



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. José Ramón Hernández Santana

México D.F.

Ciudad Universitaria

2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres

Ma. Rosario Fernández Almazán y Melitón Bustamante Peláez.

Les agradezco sus sabios consejos, su apoyo, orientación y entendimiento en todo momento. Por ser un ejemplo a seguir en la vida. Les dedico este trabajo **CON TODO MI AMOR Y RESPETO.**

A mi familia.

Nasllely, Erick, Nahún, Oscar, Samantha y Oscar N.

Simplemente por ser quienes son, por estar aquí y ahora. Ya que sin ustedes y todos los momentos que hemos pasado juntos, la vida no sería la misma.

A los Fernández y Bustamante con mucho cariño.

Gracias por ser partícipes de esta pequeña brecha que vamos abriendo juntos día con día.

AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**, por todo lo que me ha brindado dentro y fuera de sus aulas. Por ayudarme a entender el significado de generar conocimiento para el bienestar de la sociedad y el ambiente.

Al **INSTITUTO DE GEOGRAFÍA**, por haberme facilitado sus instalaciones durante la realización de este trabajo y también por el apoyo económico que me fue brindado mediante el programa de Becas McGregor.

A mis asesores del Instituto de Geografía, la **Mtra. Ana Patricia Méndez Linares** y el **Dr. José Ramón Hernández Santana**. Por todo el apoyo que me han ofrecido desde el Servicio Social, por compartir sus conocimientos dentro y fuera del ámbito académico, por haber financiado el trabajo en campo. Pero sobre todo por la amistad que me han brindado y enseñarme el lado humano de la Geografía Física y de la Ciencia en general. Muchas gracias y también quiero dedicar este trabajo a ustedes.

A mis revisores de tesis:

Del Instituto de Geografía

- **Dr. José Juan Zamorano**, por haber sido la persona que me inspiró ver a la Geomorfología como una disciplina apasionante e interesante y por haber aportado comentarios tan valiosos para este trabajo.
- **Dr. Lorenzo Vázquez Selem**, por haber aceptado ser revisor de este trabajo, con el objetivo de mejorarlo. También por creer y apoyar arduamente a las nuevas generaciones de investigadores.

Del Colegio de Geografía

- **Mtro. José Manuel Espinoza**, por haber compartido de manera amena sus conocimientos en el salón de clase y por ser una persona comprometida con el desarrollo de los futuros geógrafos.
- **Ing. José Arturo Montiel**, por haber facilitado una parte del material cartográfico de la zona de Acapulco y por haberse interesado en comentar y aportar sugerencias para esta investigación.

A todos los amigos que he formado y con los que he pasado momentos únicos e irrepetibles. Los CCHeros Eduardo Santillán, Gabriel Aguilar, Guillermo Orozco, Juan Hernández, Luis González, Mónica Sorroza, Víctor Pastor; los futuros geógrafos, Alejandro González, David Flores, Diana Guevara, Erandi Sosa, Gabriel López, Javier Barajas, Jonatan Fuerte, Paola Fuentes, Roberto Lara, Rosario Barrera, Ulises Cortés; y a los demás Aarón Sanabria, Alejandro Gómez, Alexis Bustamante, David Prado, Donovan Ordoñez, Ilse León, Jatziri Calderón, Keren Cervantes, Francisco Bernáldez. Finalmente a mis compañeros del Cubículo 9 del Departamento de Geografía Física (Carla Torres, Lourdes González, Osvaldo Franco y Varinka Saenz) por haber creado un buen ambiente de trabajo dentro de este lugar.

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN	2
Actualidad científica.....	3
Significado científico y aplicado.....	5
Hipótesis.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos particulares.....	6

I. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL..... 7

I.1. Conceptualización de morfodinámica costera.....	7
I.2. Definición de la zona costera.....	8
I.3. Clasificación y tipos de costa.....	9
I.4 Estructuras acumulativas de las zonas costeras.....	11
I.4.1. Génesis.....	11
I.4.2. Evolución y tipos.....	12
I.5. Playas.....	13
I.5.1. Generalidades de las playas.....	13
I.5.3 Perfil de playa.....	14
I.5.4. Morfoelementos de playas. Origen y dinámica.....	16
I.5.5. Erosión de playas en costas desarrolladas.....	18
I.6. MARCO METODOLÓGICO	21
I.6.1. Metodologías en investigaciones de morfodinámica de playas.....	21
I.6.1.1 Uso de la línea de costa e indicadores de su posición real.....	21
I.6.1.2. Incertidumbre en la posición de la línea de costa.....	23
I.6.1.3. Métodos para la obtención de las tasas de cambio.....	24
I.6.2. Perfiles de playa y rasgos cualitativos.....	25
I.6.3. Escenarios futuros por aumento del nivel del mar.....	26
I.7. Materiales y Métodos.....	28

II. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO..... 33

II.1. Localización geográfica.....	33
------------------------------------	----

II.2. Condiciones y peculiaridades físico-geográficas.....	34
II.2.1. Constitución geológica y principales estructuras locales	34
II.2.2. Condiciones geomorfológicas	35
II.2.3. Características climáticas.....	39
II.2.3.1. Temperaturas	39
II.2.3.2. Régimen de vientos	40
II.2.3.3. Precipitaciones anuales y por periodos climáticos.....	41
II.2.3.4. Cronología de Ciclones tropicales en el Pacífico y sus afectaciones litorales	43
II.2.4. Escurrimiento superficial: Papel del Río Papagayo	47
II.2.5. Condiciones edáficas	48
II.2.6. Oleaje, mareas y corrientes	49
II.2.7. Tipo de vegetación.....	50
II.2.8. Uso de suelo urbano.....	51
II.3. Panorama socioeconómico	52
II.3.1. Desarrollo del turismo y de la recreación	53
II.3.2. Características demográficas y sociales.....	54
II.3.4. Actividades económicas.....	55
III. MORFODINÁMICA COSTERA Y ASCENSO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR: IMPACTOS POTENCIALES	57
III.1. Sector Norte.....	57
III.1.1. Variaciones y tendencias de la línea de costa (1951-2007).....	57
III.1.1.2. Condiciones morfológicas, morfométricas y ambientales.	64
III.2. Sector Sur.....	77
III.2.1. Variaciones y tendencias de la línea de costa (1951-2007).....	77
III.1.2.2. Condiciones morfológicas, morfométricas y ambientales	82
III.3. Afectaciones ante el ascenso del nivel del mar	95
III.3.1. Características topográficas y de uso de suelo.....	95
III.3.2. Áreas de impacto.....	97
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXO	111

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama del origen de los diferentes paisajes costeros.....	9
Figura 2. Diferentes tipos de estructuras acumulativas costeras.....	12
Figura 3. Perfil típico de playa.....	15
Figura 4. Indicadores de la posición de la línea de costa.....	22
Figura 5. Método para la obtención de tasas de cambio de la línea de costa.....	24
Figura 6. Diagrama de flujo que muestra las etapas de la metodología.....	28
Figura 7. Sectorización de la zona de estudio y localización de las estaciones de medición ...	30
Figura 8. Mapa de la localización de la zona de estudio.....	33
Figura 9. Mapa de constitución geológica y principales estructuras locales.....	35
Figura 10. Fotografía de la llanura marina acumulativa.....	36
Figura 11. Fotografía de la desembocadura del Río Papagayo.....	37
Figura 12. Mapa Morfogenético de la zona de estudio.....	38
Figura 13. Temperaturas promedio y extremas (1981-2010).....	39
Figura 14. Dirección promedio de vientos dominantes.....	40
Figura 15. Precipitación promedio anual (1981-2010.).....	41
Figura 16. Precipitación histórica en la costa de Acapulco.....	42
Figura 17. Trayectoria que siguió el Huracán Paulina.....	44
Figura 18. Daños costeros del Huracán Paulina.....	45
Figura 19. Doble impacto del Huracán Manuel en el Pacífico e Ingrid en el Golfo de México45	
Figura 20. Zonas inundadas en Acapulco Diamante tras el paso de la Tormenta Tropical Manuel.....	46
Figura 21. Playas afectadas tras el paso de la Tormenta Manuel en Acapulco Diamante.....	47
Figura 22. Mapa de localización de la cuenca del Río Papagayo.....	48
Figura 23. Variaciones anuales de las corrientes de superficie en el Pacífico Oriental.....	50
Figura 24. Mapa de vegetación.....	51
Figura 25. Mapa de uso de suelo urbano.....	52
Figura 26. Crecimiento histórico de la población en el municipio de Acapulco.....	55
Figura 27. Mapa de variaciones espacio-temporales de la línea de costa norte.....	58
Figura 28. Gráficas y tablas de las variaciones temporales de la línea de costa (norte).....	59
Figura 29. Condiciones temporales de conexión directa entre de la desembocadura de la laguna de Puerto Marqués en el año de 1985 y el agua marina.....	61
Figura 30. Gráfica del desplazamiento neto de la línea de costa registrado en cada estación de campo del sector Norte.....	62
Figura 31. Mapa de la zona de máxima erosión reciente registrada entre las estaciones de campo 1 y 2.....	63
Figura 32. Mapa de zona de erosión en el Club de Golf Tres Vidas y de la estación 6.....	64
Figura 33. Estación de campo N° 1, Las villas del Princess.....	65

Figura 34. Estación de campo N° 2, Condominios Marena - Costa Bambú	66
Figura 35. Construcción de muelle privado aledaño a la estación de medición 2.	68
Figura 36. Estación de campo N° 3, Residencial Las Olas	69
Figura 37. Estación de campo N° 4, Playa San Vicente- Playa del Sol.....	70
Figura 38. Juego de fotografías de la estación 4, Playa San Vicente	71
Figura 39. Estación de campo N° 5, Playa Bonfil	73
Figura 40. Estación de campo N° 6, Hotel Playa Mar – Tres Vidas	74
Figura 41. Continuación hacia el sur del escarpe de la estación 6	75
Figura 42. Gráfica de la relación entre altura de berma y longitud del perfil de playa de las estaciones 1 a 6.....	76
Figura 43. Mapa de variaciones espacio-temporales de la línea de costa del sector sur	78
Figura 44. Gráficas y tablas de las variaciones temporales de la línea de costa (sur).....	79
Figura 45. Gráfica del desplazamiento neto de la línea de costa registrado en cada estación de campo del sector Sur.....	80
Figura 46. Mapa de la zona de máxima acreción en el sector sur.....	81
Figura 47. Mapa de la dinámica del frente del río Papagayo	82
Figura 48. Estación de campo N° 7, Casa Tasgar	83
Figura 49. Estación de campo N° 8, Playa Encantada-El Podrido	84
Figura 50. Estación de campo N° 9, Ruinas de casas	86
Figura 51. Fotografía que muestra las playas contiguas a la estación 9	87
Figura 52. Tipo de asentamientos que predominan en el poblado de Barra Vieja.....	88
Figura 53. Estación de campo N° 10, Barra Vieja.....	89
Figura 54. Estación de campo N° 11, Boca de la Laguna de Tres Palos	90
Figura 55. Estación de campo N° 12, Desembocadura del Río Papagayo.....	92
Figura 56. Fotografía de la desembocadura del río Papagayo	92
Figura 57. Gráfica de la relación entre altura de berma y longitud del perfil de playa de las estaciones 7 a 12.....	94
Figura 58. Mapa de las condiciones topográficas y de usos de suelo	95
Figura 59. Mapa zonas potencialmente inundables ante el ascenso del nivel del mar a 2, 3 y 4 metros.	99

