

Evaluación histórica de los procesos de erosión y acreción en las playas de Puerto Escondido, Oaxaca

Historical evaluation of coastal erosion and accretion dynamics on the beaches of Puerto Escondido, Oaxaca

Inna Valeria Acevedo-Granados^{1,*}, Antonio Zoilo Márquez-García², John S. Armstrong-Altrin³

¹ Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, 04510, CDMX, México.

² Laboratorio de Geología y Limnología, Departamento de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, 09340, CDMX, México.

³ Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Procesos Oceánicos y Costeros, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, 04510, CDMX, México.

* Autor para correspondencia: (I.V. Acevedo-Granados) innaag@comunidad.unam.mx

RESUMEN

Puerto Escondido es una ciudad turística ubicada en las costas oaxaqueñas que colinda con el Pacífico mexicano. Es de relevancia ecológica debido a la diversidad de ecosistemas presentes como humedales, lagunas costeras, playas arenosas y dunas; es importante remarcar que sus playas son zonas de anidación de tortugas marinas. El desarrollo urbano ha seguido la tendencia global de crecimiento acelerado, especialmente en los últimos 30 años. Esta dinámica resalta la importancia de estudiar la zona para una toma de decisiones informada que favorezca un aprovechamiento sostenible de la franja costera. En el presente trabajo se realizó una reconstrucción histórica de la línea de costa utilizando un conjunto de metodologías (levantamiento topográfico, Sistemas de Información Geográfica y uso de imágenes satelitales) para conocer el desplazamiento y determinar las tasas de erosión de las playas cercanas a Puerto Escondido, Oaxaca. La zona de estudio comprendió 6 playas a lo largo de 16 km en las costas de Puerto Escondido: Punta Bacocho, Puerto Angelito, Bahía Principal, Zicatela, Colotepec y Los Naranjos. El periodo de estudio comprendió los años de 2003 a 2020. Las tasas de erosión determinadas para las playas Los Naranjos y Puerto Angelito fueron de $-1.5 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$ y $-0.28 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$ respectivamente. Las tasas de acreción fueron: Colotepec ($0.98 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$), Zicatela ($2.08 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$), Bahía Principal ($1.31 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$) y Punta Bacocho ($3.05 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$). Con base en lo anterior se concluyó que predomina el desplazamiento positivo, indicando procesos de acreción ($1.03 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$), siendo importante remarcar el aporte sedimentario observado a través de las vialidades hacia la costa, así como los aportes del Río Colotepec.

Palabras clave: erosión, acreción, Puerto Escondido, sedimentos, SIG.

ABSTRACT

Puerto Escondido is a tourist city located on the coast of Oaxaca state, bordering the Mexican Pacific. This is an area of ecological relevance due to the presence of different ecosystems: wetlands, coastal lagoons, sandy beaches and dunes; being important to highlight the importance for turtle nesting in these beaches. Urban development has followed the global trend of accelerated growth, particularly over the past 30 years. This dynamic highlights the importance of studying the area to support informed decision-making aimed at the sustainable use of the coastal zone. The present study is a reconstruction of historical evolution of the shoreline in which different methodologies (topographic survey, Geographic Information System (GIS), and satellite images) were applied to determine the displacement and the erosion rates of beaches near Puerto Escondido, Oaxaca. The study area included 6 beaches, which covers 16 km along the Puerto Escondido coastline: Punta Bacocho, Puerto Angelito, Bahía Principal, Zicatela, Colotepec and Los Naranjos. The present study investigates the erosion rate from the years 2003 to 2020. The erosion rates determined for the Los Naranjos and Puerto Angelito beaches were $-1.5 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$ and $-0.28 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$, respectively. The accretion rates for beaches were: Colotepec ($0.98 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$), Zicatela ($2.08 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$), Bahía Principal ($1.31 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$) and Punta Bacocho ($3.05 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$). With these results, we concluded that the positive displacement is dominant, indicating the accretion processes ($1.03 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$), being remarkable the sediment supply from the roads and the Colotepec river.

Keywords: erosion, deposition, sediments, Puerto Escondido, GIS

Cómo citar este artículo:

Acevedo-Granados, I.V., Márquez-García, A.Z., Armstrong-Altrin, J.S., 2025, Evaluación histórica de los procesos de erosión y acreción en las playas de Puerto Escondido, Oaxaca: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 77(2), A280225. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2025v77n2a280225>

Manuscrito recibido: 20 de Agosto de 2024
Manuscrito corregido: 20 de Enero de 2025
Manuscrito aceptado: 28 de Enero de 2025

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CCBY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

1. Introducción

La zona costera es una zona de transición en donde los ecosistemas naturales están adaptados a una compleja interacción de factores regidos por procesos físicos, químicos y biológicos de alta dinámica incluyendo actividades humanas, en consecuencia el sitio presenta una continua modificación en la línea de costa (Bird, 2008; Torres-Rodríguez *et al.*, 2010; Botello *et al.*, 2011; Silva-Casarín *et al.*, 2017). Esta modificación es generada por la acción de erosión y acumulación de sedimentos, procesos que pueden ocurrir en instantes (horas) hasta intervalos geológicos (miles o más años); su diagnóstico requiere evaluar los cambios morfológicos a lo largo del tiempo y sus causas, considerando tanto los procesos costeros naturales como las intervenciones antrópicas (Silva-Casarín *et al.*, 2017; Masselink *et al.*, 2011; Bolongaro *et al.*, 2011; Palacio-Aponte, 2001; Krumbein y Sloss, 1963).

Los ecosistemas costeros se ven afectados también por el aumento del nivel del mar, causando una contracción del hábitat, cambios en la distribución de especies, así como pérdida de biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas, siendo agravados por las perturbaciones humanas (IPCC, 2019). Bajo el cambio climático se plantean 6 efectos biofísicos importantes desde una perspectiva social (Botello *et al.*, 2011):

- Aumento de las probabilidades de frecuencia de inundación
- Erosión
- Inundación
- Elevación de los niveles freáticos
- Intrusión de agua salada
- Efectos biológicos

La erosión es la principal causa de la destrucción de playas del litoral, las cuales se caracterizan porque sufren cambios en su altitud y pendiente, presentando diferentes configuraciones, como: escalones, áreas cóncavas, canales de marea e

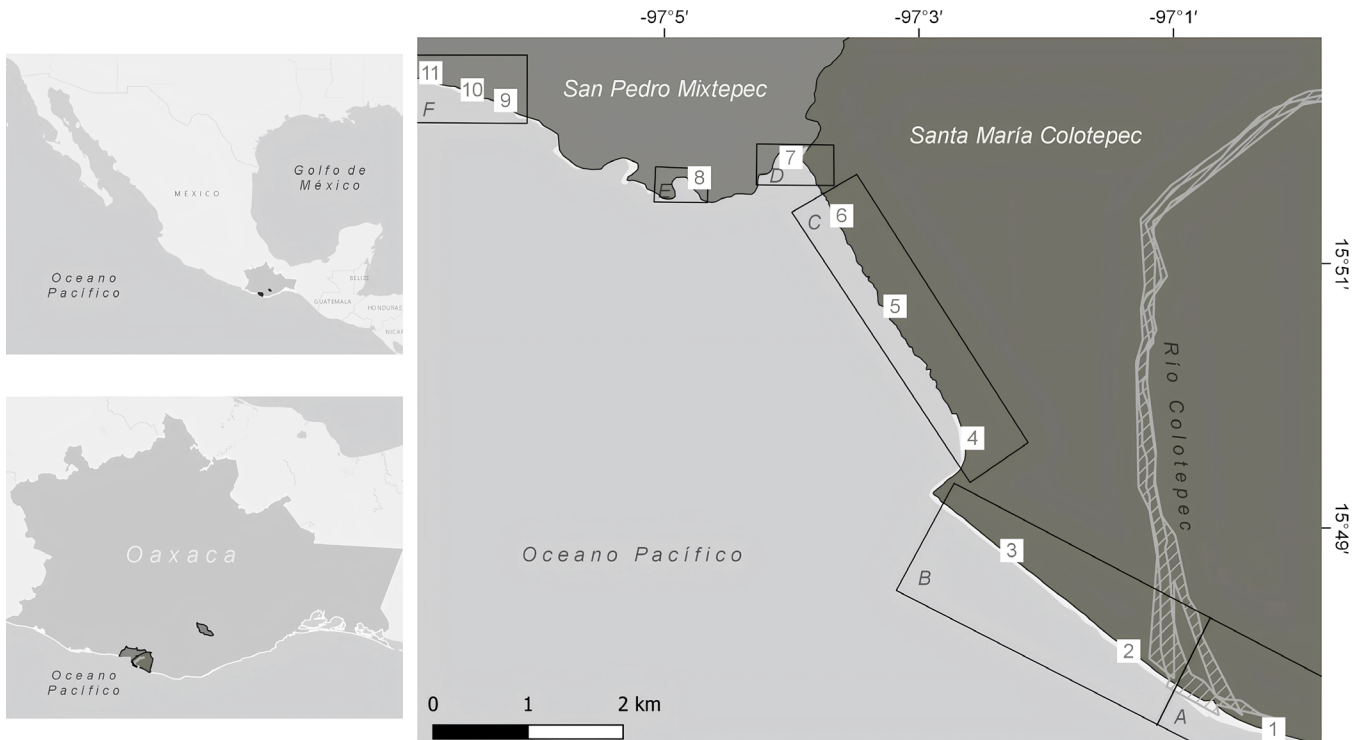


Figura 1 Localización del área de estudio, playas (A. Los Naranjos, B. Colotepec, C. Zicatela, D. Bahía Principal, E. Puerto Angelito, F. Punta Bacocho) y puntos de muestreo (1-11).

incluso taludes en la zona de mesoplaya. Por el contrario, en las playas en proceso de acreción o acumulación se observa un aumento en la amplitud de playa, montículos en forma de dunas, mientras la pendiente tiende a ser uniforme en toda la playa (Bolongaro *et al.*, 2011).

Durante los últimos años la tendencia de migración humana a las costas ha incrementado

creando una mayor demanda de espacios, consumo de recursos y la consiguiente generación de desechos, así como una continua invasión y afección a la dinámica de los ecosistemas naturales (Small y Nicholls, 2003; CIMSMC, 2012; Jiménez-Arenas *et al.*, 2021).

