.J. and Pye, K. (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.
- Bores, P.S., (1978), Clasificación de formas costeras. *Revista de Obras Públicas*, 125, 3163: 855-857
- Bosque, O. (2015), Informe de los objetivos de desarrollo del milenio 2015. Disponible en: http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf
- Bustos, G. N., (2015), La estación total. *Topografía*, 116, 2564: 1-2
- Casasola, P. M., H. L. Rosas., D. I Mata., I. Espejel, & Ó. J. Orocio, (2013), Guerrero, p. 203-209. Guerrero: Semarnat.
- Carter, R.W.G., (1998), Coastal environments. Academic Press, London, 617 p.
- Cárdenas, E. P., (2016), “Acapulco, Guerrero a través de los siglos”, *Revista de la Facultad de arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, pp. 83-95.
- Carranza, A., Gutiérrez, M., Rodríguez, R., (1976), “Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas Mexicanas”, canales del Centro de Ciencias del mar y Limnología. Universidad Nacional autónoma de México.
- Carranza, A., (2010), Causas y consecuencias de la erosión de las playas. Instituto de ciencias del mar y Limnología. Universidad Nacional autónoma de México.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2014), Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Secretaría de Gobernación. México. Pp. 81.
- Comisión Nacional del Agua, (2012), “Base de datos de Ciclones Tropicales que afectaron México durante el periodo de 1970 a 2011”. Disponible en: <http://smn1.conagua.gob.mx/ciclones/historia/ciclones1970-2011.pdf>
- Comisión Nacional del Agua, (2015), “Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Bahía de Acapulco (1226), Estado de Guerrero”. Guerrero. Pp. 7-10.
- Correira, Y. M., (1994), Condiciones geoambientales del sector costero urbano e industrial de Moa, Cuba. Tesis de Doctorado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.

- Codignotto, J. O., (1997), Geomorfología y dinámica costera, pp. 89-105, El mar argentino y sus recursos pesqueros.
- Cuadrado, D. G. y Gómez, E. A., (2012), Morfodinámica de un campo de dunas submarinas en una entrada de marea: San Blas, Argentina. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(1): 42-52, 2012.
- Davies, W. K., (1972), *The conceptual revolution in Geography*. Totowa, New Jersey: Rowman and Littlefield, 415 p.
- Erikson, Li., O'Neil, Andrea., Barnard, Patrick., Vitousek, Sean y Limber, Patrick, (2017), Climate change-driven cliff and beach evolution at decadal to centennial time scales. *Coastal Dynamics 2017*. Paper No. 210, 125-130 Pp.
- Espinosa, L. M., (2009), La teoría general de sistemas en la Geografía. En, *Fundamentación teórico-metodológica del cuerpo académico análisis geográfico regional*. p. 121-122. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Folk, R. (1962), Of skewnesses and sons. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32 (1), 147-149
- García, A. (2002), *Sistemas de Comunicación Vía Satélite*. p. 27-40
- Gobierno del Estado de Guerrero 2015-2021., Secretaría de Turismo de Guerrero, (2014), Programa regional Acapulco 2016-2021. Acapulco, Guerrero.
- González, M. A., (2011), Morfodinámica de la línea costera entre el río presidio y punta cerritos, Mazatlán, Sinaloa, México, en el período 1977-2006. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- González, Orlando; Millán, Zuly Granulometría de los sedimentos fluviales del canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela *Revista de Investigación*, vol. 40, núm. 87, enero-abril, 2016, pp. 129-154 Universidad Pedagógica Experimental Libertador Caracas, Venezuela.
- 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.
- H. Ayuntamiento de Acapulco 2012-2015, (2012), Plan Municipal de Desarrollo del Municipio de Acapulco, p. 12-13. Acapulco.