Lista de Tablas

Tabla 1. Lista de geoindicadores suplementarios para la evaluación de tendencias morfodinámicas.....	26
Tabla 2. Materiales aerofotográficos y cartográficos empleados para la obtención histórica de la línea de costa.	29
Tabla 3. Información para la obtención de la incertidumbre para cada línea de costa	30
Tabla 4. Atributos e incertidumbre para cada periodo comparativo.	31
Tabla 5. Material empleado para el mapa de impactos futuros ante el ascenso del nivel del mar	32
Tabla 6. Cronología de ciclones tropicales cercanos a las costas de Acapulco.	43
Tabla 7. Planos de referencia de la estación mareográfica de Acapulco.....	50
Tabla 8. Valores puntuales registrados en cada estación de campo del sector Norte.	62
Tabla 9. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 1.	65
Tabla 10. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 2.	67
Tabla 11. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 3.	69
Tabla 12. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 4.	72
Tabla 13. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 5.	73
Tabla 14. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 6.	75
Tabla 15. Valores puntuales registrados en cada estación de campo del sector Sur.	80
Tabla 16. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 7.	83
Tabla 17. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 8.	85
Tabla 18. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 9.	86
Tabla 19. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 10	89
Tabla 20. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 11	91
Tabla 21. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 12	93
Tabla 22. Componentes de uso de suelo y componentes naturales.....	96
Tabla 23. Áreas(km ²) y porcentajes de tipos de uso de suelo y componentes naturales con posibles afectaciones ante el ascenso del nivel del mar.	97

Resumen

El presente trabajo se basa en un estudio multitemporal de las condiciones dinámicas de la línea de costa perteneciente al sector de playa que se extiende desde Punta Diamante hasta la desembocadura del Río Papagayo en el municipio de Acapulco estado de Guerrero, con el objetivo de determinar tendencias erosivas o acumulativas de la zona, y a su vez caracterizar las condiciones ambientales recientes del área de estudio para determinar los impactos por ascenso del nivel medio del mar.

Se emplearon técnicas de fotointerpretación para la obtención de la línea de costa, en cuatro fechas diferentes (1951, 1985, 1995 y 2007). Para la porción norte de la zona, se pudo realizar la comparación de desplazamientos en tres periodos diferentes (51-85, 85-95 y 95-07) y la zona sur solo en dos periodos (51-95 y 95-07). El desplazamiento medio histórico de la zona norte fue de 62.23m (1.86 m/a), 13.37m (1.36 m/a) y -19.81m (-1.64 m/a) y la zona sur alcanzó valores de 79.37 (1.82 m/a) y -1.92m (-0.16 m/a) para cada periodo mencionado.

Las tendencias erosivas o acumulativas de las playas, se validaron con indicadores geomorfológicos y ambientales en campo. Estos indicadores buscan reconocer algunas características morfológicas y morfométricas de las bermas y las dunas, además el reconocimiento en la relación que guardan los asentamientos humanos con el entorno natural de las playas. Para casi toda la zona de estudio se encontraron elementos que admiten las tendencias erosivas de una gran parte del sector bajo estudio, con playas relativamente angostas, dunas altamente modificadas o inexistentes debido al emplazamiento de edificaciones rústicas y de complejos hoteleros, y condiciones severas de modificación en la vegetación nativa. Con esto se demuestra el papel que juega la actividad humana en las tendencias morfodinámicas de la costa, lo que da pie al aumento en el potencial de inundaciones costeras ligadas a eventos hidrometeorológicos extremos o al aumento del nivel medio del mar.

Finalmente se realizó un mapa que muestra las posibles áreas de inundación, mediante el reconocimiento de las condiciones topográficas de la planicie costera, con el apoyo de un Modelo Digital del Terreno (MDT), y las principales coberturas de uso de suelo obtenidas mediante fotointerpretación. Se determinaron las áreas con posibles afectaciones a 2, 3 y 4 metros de aumento del nivel marino, teniendo como unidades posiblemente afectadas a las playas, zonas agrícolas, zonas de humedales costeros (lagunas), algunas áreas turísticas y deportivas (campos de golf), áreas habitacionales e incluso la infraestructura de comunicaciones como las carreteras cercanas al litoral y el aeropuerto internacional.

Con este trabajo se demuestra la importancia que representa la zona para realizar algún tipo de monitoreo periódico que busque prevenir daños irreversibles al ambiente y a las actividades económicas y sociales de la zona. Debido a que las playas se mantienen como un recurso importante de ingresos que favorece a la economía local enfocada al sector turístico.

INTRODUCCIÓN

La zona costera correspondiente al municipio de Acapulco, estado de Guerrero, se caracteriza por ser uno de los polos turísticos más importantes de México, desde la segunda mitad del siglo XX a la fecha. El desarrollo de las actividades económicas locales, ligadas al turismo, y la aparentemente escasa planeación de éstas, ha mostrado múltiples problemáticas ambientales, que se traducen en una degradación continua del entorno natural y, en consecuencia, de las mismas actividades económicas.

La zona de estudio corresponde a la porción de costa, conocida como “Acapulco Diamante”, que desde hace poco más de veinte años ha experimentado un desarrollo urbano alto, producto de la expansión de la infraestructura turística, que incluye vías de comunicación, hoteles, condominios, villas, y algunos campos de golf.

Ante el continuo proceso de expansión urbana, se observa que las condiciones ambientales de las playas, que incluyen las características geomorfológicas de éstas, han estado y siguen siendo modificadas a pasos acelerados; lo que conlleva a algunas problemáticas relacionadas con la erosión de estos entornos y el aumento en la susceptibilidad ante futuras inundaciones costeras, regidas por eventos hidrometeorológicos extremos, como lo fue el reciente paso del huracán Manuel en septiembre del 2013, y el aumento del nivel del mar.

El conocimiento de las condiciones actuales y pasadas de la zona de estudio, pueden favorecer a una óptima planeación futura, capaz de preservar el funcionamiento óptimo de este sistema costero. Además de prever futuros daños a la población y a las actividades económicas, así como al buen funcionamiento ecológico costero.

Actualidad científica

La costa se considera como uno de los sistemas más dinámicos del planeta, producto de las interrelaciones de los elementos y procesos que ahí convergen. Es un ambiente bajo presión por variables que incluyen las actividades sociales, económicas y fuerzas naturales extremas. Algunos de los procesos físicos de afectación, se asocian al cambio climático y al aumento del nivel medio del mar (Chopra, 2006); fenómenos que representan gran importancia científica, debido a que afectan la erosión costera desde hace poco más de cuatro décadas, a diversas escalas espaciales (Ives & Furuseth; 1988 y Short; 1999).

La literatura relacionada con los temas costeros es reciente, pero muestra importantes contribuciones. Los grandes aportes se han dado desde diferentes disciplinas y bajo diversos enfoques (Charlier, 1998; Davis & Fitzgerald, 2004; Komar, 1998; Masselink & Hughes, 2003; Nordstrom, 2000; Vernberg, 2001; Beatley *et al.*, 2002; Bird, 2008; Castro y Morales, 2006; Medina, 1998).

Como resultado de lo anterior, se ha logrado ampliar los conocimientos sobre los procesos de erosión costera, sus resultados y afectaciones implícitas, creando así, un alto nivel cognoscitivo de dicho sistema. En la actualidad, las diversas investigaciones y trabajos, se caracterizan por ser de índole multi e interdisciplinarios, cuestión que se traduce como *el manejo integral de la zona costera* (MIZC).

El MIZC involucra la participación de la academia, del gobierno, de las ONG's y demás actores interesados en su gestión. Camfield y Morang (1996) indican que la mayoría de las naciones costeras han direccionado su atención hacia la evaluación del riesgo y la reducción de las amenazas en diferentes tipos de costas, aunque en mayor grado los trabajos recaen en ambientes acumulativos, debido a los cambios importantes que se generan en un lapso de tiempo muy corto.

Komar (1998) ofrece algunos ejemplos de los diferentes enfoques que se han realizado acerca de los estudios de morfodinámica y sus amenazas asociadas. Por ejemplo, menciona que los geólogos basan sus estudios en la dinámica de los sedimentos; los ingenieros se encargan del modelamiento matemático de algunos procesos y de la protección costera; los geomorfólogos del entendimiento de la evolución de las formas costeras; y los geógrafos de la planeación de dichos espacios.

Esta visión integral junto con el empleo de nuevas tecnologías, han conseguido caracterizar y clasificar los problemas asociados a algunas regiones costeras del mundo; evitando el desequilibrio entre los elementos e interacciones que ahí se generan y, con ello, se ha favorecido la eficiencia en el manejo y uso de estos espacios.

México cuenta con más de 11,000 km de costas en el Océano Pacífico y Atlántico, que albergan una diversidad de bienes generados por la interacción de procesos geológicos y climáticos, aunados a la acción de depositación y erosión (Bolónaro *et al.*, 2010). Se sabe que no existe una base documental amplia que caracterice física, ambiental y espacialmente la zona costera de nuestro país (Ortíz y de la Lanza, 2006), y se conoce muy poco y de manera puntual acerca de los principales procesos que tienen lugar en estos espacios, situación que conlleva a generar nuevos trabajos para aumentar el conocimiento sobre las costas nacionales.

No obstante, las investigaciones realizadas en el país, se llevan a cabo bajo el enfoque de dinámica espacio-temporal y las futuras afectaciones que pueden traer consigo, particularmente en las costas del Mar Caribe y del Golfo de México. Tal como lo indican Torres *et al.* (2010), esta última zona ha sido de la más estudiada por varios autores desde diferentes puntos de vista y en diversas épocas, por ejemplo Ortiz (1991); Ortiz y Méndez (1999); Palacio *et al.* (1999) Castillo y Capurro (2000); Ortiz y Méndez (2000); Palacio (2001); Hernández *et al.* (2008); Márquez *et al.* (2010); Torres *et al.* (2010); Bolónaro *et al.* (2010); Barrios (2012); entre otros.