Los sistemas naturales poseen una capacidad inherente de resiliencia frente a presiones

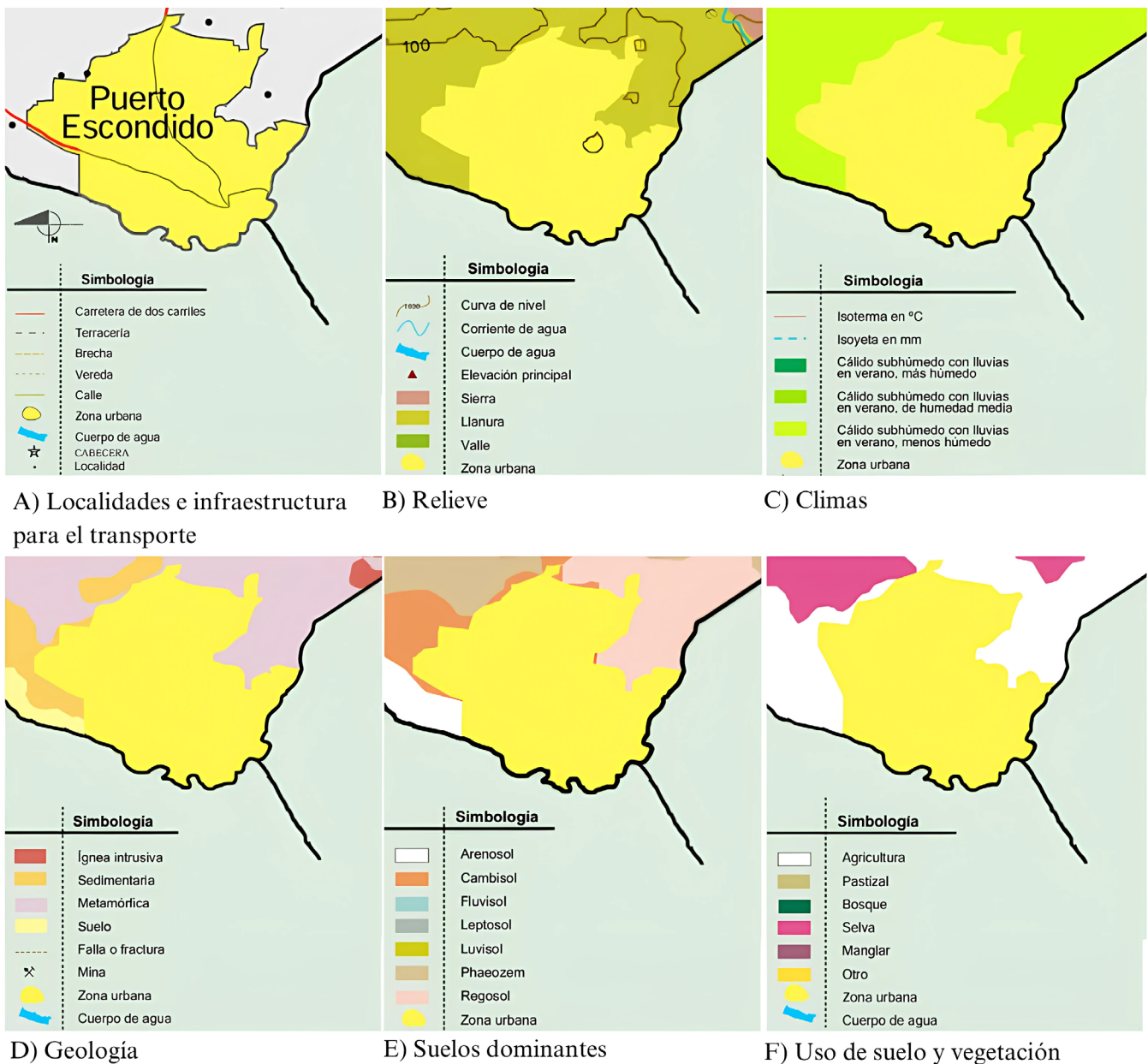


Figura 2 Información geográfica del municipio de San Pedro Mixtepec, Oaxaca.

externas; no obstante, las actividades antrópicas han alterado sus funciones protectoras, lo que ha derivado en un aumento de su vulnerabilidad ante riesgos naturales, como la erosión costera. (Botello *et al.*, 2011). El monitoreo del movimiento costero es fundamental para comprender la evolución de los entornos litorales, además de constituir una herramienta clave para los responsables de la toma de decisiones a nivel regional (ESA, 2021).

En México se han estudiado los procesos de erosión/acreción de algunos sitios; especialmente de interés turístico, en las cuales se reporta una

dominancia de procesos erosivos en playas del Pacífico con tasas de: Acapulco ($-0.42 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$), Mazatlán ($-1.08 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$), Huatulco ($-0.41 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$) y Zihuatanejo ($-0.58 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$) (SECTUR, 2017).

En este estudio, se realizó una evaluación histórica de los procesos de erosión y acreción en Puerto Escondido durante el periodo 2003–2020, abarcando un tramo de 16 km desde la desembocadura del río Colotepec hasta Punta Bacocho. Se determina la tasa de erosión–acreción con el objetivo de identificar los procesos que predominan en la dinámica de la línea de costa.

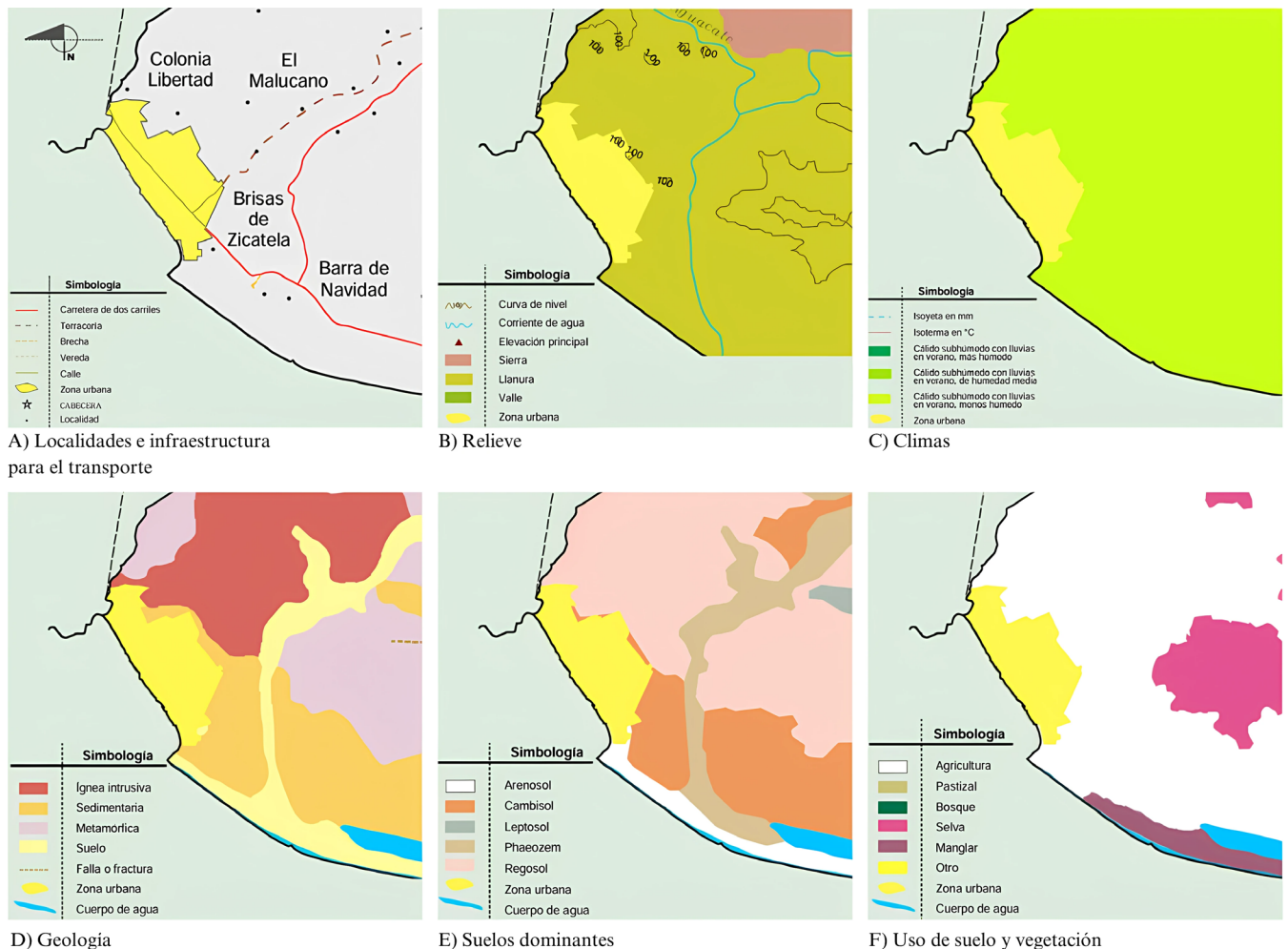


Figura 3 Información geográfica del municipio de Santa María Colotepec, Oaxaca.

2. Área de estudio

El área de estudio se localiza en el sureste de México en la región de Puerto Escondido, en las costas del Estado de Oaxaca entre los límites municipales de San Pedro Mixtepec y Santa María Colotepec (entre las coordenadas N 15.80°, 15.86° y O 17.10°, 97.01°), colindando al Sur con el Océano Pacífico (Figura 1).

Ambos municipios corresponden a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y la subprovincia Costas del Sur; el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Figuras 2c y 3c; INEGI, 2012).

2.1. SAN PEDRO MIXTEPEC

Las playas de Bacocho, Puerto Angelito y Bahía Principal corresponden a este municipio (Figura 2) en donde predomina el área urbana, habiendo desplazado a otros ecosistemas (INEGI, 2010a).

2.2. SANTA MARÍA COLOTEPEC

Las playas de Zicatela y las colindantes al río Colotepec corresponden a este municipio. Se ubican en un relieve de tipo llanura, el cual en la zona de Zicatela ha sido desplazada por área urbana (Figura 3b), en las zonas altas colindantes con el Río Colotepec predomina la roca sedimentaria y suelos tipo cambisol, que permite que esta zona sea aprovechada por la agricultura; en las zonas colindantes a la costa predomina el suelo de tipo arenosol (>70% de arena y <15% de arcilla) en donde existe una zona de manglar, la cual es un área natural protegida (Figura 3f; Delgadillo-Pérez, 2015). Al este de la desembocadura del río se localiza la laguna costera conocida como Laguna “Palmasola”. Hacia el oeste se encuentra una boca-barra intermitente que, durante la temporada de lluvias, se conecta con el mar; en contraste, hacia el este, la barra se mantiene estable, conservando la separación