- Herrmann, U., Nelson, B.K., Ratschbacher, L., 1994, The origin of a terrane: U/Pb zircon geochronology and tectonic evolution of the Xolapa complex (southern Mexico): *Tectonics*, 13(2), 455–474.
- Hernández-Bernal, M.S., (1995), *Geoquímica y origen del batolito de río verde*, Oax. Terreno Xolapa: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales de Posgrado, Tesis de maestría, 83 p.
- Hernández, J. R., M. A. Ortíz., A. P. Méndez., L. García, (2006), “Morfodinámica de la línea de costa del municipio de Tabasco, México: Tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente”, *Investigaciones Geográficas*, núm. 65, pp. 7-21.
- Ibarra, D. y Belmonte, F., (2017), *Comprendiendo el litoral: Dinámica y Procesos*. Universidad de Murcia. Ediciones de la Universidad de Murcia, Pp. 19-36.
- International Standardization Organization, (2016), *ISO 13009 Gestión de la Calidad en Playas*.
- International Standardization Organization, (2015), *ISO 14001 Sistemas de Gestión Ambiental*.
- Jiménez, O. A., (2010), *Análisis espacio-temporal de la erosión y acreción de las costas del estado de Veracruz*. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz.
- Juanes, J. L., (2015), *Integración de las ciencias para la gestión de los recursos marinos*. La Habana, Cuba. X Congreso de ciencias del mar, marcuba.
- Ley Federal del Mar. *Diario Oficial de la Federación*, México, 08 de Enero de 1986.
- Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*, México, 13 de Julio de 2018.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Diario Oficial de la Federación*, México, 05 de Julio de 2018.
- Ley General para la Gestión Integral y Sustentable de las Costas Mexicanas. Propuesta de ley. *Gaceta del Senado*, 30 de Abril de 2015. Disponible en: http://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/54602
- Ley General de Protección Civil. *Diario Oficial de la Federación*, México, 19 de Enero de 2018.

- Márquez García, A.Z., E. Márquez García, A. Bolongaro Crevenna Recaséns, y V. Torres Rodríguez, (2010), Cambio en la línea de costa en la Riviera Maya debido a fenómenos hidrometeorológico extremos, ¿Consecuencia del cambio global climático?, p. 345-358. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Méndez, M., Agüero, B., Pérez, E., (2007), Procesamiento de Imágenes del Satélite ASTER para la Actualización de la Red Vial a escala 1:100 000 con fines de Control de Flota. Agencia de Teledetección UTC GEOCUBA. La Habana, Cuba.
- Merlotto, A., Bértola, G. R., (2007), “Consecuencias Socio-Económicas asociadas a la erosión costera en el balneario parque mar Chiquita, argentina”, Investigaciones Geográficas, núm. 43, Pp. 143-160.
- Morán Z. D., Alba A., Corona E., Reyes S., Martínez S., Ángeles G., 1997. Relaciones Estratigráficas y Significado Tectónico del Volcanismo Silíceo del NW del Estado de Guerrero, México. Segunda Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Instituto de Geología, UNAM, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra UAH.
- Seguinot, J., (2015), Cambio climático y vulnerabilidad de las comunidades residentes en la cuenca hidrográfica del Río Piedras: San Juan, Puerto Rico. Ciencias Espaciales, 8. Pp. 212-230.
- Tolson-Jones, G., (1998), Deformación, exhumación y neotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado, Posgrado en Geofísica, Tesis doctoral, 98 p.
- Torres Rodríguez, V., A. Márquez García, A. Bolongaro Crevenna, J. Chavarria Hernández, G. Expósito Díaz y E. Márquez García, (2010), Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático, p. 325-344. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Semarnat-ine, unam-icmyl, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.
- Flores, J., (2004), “Métodos para el cálculo de la erosión costera”, Boletín de la Asociación de Geógrafos de España, núm. 30, pp. 103-118.