La mayoría de estas investigaciones son recientes y han logrado incrementar el conocimiento sobre las tendencias morfodinámicas asociadas a variaciones estacionales, al cambio climático y al ascenso del nivel medio del mar. Este interés se ve reflejado en la realización de eventos, como el *Primer Foro sobre Erosión Costera*, efectuado en Yucatán, en 2011, y también en aportaciones bibliográficas y metodológicas efectuadas por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANIDE), la UNAM, el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Universidad Autónoma de Campeche, el gobierno del estado de Tabasco y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Significado científico y aplicado

El constante aumento de la población, de las actividades comerciales y turísticas, localizadas en la zona de interfase entre el mar y la tierra emergida, convierten frecuentemente a esta región en un espacio expuesto a los diferentes tipos de amenazas, como son las inundaciones, los impactos por tormentas y la erosión crónica (Ruggeiro, 2006). Por lo tanto, se puede deducir que dicha exposición continuará en aumento, conforme se incremente el número de habitantes y de asentamientos ahí localizados.

El gran dinamismo que presentan las costas de manera natural, se ve acelerado en algunas partes del mundo por las actividades humanas, que de manera directa e indirecta afectan el equilibrio de este sistema. En tal situación, de acuerdo con Camfield y Morang (1996), resalta la necesidad de realizar estudios de morfodinámica, que permitan estimar la evolución de las líneas de costa acumulativas, para lograr la reducción del impacto sobre algunas amenazas, de origen natural y antrópico, que se puedan presentar en esta zona.

Se reconoce que, para el caso de la zona bajo estudio, existe muy poca información acerca de su dinámica costera y sobre todo de sus tendencias evolutivas a mediano y largo plazo. La mayor parte de las investigaciones realizadas, se enfocan al sector socioeconómico, debido a la actividad turística; a reconocimientos sobre tectónica local y regional, y a algunos elementos bióticos relacionados con los humedales costeros.

Ante dicha situación, sobresale el interés de generar información que apoye el conocimiento sobre los escenarios futuros de la costa, ante el ascenso del nivel medio del mar, y establecer resultados que puedan dar pie a otras investigaciones enfocadas a prevención de desastres, al manejo integral de la costa, a estudios ambientales, etc. Este propósito, se llevará a cabo mediante el empleo de tecnologías de la información geográfica, relacionadas con el análisis de imágenes de satélite y fotografías aéreas digitales, que permitirán generar nueva información cuantitativa y cualitativa, así como, material cartográfico que puede ser empleado en un futuro con diferentes expectativas.

Hipótesis

Las tendencias erosivas de la línea de costa y las modificaciones morfológicas de las playas bajo estudio, representan un enorme potencial de afectación al medio, a la población y a las actividades económicas que se localizan en esta zona, volviéndolas susceptibles ante futuras inundaciones por el ascenso del nivel medio del mar o por fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Objetivo general

Conocer la tendencia evolutiva (erosión o acreción) de las playas bajo estudio, desde la segunda mitad del siglo XX a la fecha, para contribuir a la creación de escenarios susceptibles y de impacto por el futuro aumento del nivel medio del mar o afectaciones de fenómenos hidrometeorológicos extremos, bajo las condiciones que presenta el sistema costero.

Objetivos particulares

1. Identificar la morfología actual de las playas, e indicadores de erosión-acreción.
2. Exponer la tendencia, de avance o retroceso, de la línea de costa.
3. Conocer la situación ambiental de las playas, con respecto a las actividades humanas y la influencia que ejercen sobre la dinámica costera.
4. Identificar zonas susceptibles ante futuras inundaciones por el aumento del nivel medio del mar o por influencias de eventos hidrometeorológicos extremos.
5. Crear escenarios de impacto ante el aumento del nivel del mar.

I. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

I.1. Conceptualización de morfodinámica costera

Las investigaciones sobre el entorno costero desde una postura científica apegada a la evolución de las formas del relieve, han sido importantes como fuente de instrumentos para la planeación y el manejo de dicha zona. Estos estudios enmarcan a la geomorfología costera, que particularmente se enfoca en el área de influencia de mares y océanos, sobre el relieve terrestre y submarino (Davis & Fitzgerald, 2004).

La geomorfología costera, mantiene a su vez, diversas vertientes que incluyen el estudio del origen de las formas, por procesos geológicos y climáticos; los procesos de intemperismo y erosión de acantilados, la dinámica y fuentes de los sedimentos y los procesos relacionados al aumento del nivel medio del mar (Bird, 2008).

Dentro de la diversidad de aproximaciones teóricas y metodológicas para el entendimiento del medio costero, se encuentran los estudios de morfodinámica, que recientemente ha obtenido un gran auge, debido a su importancia para muchas de las problemáticas actuales. Los estudios de morfodinámica, se han convertido en un paradigma sólido y en constante expansión dentro del estudio de la evolución costera y de cualquier otro entorno (Syvitski *et al.* 2009).

El término de morfodinámica fue introducido, en 1977, por Wright y Thom (Masselink, 2003), y se define como el mutuo ajuste de la topografía y su interacción con los flujos de materia, que envuelven la erosión, el transporte de los sedimentos y su acumulación. Esto como resultado a los procesos atmosféricos, geodinámicos, ecodinámicos, y las acciones humanas que son los agentes responsables de las modificaciones topográficas de algún lugar (Syvitski *et al.*, 2009).

Dicha conceptualización involucra el estudio de los procesos y su relación con el modelado actual del relieve. Por lo tanto, de manera no explícita, la costa entraría en el campo de un sistema abierto que, tal como lo señalan Sala y Batalla (1999), se caracteriza por la circulación continua de flujos de materia y energía, a través de sus límites, y por mantener una condición estable y constante a pesar de tal dinámica.

De esta manera, se puede interpretar a una costa, a una playa, o a una duna, como una porción bien delimitada que mantiene un constante intercambio de materia y energía, que a su vez, altera sus rasgos morfológicos, a diferentes escalas espacio-temporales.

I.2. Definición de la zona costera

La zona costera es entendida como la franja de convergencia entre la hidrosfera, litósfera y atmósfera. Es una región que presenta gran dinamismo y un frágil balance, que constantemente está siendo alterado por la influencia natural y humana (Beatley *et al.*, 2002).

Esta región ha presentado dificultades y discrepancias para ser definida y sobre todo para ser delimitada, debido a los diferentes usos y enfoques con los que ha sido abordada para su estudio o para su manejo (Castro *et al.*, 2006). Las diferentes posturas utilizan límites variados, como son los rasgos físicos, biológicos, jurídico-administrativos y socioeconómicos; los cuales establecen ciertos criterios funcionales que ayudan a las investigaciones, a la planeación y a la administración de estos territorios.

Algunos criterios que se han manejado para delimitar el sector costero, se establecen a partir de espacios o franjas que presentan influencia y afectaciones recíprocas por los procesos marinos y terrestres, lo cual de cierta manera, justifica la variación en el establecimiento de los bordes externos de la zona.

Para definir hacia el entorno terrestre se han empleado límites artificiales, como alguna carretera o los propios límites municipales (Padilla, 1999); características ambientales como el tipo de hábitat, tipo de suelo o geoformas (Vernberg, 2001); e incluso se llega a hablar de cuencas hidrográficas (Beatley *et al.*, 2002), debido a las aportaciones de materiales, nutrientes y contaminantes por parte de los ríos que desembocan en el mar.

El ambiente marino, con base en Vernberg (2001) y Beatley *et al.* (2002) se asocia a características físicas y químicas de las aguas someras; Masselink (2003), establece el límite donde el agua alcanza los 200 metros de profundidad, que se relaciona con el borde de la plataforma continental.

En general, la demarcación de zona costera se determina por las características físicas del entorno, que varía de un punto geográfico a otro. Y con base en la naturaleza geológica, estructural, morfológica, orientación, inclinación, exposición al oleaje, etc. (Moreno, 2007), se tienen entonces una gran diversidad de entornos costeros en todo el mundo.

I.3. Clasificación y tipos de costa

Ante la gran heterogeneidad de paisajes costeros, regidos por los diferentes procesos exógenos y endógenos (Fig. 1). A lo largo del tiempo se ha buscado agrupar a estos dentro de diversas clases, que cuenten con características similares y que demuestren los rasgos más sobresalientes de ellos. Los intentos de clasificación han sido numerosos y con diferentes puntos de vista (Finkl, 2004; Fairbridge, 2004).

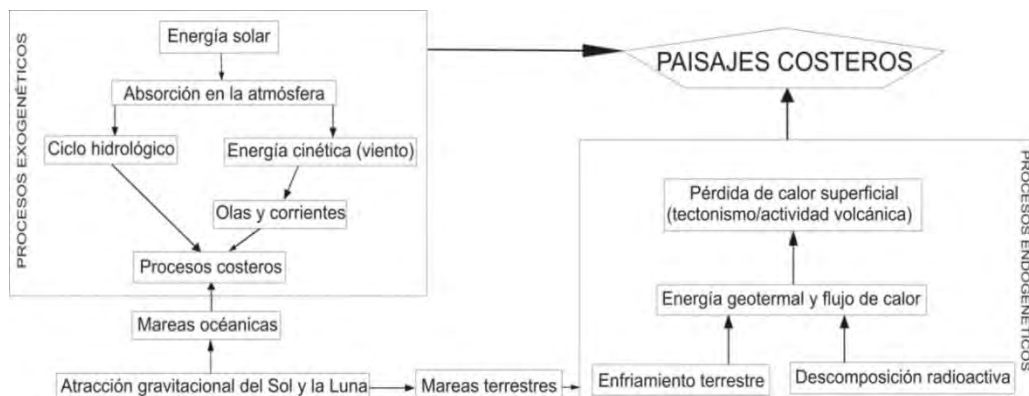


Figura 1. Diagrama del origen de los diferentes paisajes costeros (Hasslet, 2009). Se observan las diversas fuentes que originan muchos de los procesos marinos, terrestres, endógenos y exógenos a diferentes escalas espacio-temporales.

Finkl (2004) realizó un extenso trabajo de recopilación histórica acerca de las propuestas aplicadas por las diferentes ciencias, para clasificar la zona costera, algunas de estas se basan en caracterizar rasgos y procesos en escalas espaciales y temporales muy diferentes.

Desde una postura geomorfológica, Masselink (2003) indica que la clasificación de las costas, puede ser útil dentro del campo conceptual y permite analizar los diferentes factores que componen y controlan la gran variedad de ambientes costeros. Por lo tanto, se considera que cada clasificación puede satisfacer los intereses propios para el estudio del entorno costero, siempre y cuando se consideren las variables necesarias.