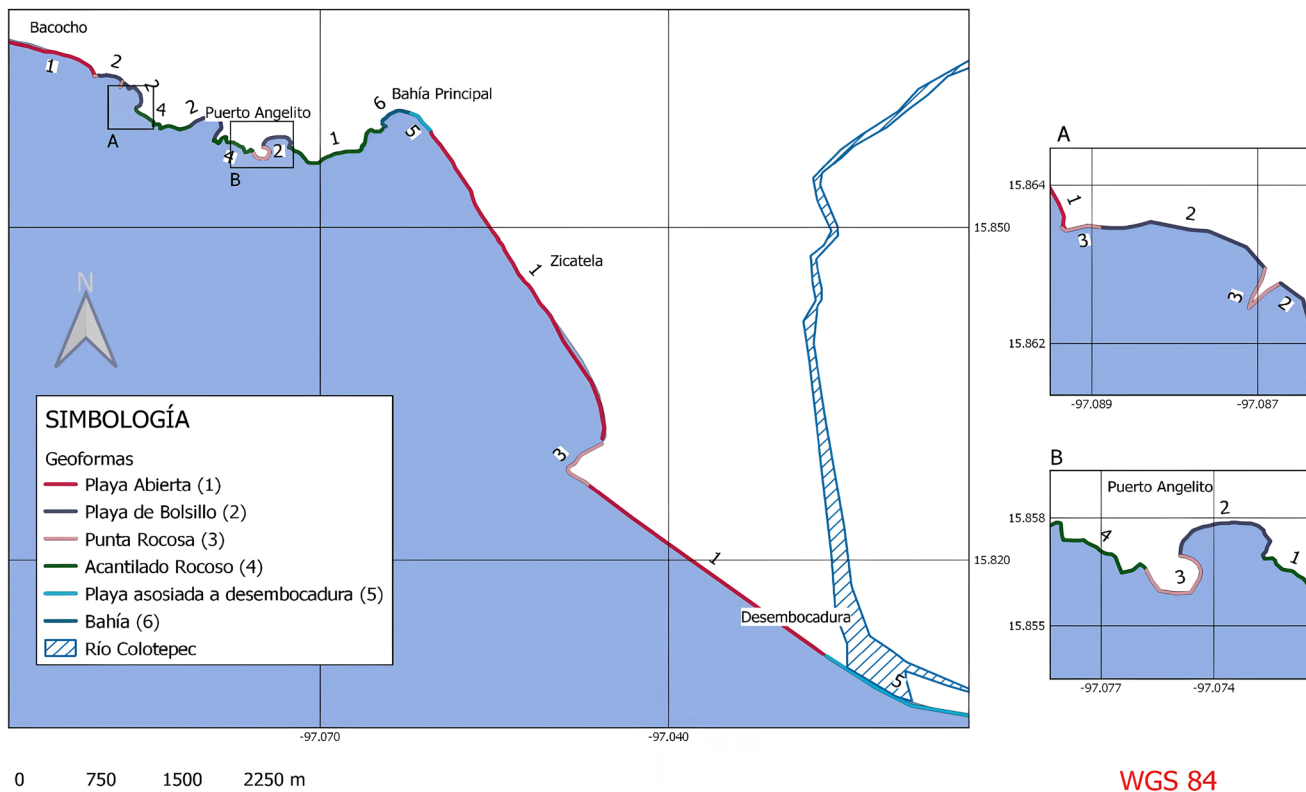


Figura 4 Clasificación geomorfológica del área de estudio.

entre la laguna y el océano (Delgadillo-Pérez, 2015; INEGI, 2010b).

Estas playas se caracterizan por dunas frontales que facilitan el desarrollo de actividades recreativas, con una afluencia en su mayoría nacional, su oferta turística se basa en pequeñas y medianas empresas (SECTUR, 2018). La Bahía Principal y Zicatela presentan mayor actividad económica y recreativa, siendo las actividades de pesca y turismo más importantes para Bahía Principal; y las actividades turísticas enfocadas al surf a nivel internacional para Zicatela por sus olas que llegan a medir hasta 6 m de altura (Zannie, 2020).

Se realizó una delimitación (Figura 4), considerando diferencias geomorfológicas del litoral de acuerdo con las formas costeras descritas por Silva Casarín *et al.* (2017):

A. Los Naranjos. Playa con 2.5 km de longitud, ubicada al este de la desembocadura del río Colotepec, en donde colinda con la laguna costera “Palmasola”, del lado oeste se encuentra la boca-barra que es intermitente y del lado este la barra es estable manteniendo la separación entre la laguna y el mar (Figura 3f; Delgadillo-Pérez, 2015; INEGI, 2010b).

- B. Colotepec. Playa abierta con 3.5 km de longitud, ubicada en la zona oeste de la desembocadura del río Colotepec, presenta del lado este una zona de manglar y del lado oeste una zona agrícola (Figura 3f).
- C. Zicatela. Playa abierta con 3.8 km de longitud, protegida en la parte este por una punta rocosa que actúa como espigón.
- D. Bahía Principal: Bahía de Puerto Escondido con 1.1 km de longitud con la presencia de un remanente de laguna en la zona este.
- E. Puerto Angelito: Playa de bolsillo de 0.3 km de longitud, protegida por puntas rocosas en sus extremos.
- F. Punta Bacocho: Playa abierta de 1.5 km de longitud.

La zona de estudio se localiza en el límite sur de la región oceanográfica mexicana, que se extiende desde Cabo San Lucas, en Baja California Sur, hasta el borde occidental del golfo de Tehuantepec. Esta región se caracteriza por la presencia de corrientes débiles y variables, que durante el invierno presentan una dirección predominante hacia el suroeste, mientras que en verano fluyen principalmente hacia el noreste. Las condiciones oceanográficas incluyen temperaturas

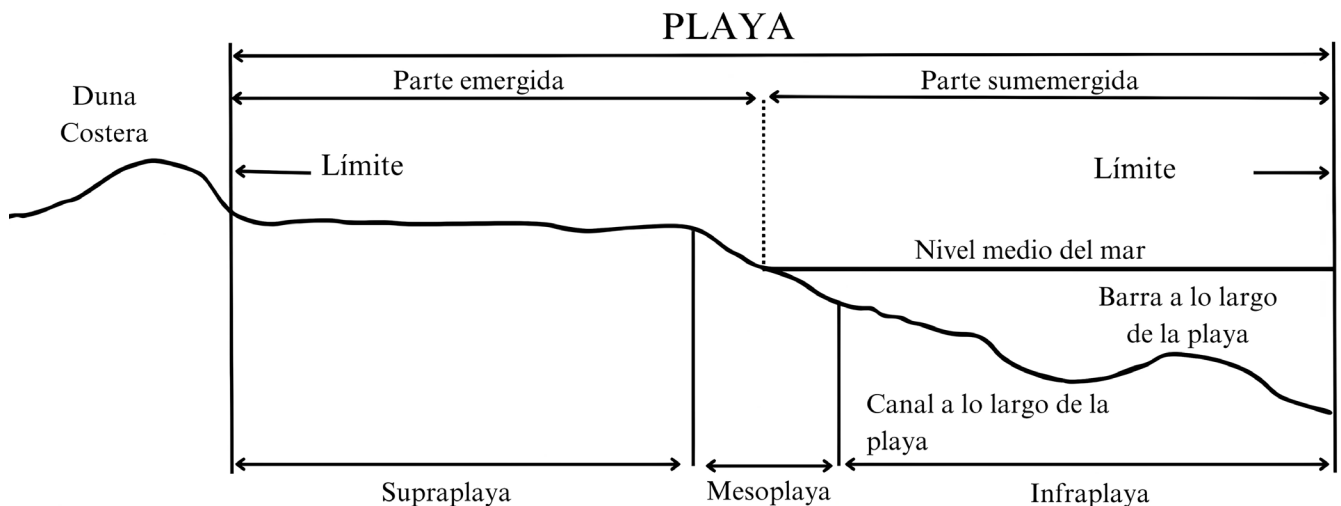


Figura 5 Esquema de perfil de playa. El muestreo de los 11 puntos se obtuvo en las zonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya.

superficiales y salinidades elevadas a lo largo del año (Acevedo y Turok, 2000); las mareas están clasificadas como mixtas (valores de 0.77, 0.35 y 0.29) de acuerdo con la estación mareográfica de Puerto Ángel.

3. Metodología

La delimitación de la línea de costa a través del tiempo respecto a la zona litoral contigua provee información sobre el volumen y ancho de playa, por lo que es utilizada para cuantificar las tasas de erosión o acreción (CONABIO, 2016).

Para analizar este movimiento, se pueden considerar diferentes características, estas pueden observarse a simple vista, derivarse de registros de datos de mareas o identificarse mediante indicadores obtenidos a partir de imágenes digitales (Boak y Turner, 2005).

3.1. ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

Para el presente estudio se utilizó el criterio de la línea húmedo/seca o máximo previo, de acuerdo con la metodología propuesta por Boak y Turner (2005), por ser la que mejor se ajustó al estudio realizado.

La delimitación histórica de la línea de costa para el periodo comprendido entre 2003 y 2020 se realizó mediante el análisis de imágenes satelitales, aplicando una serie de procesos iterativos sobre cada imagen seleccionada, con el objetivo de determinar las tasas de erosión-acreción (Dolan *et al.*, 1992, Crowell *et al.*, 1991), realizando los siguientes pasos:

1. Obtención de imágenes satelitales: se realizó una revisión de los sensores satelitales de libre acceso, se utilizaron las imágenes proporcionadas por Google Earth Professional correspondientes al satélite World View (imágenes anuales del periodo 2003 a 2020).

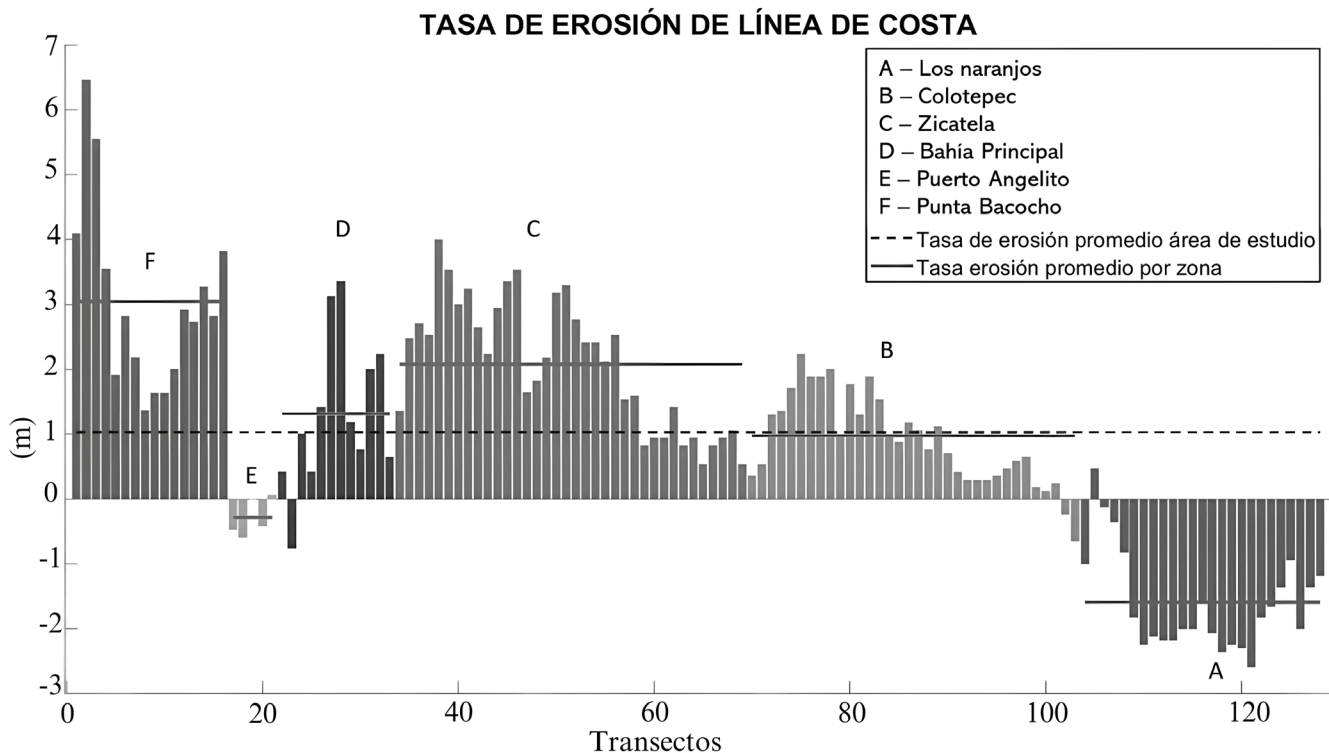


Figura 6 Tasa de erosión-acreción de la línea de costa de la zona de estudio.