- Ojeda, J., (2001), "Métodos para el cálculo de la erosión costera", Boletín de la Asociación de Geógrafos de España, núm. 30, pp. 103-118.
- Ordaz, A., J. R. Hernández., E. Estévez., C. Díaz., A. P. Méndez, (2016), "Morfodinámica costera de la playa Bailén, costa sur del occidente de Cuba, entre los años 2003-2013", Investigaciones Geográficas, núm. 91, pp. 56-69.
- INEGI, (2010), Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Acapulco de Juárez, Guerrero. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/12/1200.pdf
- Raisz, E. (1964), *Landforms of Mexico (mapa en escala 1:3 000 000)*, Cambridge, Mass.
- Ramírez, J. M. (1986), "Turismo y medio ambiente: el caso de Acapulco", Revista de estudios Demográficos y Urbanos, pp. 479-512.
- Rodas, L., Cerdeira, S., Areces, A., Montalvo, J.F., Loza, S., del Valle, R., Delgado, Y., Carmenate, M., Sosa, M., Rivas, L., Guerra, R. (2008), Situación ambiental del litoral NW de Ciudad Habana (2003-2007), Informe final del Proyecto CACHA. Archivo 95 científico del Instituto de Oceanología. 69 pp.
- Rojas, J. L., M. A. Ortiz., A. Garrido, (2005), "Cambios morfológicos costeros en Isla del Carmen, Campeche, por el paso del Huracán Roxane", Investigaciones Geográficas, núm. 40, pp. 48-49.
- Salinas-Prieto, J. C., Monod, O., Faure, M., 2000, Ductile deformations of opposite vergence in the eastern part of the Guerrero terrane (SW Mexico): Journal of South American Earth Sciences, 13, 389-402.
- Sánchez, G., Blas, L. y Chau, G., (2010), "Informe nacional sobre el estado del medio ambiente marino del Perú. Convenio IMARPE-CPPS. Programa CONPACSE III. Lima, Perú.
- Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales, (2011), "Política Nacional de Mares y Costas. Gestión Integral de las Regiones más Dinámicas del Territorio Nacional" México. Pp. 41-50.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2003), NOM-22-SEMARNAT. Normas Oficiales Mexicanas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2002), NOM-23-SEMARNAT. Normas Oficiales Mexicanas.

- Secretaría de Relaciones Exteriores, “Tratados celebrados por México”, disponible en <http://tratados.sre.gob.mx/> ; Secretaría de Gobernación, *Guía de tratados promulgados y otros instrumentos internacionales vigentes suscritos por México*, Segob, México, 2003.
- Seguinot, J., (2015), Cambio Climático (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) y vulnerabilidad de las comunidades residentes en la cuenca hidrográfica del Río Piedras: San Juan, Puerto rico. Ciencias Espaciales, Volúmen 8. Pp 334.
- Slideplayer.com (2019) Formas del relieve costero. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/3187928/>
- 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.
- Terzaghi, K. y Peck, R.B., (1973), *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley and Sons. New York. Pp. 18-22.
- Torrete, J., (2017), Geomorfología. Disponible en: <http://geomorfologiacienciaaqui.blogspot.com/p/formas-del-paisaje.html>
- Trenhaile, A. S., (2004), *Geomorphology. A Canadian Perspective*. Ed. Oxford University Press, 456 p.
- UNESCO, (2007), *Introducción a Guardarenas: Una herramienta educativa para el desarrollo sustentable*. Documentos regiones costeras e islas pequeñas 19, UPRSGCP-UNESCO, Mayagüez, 92 pp.
- Wentworth, C. K., (1922), A scale of grade and class terms for clastic sediments. State University of Iowa. *The journal of Geology* Pp. 377-392.
- Windevoxhel, N.J., Rodríguez, J.J., Lahmann, E.J. (1999), Situation of integrated coastal zone management in Central America: experiences of the IUCN wetlands and coastal zone conservation program. *Ocean and Coastal Management* 42(2-4): 257-282.
- Windevoxhel, N.J., Rodríguez, J.J. y Laman, E.J. (2000), Situation of Integrated Coastal Zone Management in Central America, Experiences of the IUCN Wetlands and Coastal Zone Conservation Program, 31 pp. Consultado en línea el 12 de octubre del 2014 en: <http://uicnhumedales.org/english/online/4.pdf>.

Wolf, P. R. y Ghilani, C. D. (2016), Topografía. 14va Edición. Edit. ALFAOMEGA. Pp. 76-93. México.

ANEXO 1. CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LA BAHÍA DE ACAPULCO.