Los trabajos de Martínez (1997) y Ojeda *et al.* (2001) muestran las diferentes propuestas para clasificar las costas, bajo los criterios siguientes:

1. Estructurales: Basadas en una descripción tectónica a escala global. En general, considera a la costa desde la plataforma continental hasta el límite superior de la planicie costera.

La clasificación de Inman y Nordstrom (1971) es un claro ejemplo de este tipo de criterio, en los que inicialmente se basan en rasgos tectónicos que forman estructuras mayores a 1,000 km (de 1º orden). Por lo tanto, las costas se agrupan en:

a) Costas de colisión: asociadas a límites convergentes entre una placa continental y una marina.

b) Costas de arrastre, asociadas a límites de distensión o divergentes.

c) Costas de mares marginales, relacionados con los arcos de islas formados por la colisión de placas mar adentro.

2. Genéticos: Parte de los procesos de formación de origen endógeno y exógeno. Ojeda *et al.* (2001) indican que es el criterio más utilizado a la hora de abordar una clasificación de los medios costeros, debido a que se separan a las unidades originadas por procesos del medio terrestre y marino.

La clasificación de Shepard (1973), ejemplifica más a fondo este tipo de clasificaciones, y se basa en dividir, de manera general, a las costas de la siguiente manera:

I. Costas primarias. Formadas por procesos no marinos.

- Costas de erosión terrestre (de ría, de erosión glacial, de topografía kárstica sumergida).
- Costas de depositación subaérea (costas de depositación de ríos, glacial, aérea y por deslizamientos).
- Costas de origen volcánico (de flujos de lava, de tefra volcánica y de colapso o explosión volcánica).
- Costas formadas por movimientos diastróficos (costas de fallas).
- Costas de hielo (formadas por glaciares de los polos principalmente).

II. Costas secundarias. Formadas por procesos marinos, pudiendo o no haber sido costas primarias, anteriormente.

- Costas de erosión por olas (Costas de acantilados).
- Costas de depositación marina (Costas de barrera, marismas, planicies de playa).
- Costas construidas por organismos (Costas de arrecifes de coral, costas de manglares, costas herbáceas o de pastos).

3. Morfológicos: En este caso, el criterio usado es la morfometría y es aplicable a escalas de más detalle. La costa vista en planta se representa como una simple línea (línea de costa). Este rasgo se puede subdividir, por ejemplo, en costas de planta regular (rectilíneas) y en costas de planta irregular (cóncavas y convexas) como son los golfos, las bahías, los cabos y otras formaciones y configuraciones costeras.

En general, la clasificación costera puede generarse a partir de diferentes variables ambientales, que engloban elementos bióticos y abióticos, los cuales dependen y condicionan a las fuerzas generadas por los procesos terrestres, marinos y atmosféricos, generando así los diferentes ambientes y paisajes. La clasificación de Shepard es importante en este trabajo, ya que la zona de estudio es una costa secundaria de origen acumulativo por procesos marinos.

I.4 Estructuras acumulativas de las zonas costeras

I.4.1. Génesis

Dentro de la gran diversidad de ambientes costeros, y con base en la clasificación de Shepard (1973), se encuentran aquellas costas secundarias formadas por depositación marina. Estos entornos acumulativos representan cerca del 20% de las costas mundiales (Bird, 2008), incluyendo a las mexicanas y en particular la zona de estudio. Estas se identifican como una porción de la costa, que sirve como depósito de sedimentos no consolidados, que son móviles en respuesta a las características del oleaje, corrientes litorales y mareas, que son capaces de desplazar dichas partículas (Castro y Morales, 2006).

En escala de tiempo geológico, la localización y origen de la mayoría de las costas acumulativas actuales responden principalmente a la dinámica climática, y su relación con las fluctuaciones pasadas del nivel medio del mar, que se han establecido en el Cuaternario. La expansión y contracción de los océanos, como resultado de los procesos glacio-eustáticos, fueron contribuyendo a la configuración de la línea de costa que hoy conocemos (Masselink, 2003; Chaline, 1972). Los procesos relacionados con la cantidad de agua contenida en los océanos, rigen los fenómenos de transgresión (aumento del nivel medio del mar) y regresión (disminución del nivel medio del mar) de la línea de costa (Kraft & Chrzastowski, 1985).

De manera más puntual, Castro y Morales (2006) indican que la posición actual de los litorales es reciente, y pertenece a la dinámica climática del Holoceno, ya que el nivel medio del mar anterior a esa época (aproximadamente 10,000 años atrás) se llegó a localizar hasta 100 metros por debajo del nivel actual, que corresponde a la última época glacial. Posterior a tal regresión, diversas transgresiones y regresiones de diversa magnitud comenzaron a inundar estuarios y marismas, y a generar algunas playas, dunas y terrazas actuales (González Amuchástegui *et al.*, 2005).

Además de la dinámica oceánica y climática, Dillenburg & Hesp (2009) mencionan algunos elementos geológico-geomorfológicos que condicionan la localización geográfica y desarrollo de las costas acumulativas. Dentro de éstos se encuentran, tanto una pendiente adecuada (de 0.05° a 0.8°), que permita la retención de los sedimentos, además de una topografía previa o antecedente que rige las condiciones propicias de la energía del oleaje, que favorece la constante acumulación de los sedimentos por arriba de la línea de pleamares.

I.4.2. Evolución y tipos

El elemento más sobresaliente de las costas acumulativas, es la presencia de sedimentos no consolidados, que dependen totalmente de los procesos hidrodinámicos y eólicos, que en conjunto crean los diferentes patrones de evolución a corto y largo plazo, así como, las diferentes formas y estructuras adquiridas mediante la constante acumulación y remoción de los sedimentos.

Davidson (2010) indica que estas estructuras sedimentarias se pueden denominar sistemas de barrera. Estos sistemas son morfologías elongadas, correspondientes a los flujos de sedimentos influenciados por la deriva litoral y por el oleaje. Algunas de estas formas encierran a ecosistemas, que pueden ser altamente productivos e importantes para el humano y el medio ambiente.

A continuación se muestran (Fig. 2) y se describen los diferentes tipos de estructuras acumulativas costeras.

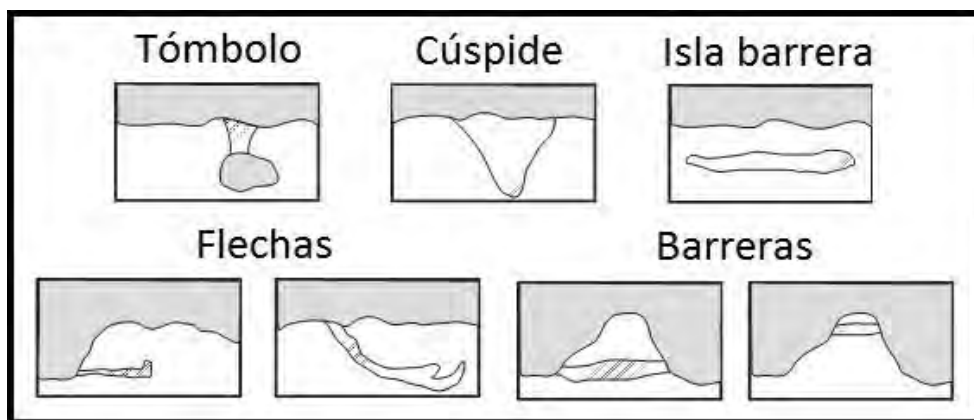


Figura 2. Diferentes tipos de estructuras acumulativas costeras (Davidson, 2010).

- Tómbolo: Es una barra litoral que une a una isla con la tierra firme y suele ser transversal al borde litoral (Lugo, 2011), su origen y desarrollo se debe al proceso de refracción y difracción del oleaje.

- Flechas: Franja estrecha que se extiende en un litoral y forma una saliente mar adentro (Lugo, 2011), mantiene una de sus puntas libres en forma de gancho.
- Cúspides: Son pequeñas protuberancias extendidas hacia el mar y que se desarrollan sobre alguna costa rocosa. Suelen presentarse como pequeñas acumulaciones de sedimentos en formas triangulares o de media luna, como producto de la convergencia de dos corrientes litorales.
- Barreras e islas barreras: Son extensas acumulaciones de arena paralelas al litoral. Bird (2008) indica que ambas mantienen los mismos rasgos característicos a diferencia de que las islas cuentan con sus dos extremos libres, debido a su desarrollo mar adentro, mientras que una barrera se relaciona con alguna elevación considerable, que permita crear dicha barrera, como lo puede ser una bahía o una saliente.

I.5. Playas

I.5.1. Generalidades de las playas

Las playas son el ejemplo más claro de las zonas de acumulación costera, ellas llegan a desarrollarse prácticamente en cualquier entorno, siempre y cuando existan los elementos necesarios para su formación (Davis, 1985). Estos elementos son la presencia y constante aportación de material (sedimentos) y la energía proveniente del oleaje (Short 1999).

Una playa se conceptualiza como una zona de depósito de sedimentos móviles (CIRIA, 2010), que van desde partículas orgánicas e inorgánicas, en cuanto a composición, y desde del tamaño de las arenas hasta los cantos (Hugget, 2011). Los sedimentos llegan a la costa principalmente por aportaciones de los ríos, glaciares, por la erosión de los acantilados, así como, por aportaciones calcáreas de los arrecifes de coral.

El límite superior de una playa se localiza hasta la parte más alta de acción del oleaje, generalmente donde hay un cambio abrupto de pendiente, donde inicia la vegetación estable o donde se localizan algunas construcciones. El límite inferior generalmente se establece hasta donde se localiza el promedio de marea más baja (Davis, 1985; Komar, 1998;) aunque Carranza-Edwards (2010) y Short (1999) indican que éste se extiende hasta la zona donde la base de las olas comienzan a tener contacto con el piso marino, debido a que es donde comienza la interacción entre los procesos hidrodinámicos y los sedimentos.

Ante esto, se puede decir que una playa abarca, de manera total, la zona de litoral, que en estricto sentido geomorfológico, tal y como lo indica Bird (2008) y Castro (2006), se define como aquella franja comprendida entre el límite más alto al que llega la acción del oleaje y la zona donde los sedimentos ya no pueden ser transportados por las olas.