2. Georreferenciación de imágenes: todas las imágenes obtenidas fueron georreferenciadas en el software de libre acceso QGIS utilizando transformación polinomial con al menos 4 puntos de referencia, proyección del datum WGS84 y el sistema de proyección UTM para la zona 14.
3. Ubicación de línea húmedo/seca: se utilizó el programa MATLAB con el cual se generó un código para la identificación de pixeles correspondientes a la línea húmedo-seca, teniendo así un mismo criterio para todas las imágenes.

1. Georreferenciación de línea húmedo/seca: la ubicación de la línea de costa mediante el programa MATLAB, se trasladó al programa QGIS con el cual se realizó un trazado vectorial sobre los pixeles indicados por el código trabajando sobre puntos control de las imágenes georreferenciadas.
2. Yuxtaposición de línea húmedo/seca: se colocaron todas las líneas obtenidas del proceso anterior en una sola capa, para observar los procesos históricos ocurridos en la línea de costa, ubicando la línea base (definida con la imagen base (septiembre 2019) para trabajar retrocediendo en el tiempo, teniendo una mejor referencia en los puntos de control).

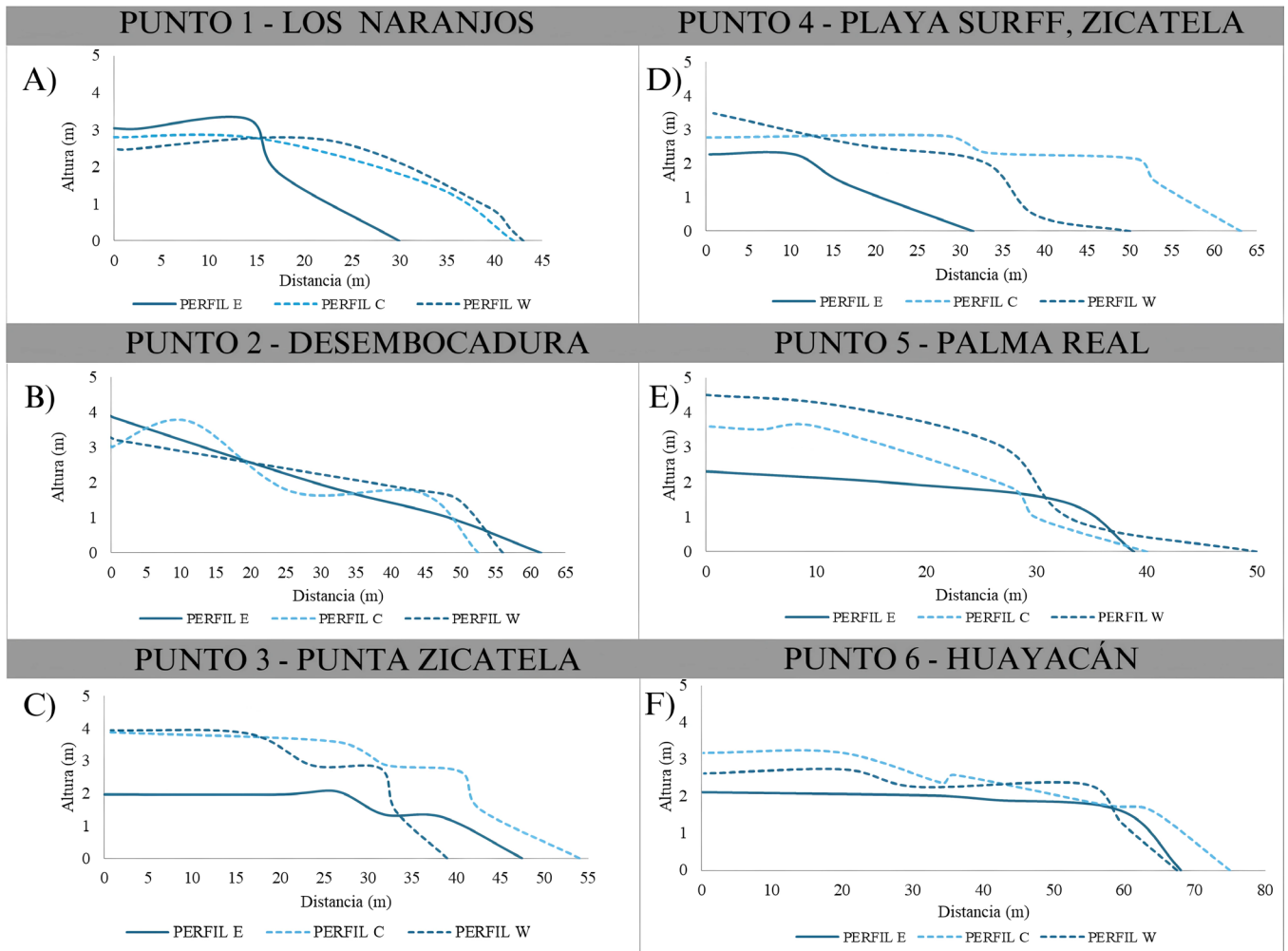


Figura 7 Perfiles topográficos del área de estudio (Punto 1-6).

3. Segmentación y medición: se realizó una segmentación en QGIS cada 100 m de la línea base, obteniendo un total de (n=128) transectos perpendiculares, para las mediciones del movimiento neto de la línea de costa; con lo que se obtuvo: promedio de movimiento neto para cada playa, promedio anual de playa, tasa de erosión y promedio general.
4. Prospección visual a través de las imágenes históricas para reconocer y ubicar zonas con cambio de uso de suelo, principalmente por procesos de urbanización; en donde se asignaron puntos para edificaciones (casas, hoteles, etc.) y líneas para la ubicación de nuevas calles y avenidas.

Las mediciones obtenidas representaron el movimiento neto en el total de años analizados, con esos datos se obtuvieron:

- Promedio de movimiento neto por zona: se obtuvo el promedio de la medición del movimiento neto de todos los transectos medidos por zona.
- Promedio anual de zona: se obtuvo mediante el promedio de movimiento neto entre número de años analizados.
- Tasa de erosión: se obtuvo mediante la división del movimiento neto entre años evaluados (movimiento neto/años).
- Promedio: se generó un promedio anual para todas las zonas.

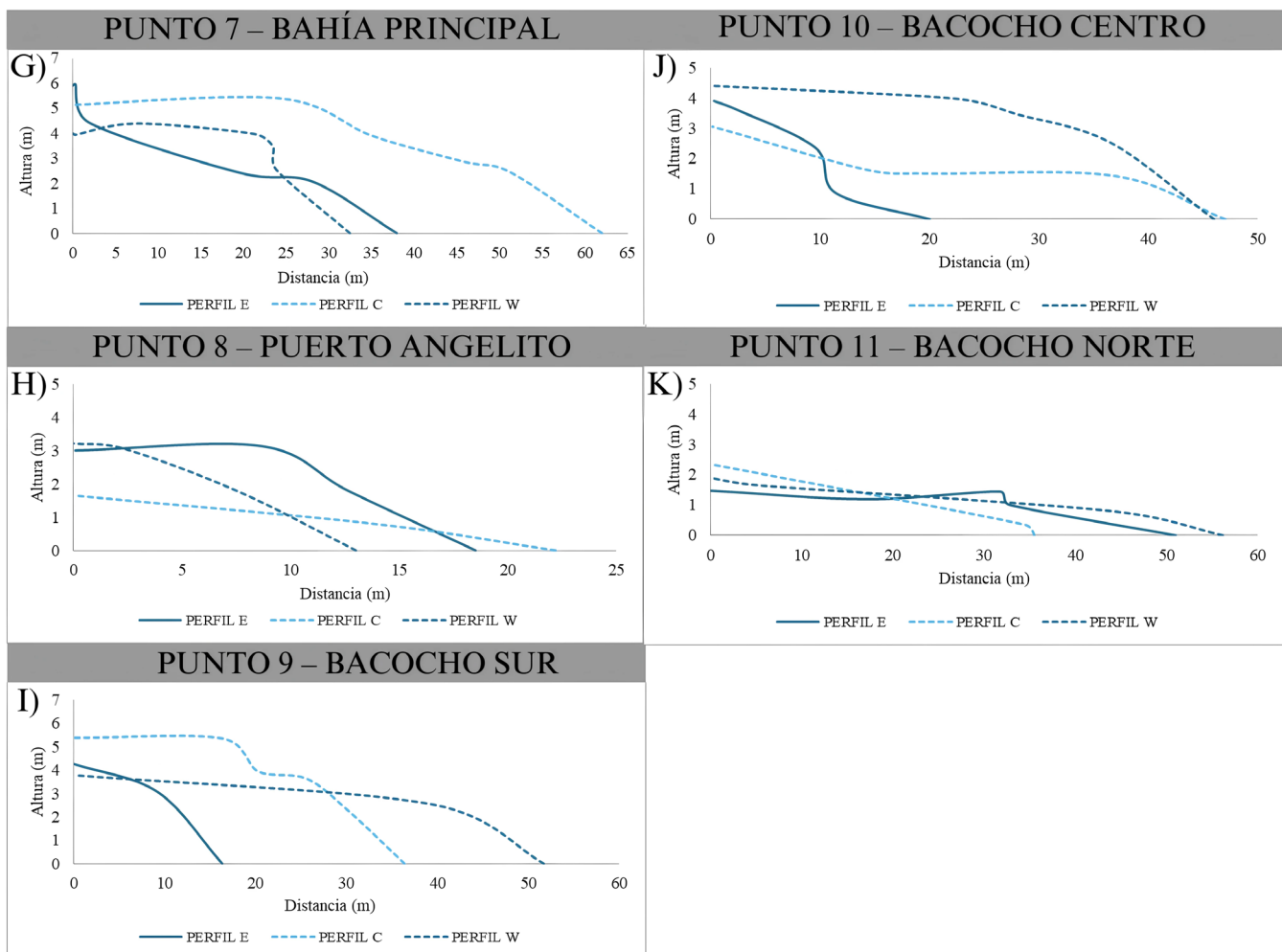


Figura 8 Perfiles topográficos del área de estudio (Punto 7-11).

3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para complementar la información obtenida mediante el análisis de imágenes y tener una referencia física actual de la morfología de costa, se hizo un levantamiento topográfico de las playas durante el mes de septiembre del año 2019. En cada punto se realizaron 3 perfiles topográficos con una separación de 50 metros, uno de otro.

Los perfiles topográficos de playa son resultado de complejos procesos de transporte y acumulación de sedimento, que indican la dinámica costera (Bernabeu *et al.*, 2002; Andrade y Ferreira, 2006), se realizaron con el método de nivelación diferencial (Márquez-García, 2011), con un nivel fijo y estatal midiendo las distancias horizontales entre los puntos visados (Wolf *et al.*,

2013). Determinando longitud, pendiente y altura de playa, delimitando las zonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de acuerdo con Carranza y Caso (1994; Figura 5).

La distancia para calcular longitud de playa se calculó por Pitágoras como:

$$Distancia = \sqrt{(Coord\ x\ base - coord\ x\ punto\ n) + (Coord\ y\ base - coord\ y\ punto\ n)}$$

La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los catetos, siendo estos las coordenadas X y Y, debido a que no se ubican en el origen, se resta de la primera medición a la que se requiere conocer su distancia a la primera.

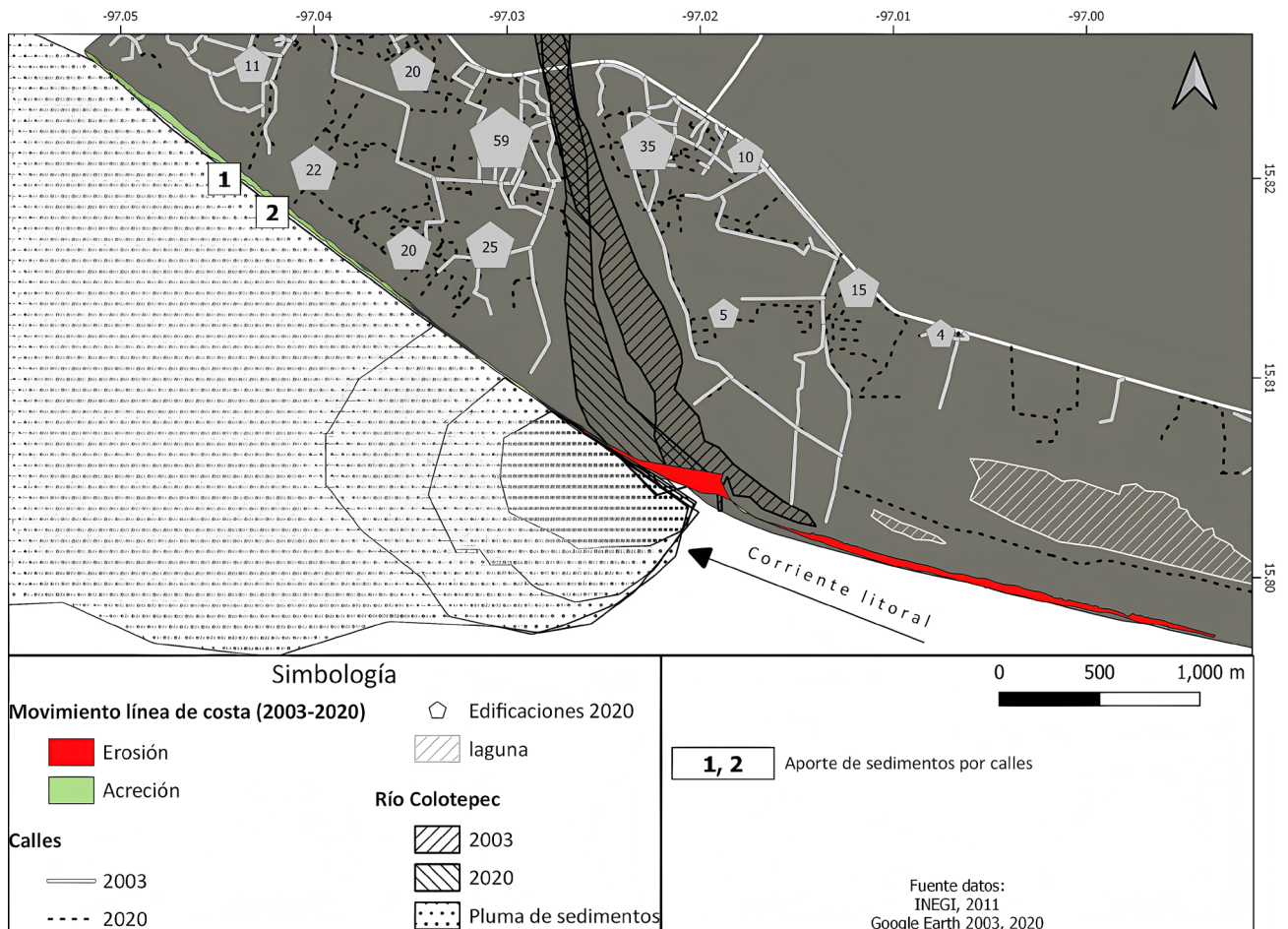


Figura 9 Procesos de erosión y acreción, así como aumento en el cambio de uso de suelo en playa Los Naranjos y Colotepec.

Tabla 1. Datos de desplazamiento neto y anual en la zona de estudio.

Sitio	Años	Intervalo (años)	Desplazamiento total promedio (m)	Desplazamiento anual promedio
Bacocho	2009-2020	11	33.5	3.04
Puerto Angelito	2003-2020	17	-4.8	-0.28
Bahía Principal	2003-2020	17	22.3	1.31
Zicatela	2003-2020	17	35.3	2.08
Colotepec	2003-2020	17	16.5	0.98
Los Naranjos	2003-2020	17	-27.04	-1.5

La altura de playa se obtiene de la resta de la primera medición menos la cota n:

$$Altura = altura\ infraplaya\ medida\ en\ campo - altura\ cota\ n - altura\ de\ punto\ de\ referencia$$

Con estos datos se generaron los perfiles en donde también se obtuvo la pendiente mediante una regresión lineal, en grados y porcentaje (Tabla 3).

4. Resultados

En la Figura 6, se observan los resultados obtenidos a partir de un total de 128 transectos perpendiculares a la costa, ubicados a intervalos de 100 m para cada playa, mediante los cuales se estimó la tasa de erosión (movimiento neto/metros por año); de manera individual (para cada transecto), se obtuvo el promedio para cada playa, y el promedio de toda la zona de estudio entre los años 2003 y 2020, el cual se registra predominantemente positivo con un valor promedio de 1.03 m/año-1 indicando ganancia de terrenos al mar.

A continuación, se describen las playas de manera independiente:

A. Los Naranjos. En esta playa existe un comportamiento fluctuante de los procesos de erosión depósito (Figura 10) con tendencia

erosiva; la línea de costa presentó un desplazamiento neto de -27.04 m en 17 años, y un desplazamiento anual promedio de 1.5 m. La zona cercana a la carretera es en donde hubo cambios de uso de suelo sin invadir la zona de playa (Figura 9).

El comportamiento de la barra en la zona más cercana a la desembocadura del río tiene un comportamiento temporal y es en donde se puede observar un área de mayor erosión que se liga a esta misma dinámica; mientras que el resto muestra una fluctuación de procesos que nos puede indicar que esta playa se encuentra en equilibrio.

B. Colotepec. Playa en la zona Oeste de la desembocadura del río Colotepec. Presenta una tasa neta de acreción de 16.6 m en 17 años, y un desplazamiento anual promedio de 0.98 m, influenciada por aportes de sedimentos fluviales procedentes de la corriente litoral (Figura 9).

El análisis de imágenes satelitales permitió identificar que los puntos 1 y 2 (Figura 9) presentan un mayor aporte de sedimentos terrígenos, lo que se traduce en una acreción más significativa en comparación con el resto de la playa. Esta dinámica sedimentaria podría estar asociada al incremento en el número de vialidades (líneas punteadas) e inmuebles que se extienden desde las zonas altas hacia la franja litoral. Esta relación se evidencia en los pentágonos, los cuales indican el aumento en

el número de viviendas dentro de un radio de 500 metros durante un periodo de 17 años.

C. Zicatela. La playa abierta de Zicatela en donde el turismo es la actividad principal, ha tenido un crecimiento urbano acelerado, como se observa en los pentágonos (Figura 11) que representan el número de construcciones y caminos que aumentaron en el periodo de 2003 a 2020 en un radio de 500 m.

La línea de costa tuvo un desplazamiento neto de 35.3 m en 17 años, y anual de 2.08 m; la acreción es el proceso dominante, en el norte de esta playa se observa en mayor proporción; se puede relacionar con el aporte de la corriente litoral y en la zona sur, existe una punta rocosa la cual provee protección haciendo el efecto de espigón, disminuyendo la cantidad de depósito de sedimentos.

D. Bahía Principal. Se observó un desplazamiento neto de acreción de 22.3 m y una tasa anual de 1.3 m. La acumulación se hace evidente en el extremo Este debido a la presencia de la laguna “La Escondida”. En esta playa la urbanización es evidente siendo la zona hotelera; los cambios antrópicos, como la escollera, es en donde se observa una fuerte erosión, la cual se relaciona con esta construcción, presentando cambios en la llegada y depósito de los sedimentos (Figura 12).

E. Puerto Angelito. Esta playa de bolsillo presentó un proceso erosivo con un desplazamiento de línea de costa neto de -4.8 m y una tasa anual de -0.28 m, comportamiento que es inverso a lo reportado en la literatura, donde se indica que una playa de bolsillo será una zona de depósito de sedimentos (SNET, 2010).

En esta playa, a pesar de que la urbanización no es tan evidente como en Zicatela, la ocupación de las pequeñas playas por comercios ha sido mediante construcciones que evitan el depósito de arenas.

F. Playa Bacocho. Playa abierta con una amplitud de más de 30 m de distancia entre las zonas de infraplaya y supraplaya. En la zona norte de Punto Bacocho (Punto 11), la distancia máxima respecto al oleaje máximo es de 17.8 m y total entre 40 y 50 m. Presenta un ambiente seco y vegetación de matorral, además de estar protegida por una punta rocosa en el extremo oeste.

Tiene un desplazamiento de línea de costa neto de 33.5 m y una tasa anual de 3.05 m (Tabla 1); se observan pocos cambios de uso de suelo y una dominancia en el proceso de acreción; sin embargo, tomando en cuenta las líneas de evolución de la línea de costa podemos definir que dominan los procesos de fluctuación erosión-depósito (Figura 13).