La franja litoral se puede entender como el elemento más dinámico de la costa, ya que es la zona donde se manifiestan los mayores efectos de los procesos marinos, como el cambio en la morfología costera por los procesos de erosión y acreción en las playas (Torres *et al.*, 2010). Uno de los elementos importantes del litoral es la línea de costa (*shoreline*), rasgo clave en esta zona de transición, ya que es la línea de demarcación entre el agua y la tierra emergida (Komar, 1998; Bird, 2008), es decir, el borde marino. La línea de costa es un elemento que muestra las variaciones del nivel del mar por diversos procesos, que se desarrollan en escalas de tiempo, que van, desde algunos minutos hasta siglos.

I.5.3 Perfil de playa

La transición del medio marino al terrestre puede ser observada y entendida de manera más concreta en las costas bajas, debido al cambio gradual en la pendiente que ocurre desde las aguas “someras” de la plataforma continental hasta el borde litoral (*coastline*), que es la línea en donde alcanza su máxima influencia el oleaje (Bird, 2008).

Para apreciar de mejor manera este cambio, se ha representado a la playa en una zonificación, vista en perfil, que incluye las morfologías características de esta porción de la costa (Fig. 3). Cada zona establecida cumple con rasgos muy particulares, que están ligados a los procesos hidrodinámicos que se encargan de configurar a cada uno de estos ambientes.

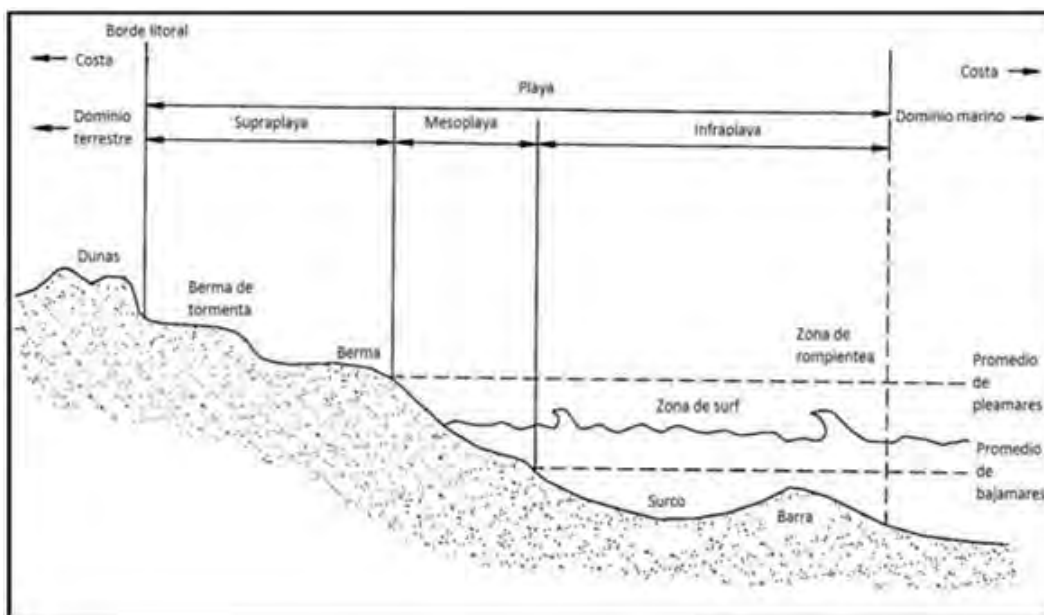


Figura 3. Perfil típico de playa (Morang & Parson, 2010; modificado por Bustamante, 2013). Se muestran los principales procesos hidrodinámicos de las aguas someras y las morfologías asociadas al entorno submarino y subaéreo.

Un perfil de playa muestra gráficamente los atributos morfológicos e hidrodinámicos de las costas bajas. Esta representación puede variar conforme a diversos factores, que incluyen a las características granulométricas y a las condiciones oceánicas locales. En este trabajo se emplea la terminología de supra, meso e infraplaya, establecida por Carranza y Caso (1994) y se tomarán en cuenta los atributos morfológicos y ambientales de la mesoplaya y supraplaya que se muestran en la figura 5.

En el supralitoral o parte más elevada a la anteplaya o supraplaya (*backshore*), es aquella porción de tierra adentro, que se extiende por arriba de la línea promedio de pleamares hasta la siguiente característica fisiográfica, como lo puede ser una duna, un acantilado en donde influye el oleaje durante una tormenta severa (CIRIA, 2010; Bird, 2008; Davis & Fitzgerald, 2004).

La siguiente zona conocida como frente de playa o mesoplaya (*foreshore*) comprende a la zona intermareal (CIRIA, 2010). Esta franja suele presentar el mayor número de modificaciones morfológicas por el vaivén de las olas (Carranza-Edwards, 2010). Su principal atributo es ser una porción plana que mantiene una inclinación considerable y continua hacia el mar (Davis & Fitzgerald, 2004); su límite inferior es marcado en la base del primer escalón mar adentro (Hughes and Turner, 1999).

Finalmente, en la porción dominada por el entorno marino, sublitoral, se localiza la playa baja o infraplaya (*nearshore*). Los límites extremos de esta zona van desde la línea promedio de bajar

o hasta donde se localiza el escalón antes mencionado, hasta la zona de mar adentro en donde inicia el proceso de interacción entre el piso marino y las olas.

I.5.4. Morfoelementos de playas. Origen y dinámica

Una playa es la porción más cambiante de la costa, debido a que es justo en esta parte, donde se disipa gran parte de la energía que transmite el mar, a través de sus procesos hidrodinámicos (Martínez, 2009). Moreno (2007) indica que el dinamismo de este medio, es producto de las altas y bajas energías del oleaje, así como, de la disponibilidad de la arena; aunque Martínez (2009) agrega la orientación de la playa y la variabilidad del nivel medio del mar, como otros factores influyentes, creándose así un estado de fragilidad dependiente de los procesos físico-naturales.

La inserción de los factores socioeconómicos ha maximizado y minimizado los procesos erosivos y acumulativos, los cuales pueden ser identificados, de acuerdo con Farris & List (2007), mediante un perfil de playa, así como, con el apoyo de características visuales en planta, que pueden incluir la posición de la línea de costa y las características ambientales de la zona.

La morfodinámica de las playas es comprendida mediante el entendimiento de los procesos que, de manera natural, se generan en dicho sistema, los cuales involucran la forma en la que se produce la acumulación, el transporte y erosión de la arena. Por lo que al intensificarse o minimizarse alguno de estos tres procesos, los resultados podrían llegar a ser percibidos en algunas de sus características morfológicas.

La llegada de las olas al litoral, comienza a alterarse en la infraplaya (*nearshore*). Aquí se crea la zona de rompientes (*break zone*) y de surf (*surf zone*), ambas responden al ancho de playa y a la cantidad de barras sumergidas. De manera general, en esta zona, el transporte de los sedimentos ocurre por el proceso de deriva litoral (Davidson, 2010).

En la mesoplaya, es donde se da el vaivén de las olas y la pérdida total de su energía. Hughes and Turner (1999) indican que esta zona de transición mantiene ciertas características que la convierten importante en cuanto a los estudios de erosión costera. Una de ellas es que aquí se localiza es la línea de costa, rasgo que se explicará más adelante, la cual se desplaza conforme a las condiciones del oleaje, mareas, tendencias del nivel del mar y también por las condiciones predominantes de acreción o erosión.

Además de la línea de costa, existen ciertos rasgos que ayudan a identificar los procesos erosivos y acumulativos; tal es el caso de las bermas, que son morfologías acumulativas de las

playas (Hughes & Turner, 1999). Las crestas de las bermas marcan, tanto la altura máxima a la que llegan las olas en condiciones normales. Las bermas están sujetas a las condiciones ambientales de cada playa y aquellas con buena alimentación de arena mantienen bermas bien formadas, mientras que aquellas deficitarias carecen de éstas o están poco desarrolladas (Castro, 2006).

En esta zona, el transporte de los sedimentos está influenciado por medio de los movimientos de llegada de las olas de manera ascendente, que acumulan arena, y por la salida del agua de manera descendente, que retira la arena o la desplaza lateralmente. La migración y acumulación de los sedimentos, depende de la saturación de esta zona y la fuerza con la que llega o regresa el agua (*ibid.*), si la fuerza de regreso es mayor que la de ingreso, se puede generar el proceso erosivo o viceversa.

Finalmente, en la supraplaya (backshore), esta zona se modifica tanto por las olas como por procesos eólicos, fenómenos que responden a la temporalidad bajo la cual se encuentra una playa (Hesp, 1999). En el periodo seco, la migración de las partículas se da, principalmente, por los procesos eólicos, que remueven arena de las bermas bajas y las acumulan tierra adentro, en forma de dunas (Martínez, 2009) o la llevan mar adentro, traduciéndose como pérdida de arena.

En sentido estricto, la supraplaya llega hasta la parte baja de las dunas, pero éstas no se deben de descartar en el entendimiento de este medio, debido a que desempeñan un papel fundamental en el equilibrio dinámico de la playa a la que están asociadas (Castro, 2006).

El origen de las dunas costeras, responde a los procesos eólicos y éstas presentan cierto grado de estabilidad conforme al paso de tiempo y a la conjunción de diversos factores que influyen en sus características; tal es el caso de las dunas estables y las embrionarias. Las primeras, en general, se caracterizan por presentar vegetación y dimensiones considerables, como su altura y ancho; mientras que las incipientes suelen ser pequeñas y con vegetación muy escasa o casi nula (Hesp, 1999).

Las dunas mantienen cierta dinámica a lo largo del año, ya que en época de secas, presentan aportaciones de partículas finas por acción del viento, y en época de tormentas ocurre un proceso inverso, en donde el aumento de las olas y el nivel del mar, puede extraer arena de éstas y acumularla en la meso e infraplaya (Bird, 2008).

Durante las tormentas, las dunas se convierten en una barrera que no permite o detiene el impacto que las lluvias pueden causar tierra adentro (Martínez, 2009). Bajo estas condiciones, la línea de costa tiende a mostrar un ascenso, llegando a formar la berma de tormenta (Davidson, 2010) en la porción alta de la supraplaya.

La delimitación de una playa en estas tres zonas (infra, meso y supraplaya), da pie al mejor entendimiento de la dinámica de los sedimentos en relación a las características de las fuerzas hidrodinámicas y eólicas. De tal manera que resalta la interdependencia existente entre estos subsistemas de una playa, los cuales responden a las modificaciones de las condiciones ambientales del entorno costero, a mediano y largo plazo.

I.5.5. Erosión de playas en costas desarrolladas

Dentro de los principales problemas que atañen al estado actual de las costas acumulativas, Moreno (2007) resalta que, la alteración del perfil de playa y de la línea de costa son los más severos en todo el mundo, característica observada en las playas de Acapulco Diamante. Además Davis & Fitzgerald (2004) reconocen, que en la actualidad alrededor del 70% de las costas se encuentran bajo una tendencia erosiva.

La erosión de las playas, es entendida como aquel fenómeno, que se desarrolla por medio de la energía proveniente del viento y de las olas; los sedimentos no consolidados son removidos y depositados en algún otro lugar u entorno (Davis & Fitzgerald, 2004). Los procesos que influyen en la erosión, son el resultado tanto de la intensidad como de la periodicidad de algunos fenómenos. Así, por ejemplo, existen cambios a corto plazo y con grandes aportaciones de energía, como las tormentas y huracanes; y algunos que se desarrollan a largo plazo y a escalas de cambio menores pero constantes, como el aumento del nivel del mar (Hyndman & Hyndman, 2004).

Moreno-Cassasola y Peresbarbosa (2005) hacen hincapié en la manera de aproximarse a los problemas relacionados con la erosión de las playas, ya que indican que estos ambientes se deben considerar como almacenes, que no son permanentes sino que representan acumulaciones (superávit) que el mar requiere y que en algún momento será removido por las olas y mareas, y depositado en algún otro lugar, todo esto de manera natural y sin incluir la intervención de la actividad humana.

Para poder comprender las causas y los procesos que llevan a la erosión y en su caso inverso la acreción de las playas, se puede partir, de manera general, en la dicotomía que elabora Masselink

(2003), en la cual menciona que existen dos principales aspectos, que condicionan la morfodinámica costera:

1. Condiciones ambientales: Son el conjunto de factores estáticos y dinámicos que manejan y controlan el sistema costero. Estos factores engloban a la geología, los sedimentos, la topografía, vegetación y las fuerzas, como las olas, las mareas y las corrientes.
2. Sistema costero: Comprende los componentes que son ligados por la energía y el flujo de materiales, es decir, a los procesos costeros, que se conectan con el exterior y controlan de igual manera a las condiciones ambientales.

Estos puntos, engloban las características naturales del entorno costero, bajo condiciones normales. Pero es necesario poder integrar a la cuestión humana, que en las últimas décadas se ha encargado de modificar el funcionamiento natural de las condiciones ambientales y sus respectivos procesos.

Ante una amplia diversidad de factores que pueden generar la interrupción y erradicación de los procesos naturales, y a la contribución de la dinámica erosiva, se han realizado diversos trabajos que clasifican el origen de dichas causas. Para este trabajo, la clasificación realizada por Carranza-Edwards (2010) complementada con lo que plantea Moreno (2007), favorece al entendimiento de la morfodinámica de las playas bajo estudio, ya que indican dos orígenes que facilitan las tendencias erosivas de las playas.

- Naturales: Relacionadas con la llegada de huracanes y tormentas, inundaciones y tsunamis.
- Inducidos: Generados por el represamiento de ríos; construcción de escolleras, marinas, diques, canales; aumento del nivel del mar por cambio climático acelerado; destrucción de dunas y su cobertura vegetal; separación de la duna y playa; compactación de la arena y la modificación inducida del perfil.

Los procesos naturales, se caracterizan por la aportación de grandes cantidades de energía a la costa. Este tipo de procesos suelen presentarse en periodos de tiempo relativamente cortos, que abarcan desde algunas horas, hasta algunos días, pero que pueden remover gran cantidad de arena de las playas. El grado de incertidumbre en cuanto a la llegada y la fuerza con la que se presentarán estos procesos, suele poner a las playas bajo la condición de ser altamente susceptibles ante el embate de tales procesos, los cuales pudieran ser catastróficos, en caso de que las

condiciones ambientales sean las adecuadas para generar un daño tan importante que pudiera convertirse en un desastre.

Dentro de las causas inducidas de origen antrópico, probablemente no puedan ser percibidas como en las del primer caso, ya que éstas modifican, de manera gradual, el funcionamiento natural del sistema playa y solamente pueden ser apreciadas a mediano y largo plazo.

Nordstrom (2000) indica que las modificaciones inducidas pueden ser intencionales, en donde se cortan, de manera tajante, los procesos naturales de erosión, transporte y acumulación de los sedimentos para favorecer a las actividades que se realizan en la costa; y por otro lado, menciona a las alteraciones no intencionales relacionadas principalmente con las personas que gradualmente modifican los lugares de depositación y de erosión, así como, las condiciones vegetales.

Generalmente, los procesos relacionados con las actividades humanas suelen representar mayores cambios significativos y pueden llegar a ser ignorados por la escala temporal en la que se desarrollan y se aprecian sus resultados. Muchas veces se llegan a realizar acciones de mitigación, que recaen en la búsqueda de reducir los impactos de los fenómenos naturales más que sobre la regulación de las actividades humanas sobre las playas.

Cuando una playa se encuentra en catalogación de “desarrollada”, el caso de Acapulco Diamante, y que incluye gran tráfico de personas y vehículos, generalmente llegan a presentar problemáticas por las tendencias erosivas, provocadas por la modificación del perfil, volviéndolos generalmente de rectos a cóncavos, lo que facilita que el agua llegue a mayor altura y se retire con mayor fuerza (Nordstrom, 2000; Moreno, 2007).

Es importante tener en cuenta, que tanto las causas de origen antrópico y las naturales, al conjugarse pueden llegar a maximizar los procesos erosivos, por lo tanto es necesario, para un estudio y plan de manejo de erosión de playas, tomar en cuenta las condiciones naturales y antrópicas que se localizan en la zona.

En general, se puede decir que las tendencias erosivas de las playas están sujetas, en su mayoría, a las acciones de las actividades humanas que ahí se desarrollan. Dichas actividades y sus resultados implícitos, pueden aumentar su potencial ante la carencia de normas ambientales, que favorezcan la preservación de estos ambientes.

I.6. MARCO METODOLÓGICO

I.6.1. Metodologías en investigaciones de morfodinámica de playas

Para determinar los cambios morfológicos que han predominado en las playas o cualquier otro ambiente costero, existen diferentes metodologías que se basan en el empleo de indicadores de diversa índole, bióticos y abióticos, que deben de ser seleccionados de manera adecuada con base en la escala espacial y temporal de trabajo.

Forbers & Liverman (1996) mencionan que la selección de indicadores geomorfológicos (geoindicadores), deben de tomar en cuenta criterios relevantes, que incluyan la exactitud, precisión, el costo y significado de los resultados que se obtendrán, así como, la evasión de ambigüedades que generen resultados erróneos. Establecen que dentro de los indicadores más usados, pero sobre todo más aceptados, dentro de la comunidad científica para la evaluación de las tendencias morfodinámicas, son los atributos morfológicos y ambientales de las playas y la evaluación multitemporal de la línea de costa que serán los elementos a tomar en cuenta para este trabajo.

Por lo tanto, para el conocimiento de las tendencias evolutivas de las playas, el análisis se puede realizar, tanto en planta (atributos cuantitativos) como en perfil (atributos cualitativos). Estos procedimientos involucran dos etapas, empleadas en este trabajo. La primera relacionada al manejo e interpretación de fuentes de información geográfica, como las fotografías aéreas e imágenes satelitales multitemporales y su incorporación dentro de los Sistemas de Información Geográfica, con la finalidad de obtener tasas de cambio, que pueden ayudar a prever futuros cambios. La segunda etapa, se enfoca al análisis en campo de los atributos de las playas, mediante el reconocimiento de las características geomorfológicas y ambientales que demuestren, la predominancia de la dinámica y el establecimiento de zonas con alto potencial, frente a los daños que puedan sufrir por el ascenso del nivel medio del mar.

I.6.1.1 Uso de la línea de costa e indicadores de su posición real

El empleo de la línea de costa ha servido como una aproximación para determinar el volumen de arena que se ha ganado o perdido en alguna playa (Farris & List, 2007). El cambio en su posición puede reflejar características que responden a condiciones temporales, de corto plazo, como lo son la afectación por tormentas y, a largo plazo, como el aumento del nivel medio del mar por cuestiones relacionadas a procesos eustáticos e isostáticos.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

Para lo anterior, Boak & Turner (2005) indican que, se debe mantener una conceptualización óptima de lo que es este rasgo costero y contemplar la escala espacial y temporal de trabajo bajo la cual se quiere entender su dinámica. Durante el estudio multitemporal de la línea de costa, es necesario poder contar con indicadores (Fig. 4) que se acerquen a su posición real.

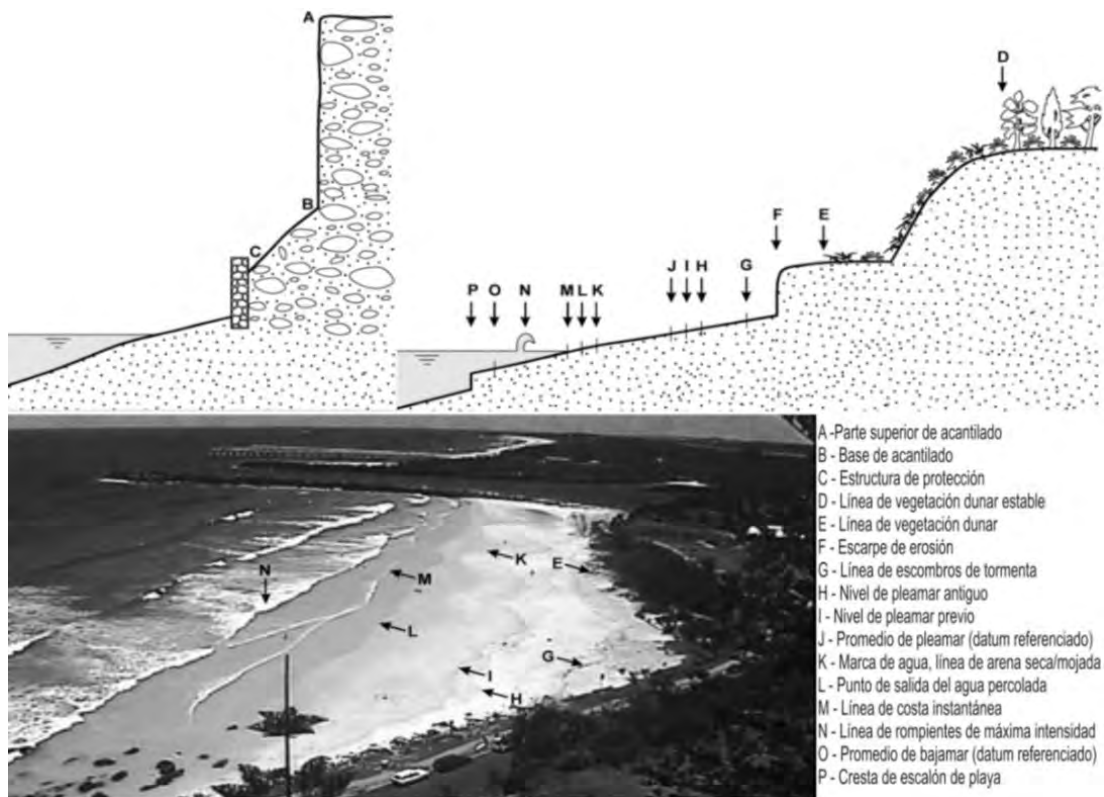


Figura 4. Indicadores de la posición de la línea de costa (Boak & Turner, 2005). Los indicadores son representados en la parte superior en forma de un perfil típico de costa rocosa (izquierda) y acumulativa (derecha). En la parte inferior estos se indican, con base en las tonalidades de grises de las fotografías aéreas, la localización de cada uno de ellos.