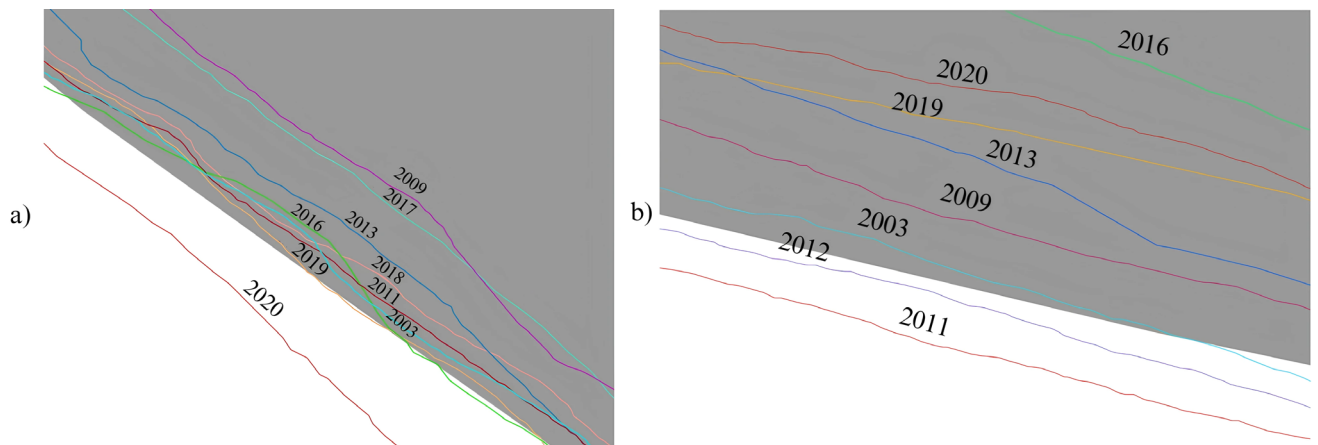


Figura 10 Líneas históricas de a) Colotepec y b) Los Naranjos.

4.1. PERFILES TOPOGRÁFICOS

Se obtuvieron 33 perfiles (Figuras 7 y 8) con los cuales se determinó el valor de distancia, pendiente y altura de playa (Tabla 3); la distancia se refiere a la distancia con respecto al oleaje máximo (≈ 1.06 m), obtenido a partir de los registros de la Estación Mareográfica del Servicio Mareográfico de Geofísica de la UNAM, tomando como referencia las tablas de Puerto Ángel, Oaxaca.

Las playas con una mayor distancia se encuentran en el norte de Punta Bacocho (Punto 11) 17.8 m y en la zona sur de Zicatela (Punto 4) 10.8 m, en ambos casos son playas amplias con más de 30 m de amplitud entre las zonas de

infraplaya y supraplaya; mientras que las playas con una menor distancia son: la zona centro de Zicatela (Punto 5) 2.8 m y la zona sur de Punta Bacocho (Punto 9) 2.8 m.

El perfil de Los Naranjos (Figura 7a) es un perfil típico de barra, con una distancia >40 m; el perfil E tiene un comportamiento distinto, esto debido a que este perfil se encuentra cerca de la zona donde la barra es intermitente, por lo que no se debe confundir esto con procesos erosivos que afectan toda la zona.

La zona de la Desembocadura (Figura 7b) tiene una amplitud mayor a 50 m y su pendiente es del 7.1% (baja) con lo que podemos suponer que los escalones que se muestran en el perfil son producto de la temporalidad del muestreo.



Figura 11 Procesos de acreción, urbanización y aporte de sedimentos terrígenos en playa Zicatela.

Tabla 2. Tasas de erosión-acreción (m/año) reportados para algunos sitios turísticos en México.

Sitio	Tasa de erosión / acreción (m/año)
Cancún	-5.83
Acapulco	-0.42
Mazatlán	-1.08
Riviera Maya	-1.22
Los Cabos	0.45
Puerto Vallarta	0.49
Nuevo Vallarta	2.22
Mazatlán	-1.08
Veracruz	-0.32
Zihuatanejo	-0.58
Huatulco	-0.41

La zona de Punta Zicatela (Figura 7c) presenta escalones característicos de la temporada de lluvias. La pendiente promedio de 8.3 m, indica que los procesos erosivos son bajos. No obstante, en el perfil este se observa una mayor intensidad erosiva, lo cual puede atribuirse a la presencia del camino libre en ese sector, que genera una mayor amplitud en la zona de mesoplaya. La ausencia de duna permite un mayor desplazamiento del sedimento hacia el interior, a diferencia de los otros dos puntos de los perfiles analizados.

La playa de Zicatela, en la zona de Surf (Figura 7d), presenta una distancia máxima entre los 40 y 60 m, y una distancia de 10.8 m respecto al oleaje máximo, este punto se encuentra protegido al sur por una punta rocosa. La zona presenta un escalón de playa característico de la temporada de lluvias (muestreo de septiembre de 2019), cuya altura

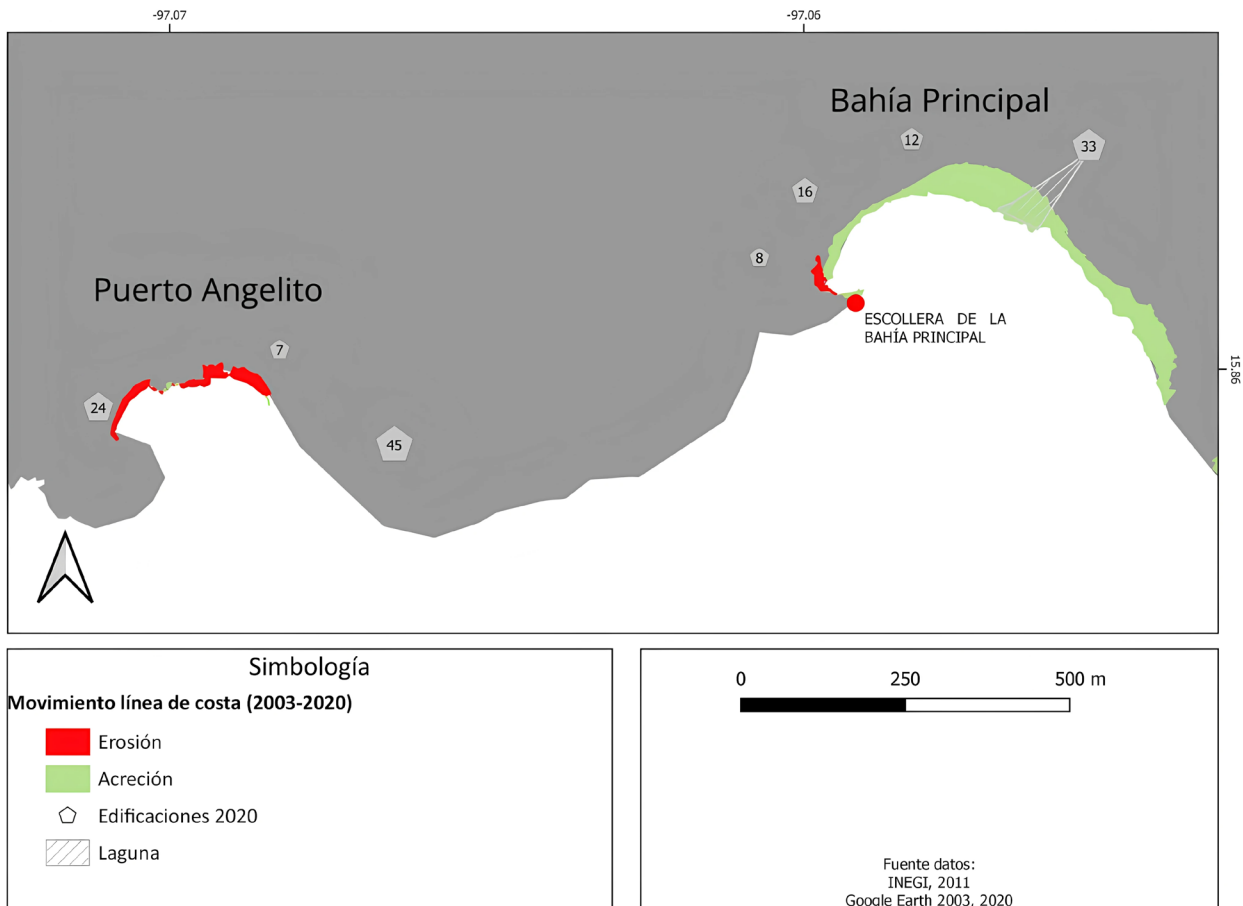


Figura 12 Procesos de erosión, acreción y cambio de uso de suelo para la Bahía Principal y Puerto Angelito.

Tabla 3. Clasificación de pendientes en grados y porcentaje.

Clase de pendiente	Grados (°)	Porcentaje (%)
Baja	0 - 8	0 - 15
Moderada	8 - 16	15 - 30
Fuerte	16 - 27	30 - 50
Muy fuerte	27 - 45	50 - 100
Extremadamente fuerte	> 45	> 100

no supera los 2 metros. Una situación similar se observa en el siguiente punto (Figura 7e), donde el perfil correspondiente a la zona este se localiza en el área del camino que lleva a la playa. La ausencia de una duna costera facilita el desplazamiento de los sedimentos hacia el interior, al no existir una barrera que los retenga.

La zona de Zicatela, que corresponde a Palma Real (Figura 7f), recibe una mayor energía del oleaje provocando una erosión continua. En esta zona se encuentra un escalón muy marcado, que genera una pendiente de 2.8° (6.12%) en la zona de mesoplaya, ocasionando que la distancia sea corta, la acreción presente puede atribuirse a la temporada de lluvia durante la cual se realizó el muestreo del perfil.

La Bahía Principal (Figura 8g) presenta dinámicas combinadas de acumulación y erosión. En la zona este se identifica una forma cóncava, asociada al área donde los pescadores varan sus lanchas; la zona centro presenta la mayor amplitud de playa y una pendiente baja (13.4%). En contraste, la zona oeste, cercana a la laguna, presenta una menor amplitud de playa y un escalón característico de la temporada de lluvias.

Puerto Angelito (Figura 8h) presenta el perfil con la mayor pendiente, y al mismo tiempo es en este punto en donde se observa un ambiente erosivo dentro de la evaluación histórica. Ligado con las 72 observaciones hechas, se puede atribuir a un efecto antrópico por crecimiento de actividad en la zona, desplazando sedimentos hacia el mar.

En la zona sur de Punta Bacocho (Figura 8i) se observa un escarpe muy pronunciado (>2 m), presenta una pendiente de 8.7° (19.3%),

representativa de un ambiente erosivo, en este punto se encuentra la única entrada a toda la playa Bacocho

En el centro de Bacocho (Figura 8j), los perfiles del centro y oeste tienen una amplitud mayor a 40 m, asociados a la desembocadura de sedimentos provenientes de la ruptura del canal de descarga pluvial; el perfil de la zona este es de la mitad de la amplitud, y se encuentra protegido por vegetación, se observa un escalón propio de la temporada, reportado en perfiles anteriores.

En la zona norte de Punta Bacocho (Figura 8k), la distancia máxima respecto al oleaje máximo es de 17.8 m y total entre 40 y 50 m. Se trata de una playa de gran amplitud, con baja afluencia turística y acceso restringido, localizada en la zona este (Punto 9). Presenta un ambiente seco y vegetación de matorral, además de estar protegida por una punta rocosa en el extremo oeste del muestreo, por lo que no tiene conexión con playas hacia el oeste. La distancia de los perfiles se debe a la presencia de una punta rocosa, más no a un proceso erosivo.