La selección de los indicadores más apropiados de la línea de costa depende en gran medida de las herramientas con las que se cuenta. Boak & Turner (2005) resumen los diferentes medios usados para de determinar dicha posición:

1. Por características visuales de la costa. Éstas pueden ser vistas de manera física en campo, y se relacionan con el límite entre los seco y lo mojado, la línea de pleamar. Su posición se puede establecerse mediante el uso de tecnologías como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).
2. Características basadas en un específico “datum” de mareas. Se pueden determinar por el trazado de un perfil de playa, donde se puede obtener la cresta de la berma, o algún otro rasgo como un escarpe y mediante el uso de métodos estadísticos que reflejen realmente los cambios del borde marino.

3. Basado en la aplicación de técnicas en el procesamiento de imágenes de satélite y la interpretación de fotografías aéreas, para extraer características de la línea de costa en un momento y lugar determinado.

Dentro de estas tres opciones, la más accesible debido a la falta de información histórica con la que cuentan muchas zonas y en particular el área de Acapulco, es el uso de fotografías aéreas, fuentes fundamentales que, de manera visual y con una resolución óptima, permiten identificar hasta donde se localizaba esa línea de contacto entre el mar y la superficie emergida.

Del Río y Gracia (2008) mencionan que el indicador más empleado para aproximar la posición real de la línea de costa en las fotografías e imágenes es la línea de pleamares, a la cual ellos la denominan como la “marca de agua” o el límite entre la arena mojada-seca, y se relaciona con la línea de costa instantánea que es la posición de ésta en un instante de tiempo determinado (Boak & Turner, 2005).

El uso de la línea de pleamares, debe de tomar en cuenta algunos criterios básicos que disminuyan el grado de error durante el trabajo, para lo cual Esteves y Dillenburg (2006), proponen que tales criterios se relacionan con las condiciones y características de marea, que caracterizan a esa zona y que predominaban en el momento de captura de la imagen o fotografía. Esto, con el fin de conocer las condiciones marinas imperantes durante la fecha de toma, para que no se tome como normal dicha localización y poder determinar el rango de error con el que se trabaja.

I.6.1.2. Incertidumbre en la posición de la línea de costa

En cualquier estudio que busque conocer la dinámica de la línea de costa, es necesario tomar en cuenta el grado de incertidumbre o error, que se presenta al realizar todo el trabajo de compilación, análisis y digitalización del material cartográfico con el que se cuenta.

Para la determinación del nivel de incertidumbre con el cual se trabajará, se utilizará el método de Fletcher *et al.* (2003). En este método se plantea que los errores potenciales se pueden agrupar en dos tipos: la incertidumbre en la posición (*Positional Uncertainty*) ligada a las condiciones temporales de la costa, como la marea (t^2 – *tidal stage unvertainty*) y las variaciones estacionales (S^2 – *seasonal positional uncertainty*); las cuales son capaces de adjudicarle una posición dada en el momento de la captura; y la incertidumbre de medición (*measurement uncertainty*), que incluye las características del material cartográfico, como mapas topográficos (T^2 – *T-sheet*), el error

medio cuadrático de la georreferenciación (RMS^2) y la digitalización en pantalla (O^2 – *onscreen digitelination*).

Con lo anterior, Fletcher *et al.* (2003) proponen la siguiente fórmula para la obtención de la Incertidumbre total (U_t) de cada línea de costa:

$$U_t = \pm \sqrt{T^2 + S^2 + t^2 + RMS^2 + O^2}$$

El uso de esta metodología en este trabajo es útil debido a la posibilidad que presenta en su adecuación a cualquier zona de estudio, a pesar de la ausencia o presencia de cualquier variable. Pero sobre todo porque favorece a la generación del grado de error como la suma total de las variables dadas en metros.

I.6.1.3. Métodos para la obtención de las tasas de cambio

Para la generación de los resultados con todos los datos históricos, generalmente dentro de un S.I.G., se establece una línea de base adyacente a todas las líneas de costa, normalmente localizada tierra adentro. La distancia desde la línea de base hasta cada una de las líneas de costa es medida a lo largo de transectos ortogonales, separados a intervalos previamente establecidos a lo largo del litoral, para así generar las tasas de cambio (Fig. 5).

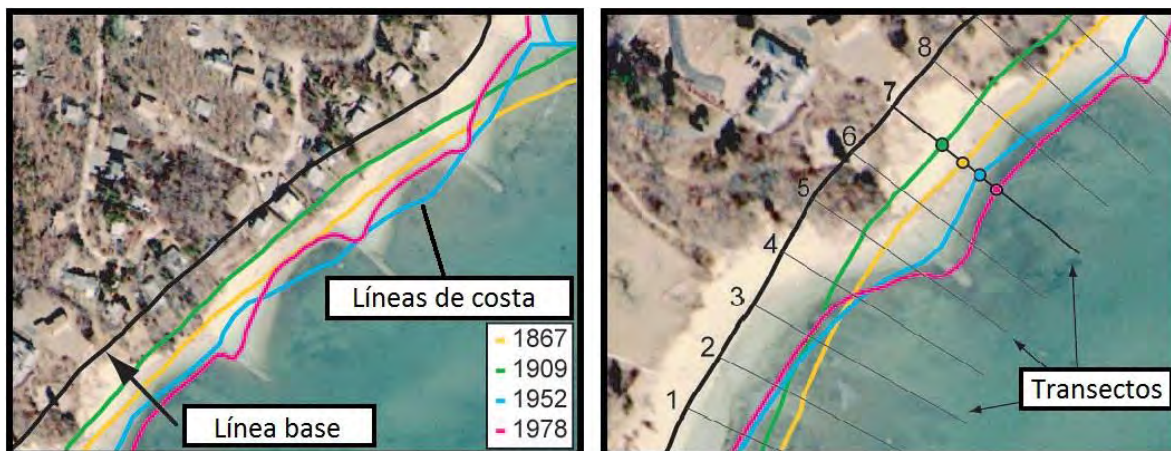


Figura 5. Método para la obtención de tasas de cambio de la línea de costa (<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/>). En la imagen izquierda se representan los insumos básicos y en la imagen derecha la forma en la que se obtienen, mediante el trazo de los transectos, las tendencias de avance o retroceso de dos o más líneas de costa.

Las técnicas estadísticas que se han empleado para la obtención de las tasas, con base en Del Río y Gracia (2008), son las siguientes:

I. Tasa de punto final (end point rate): Este método se obtiene mediante la obtención de la diferencia en distancia (metros) entre dos datos, el más reciente y el más antiguo para posteriormente dividir la distancia entre la cantidad de años que los separa. Se basa solo en la comparación de dos líneas de costa de diferentes épocas.

II. La media de las tasas (average of rates): Se basa en el cálculo de una tasa de punto final para cada par de datos y promediar todas las tasas obtenidas. La ventaja del método es el considerar toda la información, compararla una por una y poder mostrar cambios sensibles sustanciales en la tendencia evolutiva.

III. Regresión lineal (Linear regression): Se obtiene a partir de realización de un ajuste de todos los datos, calculando una recta cuya pendiente representa la tasa de variación. Lo que sobresale de este método es el uso de todos los datos.

IV. Tasa por estimación herramental (jackknifing): Consiste en realizar una regresión lineal, en la que se calculan rectas de ajuste para todas las combinaciones posibles de los datos, dejando fuera un dato distinto cada vez.

I.6.2. Perfiles de playa y rasgos cualitativos

El trazo de los perfiles transversales es un método útil, que ha servido para determinar las condiciones morfológicas de las playas, con la finalidad de conocer la presencia o ausencia de indicadores geomorfológicos y ambientales que demuestren tendencias erosivas o acrecionarias.

Existen diversas metodologías y técnicas para poder realizar el trazo de los perfiles, según Dean & Dalrymple (2002). Algunas de estas técnicas se basan en obtener información desde la porción de playa sumergida, hasta su parte más elevada, algunas otras se enfocan a las mediciones solamente en el entorno subaéreo, que comprende desde la línea de costa hasta el límite superior de la supraplaya, que podría incluir la base de un acantilado, una duna o alguna construcción.

La elección de las técnicas para el trazado de perfiles, responde al tipo de estudio y de información que se quiera obtener con los datos registrados. Los métodos más complejos, generalmente son numéricos y buscan determinar la cantidad de arena que se gana o se pierde,

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

elaborar una clasificación de playas, realizar monitoreos más precisos, etc. Estos métodos usan tecnologías de gran exactitud para lograr resultados más precisos.

Por otro lado, existen otro tipo de técnicas más sencillas pero no menos importantes, que buscan generar información cualitativa a partir de la medición de distancias y pendientes de la playa, con la finalidad de representar gráficamente los rasgos morfológicos, que ayuden a evaluar y comparar espacialmente zonas con tendencias erosivas, acrecionarias o estables (Young *et al.*, 1996). Este método revela las características actuales de las playas (Tabla 1) y su relación con la presión antrópica, que se puede traducir en el establecimiento de zonas con mayor o menor potencial de inundaciones o penetraciones marinas y a zonas de erosión crónica.

Erosión severa	Dunas ausentes con sobrelavado Dunas remanentes Vegetación ausente Estructuras construidas en la línea de costa o mar adentro
Erosión	Dunas escarpadas o cortadas Playas angostas o sin línea de pleamares Vegetación efimera Zonas de sobrelavado Presencia de turba, lodo o residuos de árboles
Acreción o estabilidad	Dunas y cordones de playa: robustos y con vegetación Playas amplias con bermas bien desarrolladas Zonas de sobrelavado ausente Vegetación bien desarrollada: bosques, arbustos y pastos costeros

Tabla 1. Lista de geoindicadores suplementarios para la evaluación de tendencias morfodinámicas (Young *et al.*, 1996). Estos indicadores pueden ser detectados mediante una revisión exhaustiva en campo o por técnicas de percepción remota y fotointerpretación con materiales de alta resolución.