5. Discusión

Tan solo el 25% de los transectos (32 de 128) registraron pérdidas de terreno, las cuales corresponden a las playas Puerto Angelito y Los Naranjos (Tabla 1).

En comparación con otras zonas cercanas del Pacífico (Tabla 2), esta área presenta un comportamiento distinto al observado en Huatulco, Bahía de Acapulco y Zihuatanejo, las

Tabla 4. Valores de distancia, pendiente y altura de playa.

Punto	Distancia (m)	Pendiente (%)	Altura(m)
P1 (Los Naranjos)	5.8	10.2	2.9
P2 (Barra de Colotepec)	7.8	7.1	3.6
P3 (Barra de Colotepec- Punta Zicatela)	6.5	8.3	3.3
P4 (Zicatela- Playa Surf)	10.8	8.5	3.1
P5 (Zicatela- Palma Real)	2.8	6.1	2.3
P6 (Zicatela - Huayacán)	5.9	4.0	2.7
P7 (Bahía Principal)	4.2	13.4	5.3
P8 (Puerto Angelito)	6.3	20.5	2.7
P9 (Punta Bacocho Sur)	2.8	19.3	4.5
P10 (Punta Bacocho Centro)	6.3	14.7	3.8
P11 (Punta Bacocho Norte)	17.8	5.0	1.9

cuales fueron evaluadas por la Academia Nacional de Investigación y Desarrollo, A.C. (ANIDE) en colaboración con la UAM Iztapalapa y UAM Azcapotzalco, mediante proyectos CONACYT-SECTUR. Asimismo, se consideraron zonas del Pacífico más alejadas, como Los Cabos y Mazatlán, evaluadas entre 2013 y 2014, las cuales mostraron datos erosivos. La excepción fue Nuevo Vallarta, que presentó una acreción promedio de 2.22 m·año⁻¹ (SECTUR, 2017).

En Los Naranjos, los cambios pueden asociarse a procesos naturales como la corriente litoral y vientos, ya que presenta mínimas modificaciones antrópicas; los perfiles muestran el perfil típico de una barra (Figura 7a), el perfil tomado en la zona este (perfil E) muestra un comportamiento diferente debido a que se acerca a la zona de barra temporal.

Los cambios observados en la línea de costa (Figura 10) pueden estar relacionados con procesos naturales, como la corriente litoral, cuya dirección dominante durante la temporada de lluvias, época de mayor descarga fluvial, es del sureste hacia el noroeste, como lo señala Carranza (1987). Esta dinámica también se evidencia en la pluma de sedimentos observada en la desembocadura del río Colotepec (Figura 9), evitando que estos sean una fuente de aporte sedimentario.

Estudios comparativos en costas de otros países muestran patrones similares a lo que sucede en Colotepec, donde la interacción entre aportes fluviales, la acción de corrientes costeras y las variaciones estacionales resulta en una progradación costera significativa. En estos entornos, el equilibrio sedimentario depende de múltiples factores, incluidos los aportes de ríos locales, la dinámica de las corrientes litorales y la geomorfología costera preexistente. Investigaciones en la costa de Vishakhapatnam, India, revelaron que estos procesos generan desplazamientos continuos de la línea de costa y expansión de playas en áreas protegidas de alta actividad sedimentaria (Baig *et al.*, 2020).

Procesos similares se han documentado en playas con desembocaduras fluviales activas, donde la interacción continua entre los sedimentos fluviales y las corrientes litorales genera deltas y zonas de acumulación sedimentaria permanente. Este fenómeno ocurre debido al transporte sostenido de sedimentos desde el interior hacia la costa, facilitado por la descarga constante de los ríos y la dinámica de las olas. Doyle y Adams (2015) analizaron este proceso en múltiples sistemas costeros, destacando que la estabilidad de estas áreas depende de factores como el régimen de lluvias, la frecuencia de eventos climáticos

extremos y la capacidad de los ríos para mantener un flujo sedimentario constante durante todo el año.

En Zicatela existen sedimentos provenientes de la parte alta de la ciudad, cuya trayectoria y disponibilidad tierra adentro han sido modificadas a través del tiempo mediante la construcción y pavimentación de calles, así como el cambio de uso de suelo, disminuyendo aportes a la zona litoral.

Fenómenos similares se han observado en playas del Caribe costarricense, donde la acumulación sedimentaria ocurre detrás de barreras naturales, como arrecifes y formaciones rocosas costeras que actúan como trampas sedimentarias naturales. Estos sistemas estabilizan las líneas de costa al

reducir la energía del oleaje entrante, permitiendo que los sedimentos transportados por corrientes litorales, se depositen en áreas protegidas. Estudios recientes destacan que la persistencia de estas estructuras es clave para mantener la estabilidad de las playas a largo plazo, especialmente en regiones expuestas a eventos climáticos extremos y cambios en los patrones de uso de suelo costero (Barrantes-Castillo y Ortega-Otárola, 2023).

En la Bahía Principal, los aportes de sedimentos provenientes del interior continental se han reducido como consecuencia del cambio de uso de suelo, impulsado por el crecimiento de la actividad turística. Como se muestra en la Figura 12, los pentágonos representan el aumento de establecimientos construidos sobre la zona

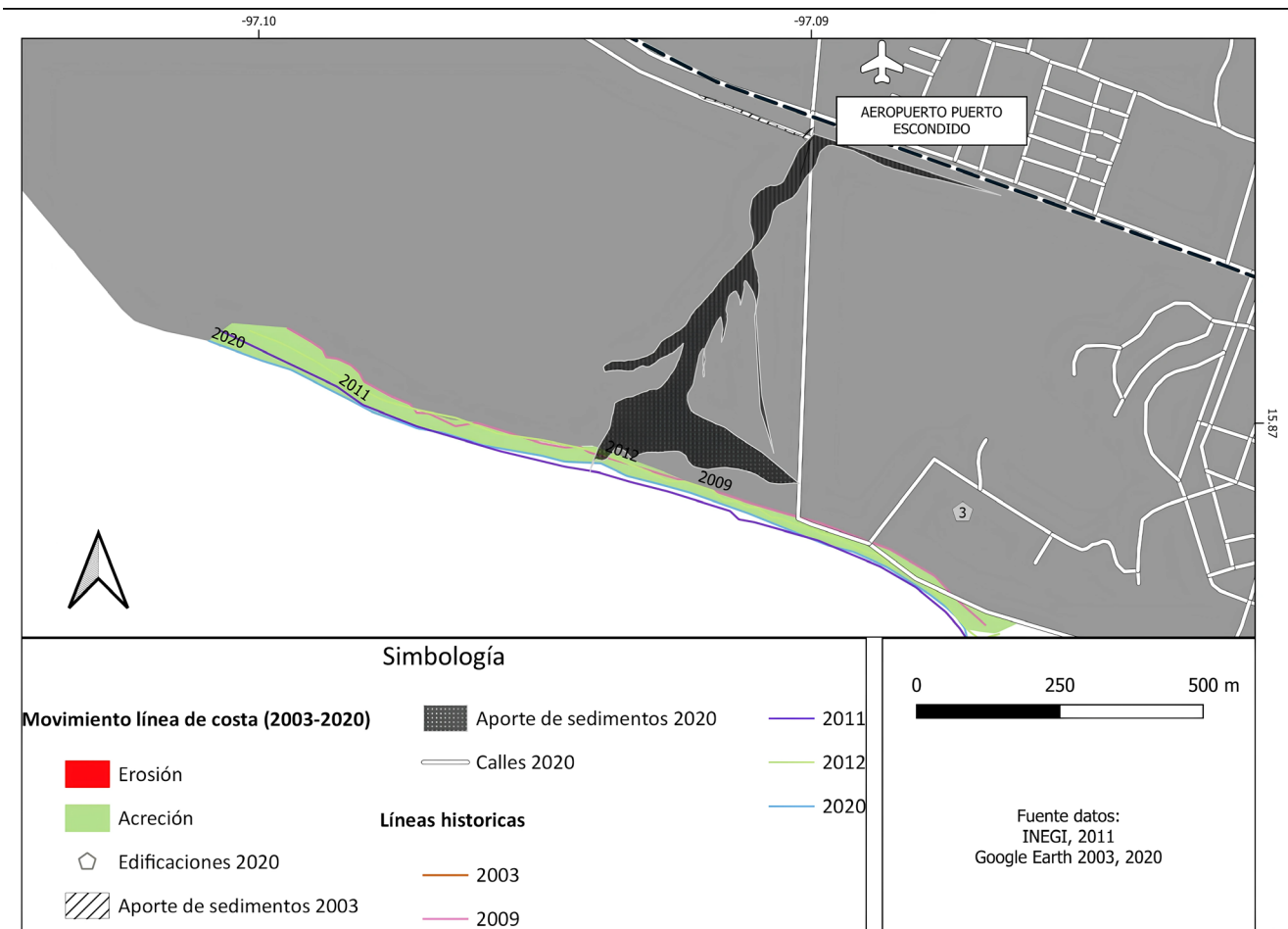


Figura 13 Procesos de erosión, acreción y cambio de uso de suelo en Playa Bacocho.

de playa. Esta expansión ha reducido el espacio natural destinado al depósito de sedimentos, favoreciendo así los procesos de erosión.

Este fenómeno se asemeja a playas en Seabrook Island, donde el desarrollo urbano descontrolado, incluyendo la construcción de viviendas y carreteras, ha alterado significativamente el transporte natural de sedimentos. La urbanización ha interrumpido los flujos sedimentarios al bloquear los corredores naturales de transporte, promoviendo procesos erosivos en ciertas áreas (Cohen *et al.* 2021).

En Bacocho, el mayor aporte de sedimentos se concentra en la zona centro de la playa (Punto 10) producto de la intervención antrópica de un canal de desagüe, inicialmente construido como medida de prevención ante inundaciones; sin embargo, la fractura del mismo genera un aporte de agua que acarrea sedimentos por el canal depositándolos en la zona litoral (Figura 13).

El este de Punta Bacocho (Punto 9) es de los más amplios, en este punto se encuentra la única entrada a toda la playa Bacocho, también existe un escarpe muy pronunciado (>2 m) como se observa en la Figura 8i, ubicado en las cercanías de la zona hotelera, y cuenta con la presencia de un campamento tortuguero.

Investigaciones previas en el sudeste asiático documentan procesos similares, donde playas poco urbanizadas presentan tasas de acreción más altas debido a factores antrópicos limitados. Esto se debe a la ausencia de infraestructuras costeras disruptivas, lo que permite que los sedimentos transportados por ríos y corrientes litorales se acumulen de manera natural (Mujabar y Chandrasekar, 2011).

6. Conclusión

En el área de estudio dominan los procesos de acreción; en la zona de la desembocadura del río Colotepec, refleja la dinámica litoral, siendo que durante la temporada de lluvias hay una mayor descarga de sedimentos y el transporte de las

corrientes litorales domina en dirección de este a oeste. En la zona más urbanizada, como Zicatela, se observa un aporte natural del litoral rocoso, así como del aporte de sedimentos terrígenos a través de los caminos creados que desembocan a la zona litoral.

Los procesos de erosión en la zona de Los Naranjos reflejan una dinámica sedimentaria natural, influenciada por factores como el aporte fluvial, las corrientes litorales y un bajo impacto antrópico. Es importante señalar que, durante la temporada de lluvias, esta área no recibe directamente los sedimentos transportados.

Para el Punto 8 (Puerto Angelito) la erosión responde al resultado de modificaciones antrópicas en la zona costera; al ser una playa pequeña en donde se esperaría la acumulación de sedimentos, se observa el fenómeno contrario, ligado a un crecimiento urbano ubicado sobre la zona de playa, así como alrededor de la zona y con ello se detectaron interrupciones del aporte de sedimentos terrígenos.

Se recomienda realizar análisis geoquímicos de procedencia para determinar la importancia de los aportes terrígenos y fluviales que sirva para generar un pronóstico adecuado sobre la dinámica, que en conjunto con la información base generada en este estudio permita la correcta toma de decisiones sobre planes de adaptación y/o mitigación ante riesgos naturales incluyendo la erosión.

El interés turístico en playas mexicanas es creciente y Oaxaca es un punto de interés internacional, por lo que es importante resaltar la importancia de planificar un desarrollo sostenible; la acreción observada en playas como Punta Bacocho y Zicatela presenta una oportunidad clave. El crecimiento natural de estas playas podría aprovecharse mediante la planificación de infraestructuras turísticas que respeten el equilibrio ambiental, promoviendo el ecoturismo y actividades sostenibles como el turismo de naturaleza y la observación amigable de tortugas marinas. Se sugieren estrategias de manejo costero que incluyan:

- **Establecimiento de zonas de conservación costera:** Implementar áreas protegidas en sectores con alta tasa de acreción, asegurando la protección de ecosistemas clave.
- **Monitoreo ambiental continuo:** Establecer un programa de monitoreo de cambios en la línea de costa para garantizar que el desarrollo no comprometa los procesos naturales de acreción y la estabilidad costera.
- **Educación ambiental y participación comunitaria:** Promover campañas de educación para los habitantes locales y turistas, fortaleciendo la conciencia ambiental y la participación en la preservación costera.

Estas medidas permitirían un desarrollo turístico basado en la preservación y aprovechamiento de los recursos naturales, garantizando beneficios económicos y ecológicos a largo plazo.

Contribuciones de los autores

(1) conceptualización: AGIV, MGAZ; (2) análisis y adquisición de datos: AGIV, MGAZ, AAJS; (3) desarrollo metodológico/técnico: AGIV, MGAZ, AAJS; (4) redacción del manuscrito original: AGIV; (5) redacción del manuscrito corregido y editado: AGIV, AAJS, MGAZ; (6) diseño gráfico: AGIV; (7) trabajo de campo: AGIV, MGAZ; (8) interpretación: AGIV, MGAZ; (9) financiamiento: AGIV, MGAZ.

Financiamiento

Beca de posgrado CONAHCYT (CVU- 676677), proyecto divisional Ecología de Ecosistemas Costeros Mexicanos del departamento de Hidrobiología de la UAM-I.

Agradecimientos

A CONAHCYT, PCMyL y al departamento de Hidrobiología de la UAM-Iztapalapa, a Ricardo Aguilar Garay por su apoyo en la redacción del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen constancia de una situación financiera competidora, intereses o relaciones personales que podrían haber influido el trabajo reportado en este trabajo.

Editor a cargo

Lorenzo Vázquez Selem.

Referencias

- Acevedo, G.J., Turok, M., 2000, Plan de Manejo para el aprovechamiento del caracol púrpura (*Plicopurpura pansa*) en la costa de Oaxaca: Michoacán, México, AMACUP-CRIP-Pátzcuaro, Informe Técnico, 50 p.
- Andrade, F., Ferreira, M.A., 2006, A simple method of measuring beach profiles: *Journal of Coastal Research*, 22(4), 995–999. <https://doi.org/10.2112/04-0387.1>
- Baig, M.R.I., Ahmad, I.A., Shahfahad, T.M., Rahman, A., 2020, Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26(4), 361–376. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1815839>
- Barrantes-Castillo, G., Ortega-Otárola, K., 2023, Coastal erosion and accretion on the Caribbean coastline of Costa Rica long-term observations: *Journal of South American Earth Sciences*, 127, 104371. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104371>
- Bernabeu, A.M., Medina, R., Vidal, C., 2002, Efecto de la reflexión sobre la forma de equilibrio del perfil de playa: validación para la costa de la península Ibérica: *Revista C&G*, 16(1–4), 83–95.
- Bird, E., 2008, *Coastal Geomorphology, An introduction*: UK, Cambridge University Press, 322 p. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511841507.003>
- Boak, E.H., Turner, I.L., 2005, *Shoreline definition*

and detection: A review: *Journal of Coastal Research*, 214, 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>

- Bolongaro, C.R., García-Vicario, A., Torres-Rodríguez, V., Márquez-García, A.Z., Guzmán-Hernández, V., 2011, Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, en Botello, A.V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., Rojas Galaviz, J.L. (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Universidad Autónoma de Campeche, 93–116.
- Botello, A.V., Villanueva-Fragoso, S., 2011, Introducción, en Botello, A.V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., Rojas Galaviz, J.L. (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Universidad Autónoma de Campeche, 1–14.
- Carranza-Edwards, A., Caso-Chávez, M., 1994, Zonificación del perfil de playa: *México, Geo-UNAM*, 2(2), 26–32.
- Cohen, K.M., Harper, D.A.T., Gibbard, P.L., Car, N., 2021. *International Chronostratigraphic Chart*, v2021/07: *International Commission on Stratigraphy*, 36, 199-204.
- Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMSMEC), 2012, *Política Nacional de Mares y Costas de México*, Gestión Integral de las Regiones más Dinámicas del Territorio Nacional: México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 97 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2016, *Evaluación de los cambios en la línea costa de manglar y otras coberturas: México*, disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/atlas/costa/pdf/Evaluacion_de_los_cambios_en_la_linea_costa_de_manglar_y_otras_coberturas.pdf>, consultado septiembre de 2023.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K., 1991, Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy: *Journal of Coastal Research*, 7(3), 839–852.
- Delgadillo-Pérez, M., 2015, *Ecoturismo en Barra de Navidad, Oaxaca: ¿Proyecto de desarrollo comunitario? Entre el discurso y la acción: Distrito Federal, México*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, tesis de licenciatura, 81 p.
- Dolan R., Fenster M., Holme S., 1992, Spatial analysis of shoreline recession and accretion: *Journal of Coastal Research*, 8(2), 263–285.
- Doyle, B.C., Adams, M.R., 2015, Statistical Evaluation of Shoreline Change: A Case Study from Seabrook Island, South Carolina: *Environmental & Engineering Geoscience*, 21, 165–180.
- European Space Agency (ESA), 2021, *Medición del retroceso de las líneas de costa (en línea): United Kingdom*, disponible en <ESA - Medición del retroceso de las líneas de costa>, consultado noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010a, *Compendio de información geográfica municipal 2010 San Pedro Mixtepec -Dto. 22- Oaxaca (en línea): México*, disponible en <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20318.pdf>, consultado noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010b, *Compendio de información geográfica municipal 2010 Santa María Colotepec Oaxaca (en línea): México*, disponible en <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20401.pdf>, consultado noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2012, *Síntesis de información*

- geográfica del estado de Oaxaca (en línea): México, INEGI, disponible en <https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/ricos/2104/702825224394/702825224394_7.pdf>, consultado junio de 2023.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019, Resumen para responsables de políticas, en Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M. (eds.), El océano y la criósfera en un clima cambiante: Suiza, Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 38 p.
- Jiménez-Arenas, O.L., Rojas-Ramírez, J., Oliva-Aguilar, V.R., Tejeida-Padilla, R., 2021, Desarrollo de territorios costeros turísticos en México mediante la autogestión con base sistémica: EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales, 47(141), 5–28. <https://doi.org/10.7764/EURE.47.141.01>
- Krumbein, W.C., Sloss, L.C., 1963, Stratigraphy and Sedimentation: San Francisco, California, W.H. Freeman Company, 660 p.
- Márquez-García, A.Z., 2011, Procesos de erosión y depositación en el litoral sur del Golfo de México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 185 p.
- Masselink G., Hughes, M., Knight J., 2014, Introduction to Coastal Processes and Geomorphology: London, Routledge, 432 p. <https://doi.org/10.4324/9780203785461>
- Mujabar, S., Chandrasekar, N., 2011, A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin of India using remote sensing and GIS: Geo-spatial Information Science, 14 , 282–293. <https://doi.org/10.1007/s11806-011-0551-7>
- Palacio-Aponte, G., 2001, Detección de cambios en la morfología litoral de Punta Zacatal y parte occidental de Isla del Carmen, Campeche, mediante el análisis multitemporal de imágenes de satélite: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía (46), 7–14.
- Secretaría de Turismo (SECTUR), 2017, Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos: México, Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica, resumen ejecutivo, disponible en <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/750921/18.pdf>>, consultado noviembre de 2024.
- Secretaría de Turismo (SECTUR), 2018, Indicadores de la actividad turística, Oaxaca de Juárez (en línea): Mexico, disponible en: <<http://www.sectur.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2018/03/01.indicadores-turismo-2017-Cierre-definitivo.pdf>>, consultado noviembre de 2024.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2010, Erosión costera: El Salvador, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General del Observatorio Ambiental, 11 p.
- Silva-Casarín, R., Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P., Mendoza-Baldwin, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez, G., Martínez-Martínez, R.E., Monroy-Ibarra, R., Cáceres-Puig, J.I., Ramírez-Hernández, A., Boy-Tamborell, M., 2017, Aspectos generales de la zona costera: México, Instituto de Ecología, A.C., 54 p. <https://doi.org/10.21829/978-607-7579-77-9>
- Small, C., Nicholls, R.J., 2003, A global analysis of human settlement in coastal zones: Journal of Coastal Research, 19(3), 584–599.
- Torres-Rodríguez, V., Márquez-García, A., Bolongaro-Crevena, A., Chavarria-Hernández, J., Expósito-Díaz, G., Márquez-García, E., 2010, Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de

Campeche debidos a efectos del cambio climático, en Botello, A.V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., Rojas Galaviz, J.L. (eds.), Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Universidad Autónoma de Campeche, 325–344.

Wolf, P.R., Charles, D., Ghilani, D., 2013, Topografía: México, Alfaomega, 936 p.

Zannie, M., 2020, Dónde se forman las olas más altas y poderosas del mundo (en línea): México, El Universal, publicado 8 abril de 2020, disponible en <<https://www.eluniversal.com.mx/destinos/donde-se-forman-las-olas-mas-altas-y-poderosas-del-mundo/>>.