1.6.3. Escenarios futuros por aumento del nivel del mar.

Durante los últimos siglos y en especial durante las últimas décadas los cambios ocurridos en el nivel del mar, a nivel mundial, han sido de gran importancia para muchas de las regiones costeras, debido a que existen zonas altamente susceptibles y vulnerables ante los impactos, que esta amenaza representa para las comunidades y sus recursos.

El interés de esta problemática radica en la creación de modelos, que demuestren escenarios futuros ante el ascenso del nivel del mar, a nivel global. Estos modelos han sido propuestos por el

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y se rigen en el establecimiento de diversos escenarios relacionados con el aumento o la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo.

Las posibles condiciones del aumento del nivel marino, se determinan con referencia a un nivel base, correspondiente al alcanzado en 1990. Las diferentes proyecciones que podría alcanzar el nivel del mar, se establecen cada 10 años, desde 1990 hasta 2100, teniendo así valores que van, en casos extremos, desde los 20 cm hasta casi un metro de altura para el año 2100 (IPCC, 2007).

Los escenarios de impacto se pueden establecer bajo diversos criterios y enfoques, por los cuales se trabaje el sector costero. Para México, Ortíz y Méndez (1999) han creado escenarios de impacto ante la amenaza inminente del aumento del nivel medio del mar en las costas del Golfo de México y del Mar Caribe. El estudio se basa en la caracterización de la costa, que incluye los diferentes componentes naturales y de usos de suelo, a manera de inventario, con el objetivo de conocer las afectaciones posibles que pudieran presentarse si el nivel del mar llegase a alcanzar diferentes alturas, generalmente a 1 y 2 msnm.

I.7. Materiales y Métodos

La metodología de trabajo consta de tres etapas (Fig. 6), que comprenden el reconocimiento de las tendencias históricas (Fase I), la caracterización de las condiciones actuales (Fase II) y el establecimiento de escenarios futuros (Fase III).

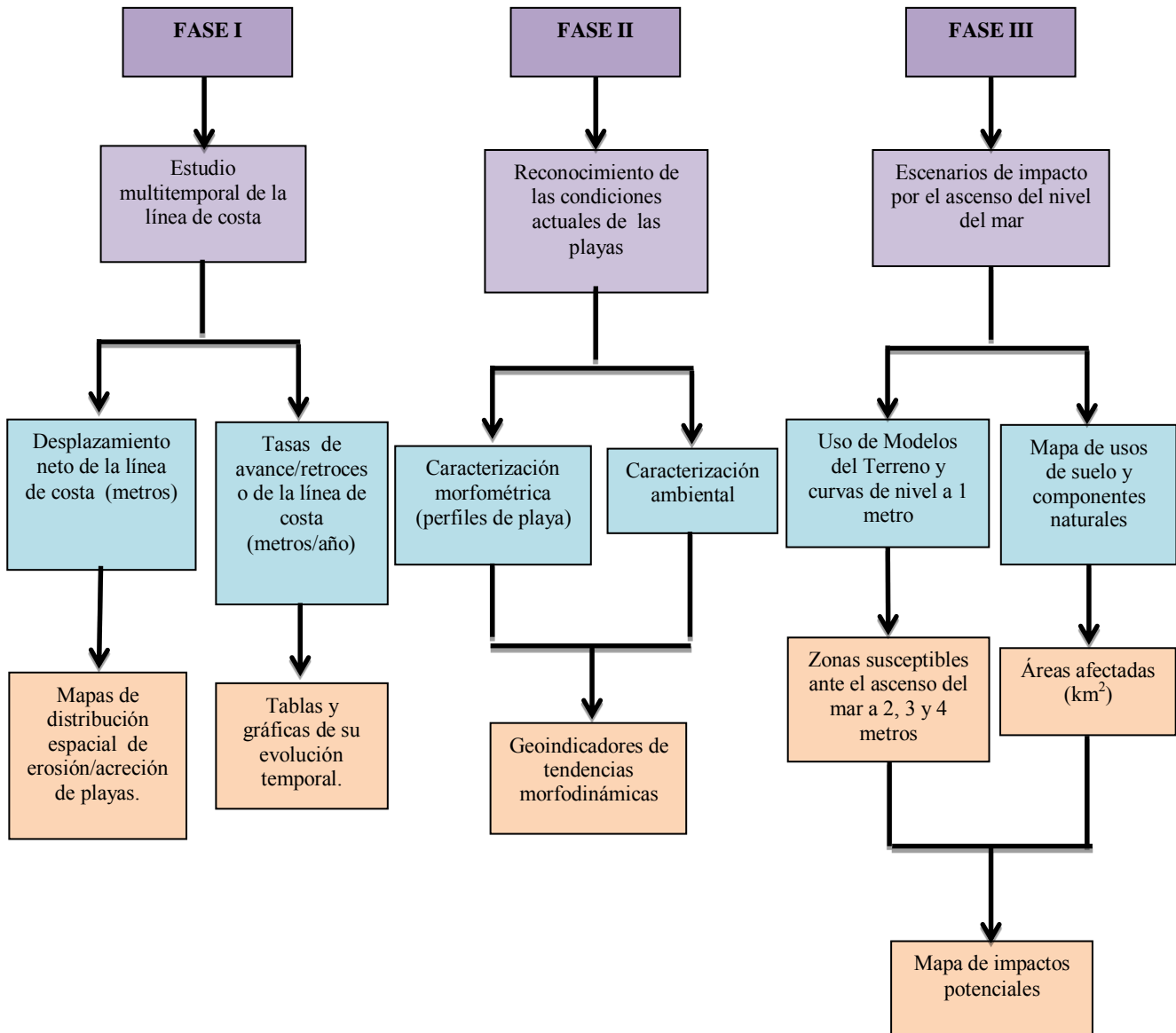


Figura 6. Diagrama de flujo que muestra las etapas de la metodología empleada en el trabajo. Se muestran los objetivos pertenecientes a cada una de estas etapas o fases (morado); los materiales, métodos y datos que fueron usados (azul) para la generación de la información final, representada en tablas, gráficos y mapas (naranja).

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

FASE I:

La comparación espacio-temporal se realizó mediante técnicas de fotointerpretación. Se emplearon fotografías aéreas y ortofotos, descritas en la Tabla 2, que se muestra a continuación.

No.	Tipo de material	Características generales	Fuente
1	Fotografías aéreas estereopares (1951)	10/10/1951 Sin hora Escala aproximada 1:30000 Sin datos de proyección Resolución: Pixel de 10 m. B/N	Acervo de Fundación ICA
2	Fotografías aéreas estereopares (1985)	01/04/1985 Hora 11:45 Tiempo local Escala aproximada 1:30000 Sin datos de proyección Resolución: Pixel de 2.5 m. B/N	Acervo personal Ing. José Arturo Montiel
3	Ortofotos (1995)	01/02/1995 sin hora Escala 1:20000 Proyección UTM Zona 14, Datum ITRF 92 Resolución: Pixel de 2m. B/N	INEGI
4	Ortofotos (2007)	01/03/2007 (E14c57 y 67) y 07/2007 (E14C68) Escala 1:10000 Proyección UTM Zona 14, Datum ITRF 92 Resolución: Pixel de 1m. Color	INEGI

Tabla 2. Materiales aerofotográficos y cartográficos utilizados para la obtención histórica de la línea de costa.

La zona de estudio tuvo que dividirse en dos sectores, norte y sur (Fig. 7), ya que el material cartográfico del año 1985 sólo alcanza a cubrir la porción norte. Por lo tanto, para la zona norte, cubriendo un total de 16 kilómetros, se tienen las estaciones de trabajo 1 a la 6 y tres fechas comparativas de línea de costa (1951-1985, 1985-1995 y 1995-2007); mientras que para la zona sur, que abarca los 10 kilómetros restantes y las estaciones 7 a la 12, solo se tiene 2 fechas comparativas (1951-1995 y 1995-2007).

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

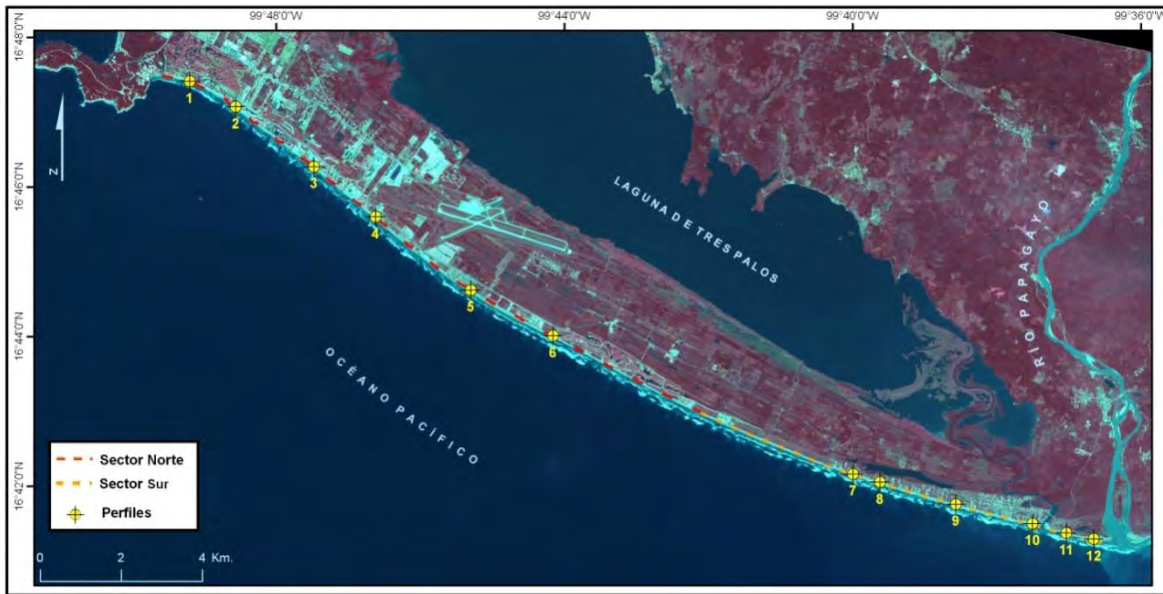


Figura 7. Sectorización de la zona de estudio y localización de las estaciones de medición (Imagen SOPT 5 año 2008).

El trazo y la obtención de la línea de costa, se generaron con base en la línea que delimita la arena seca y la mojada, debido a que el rango de marea es menor a 2 metros y las condiciones de la playa permiten discriminar de manera apropiada este rasgo. Las tasas de cambio se generaron, a partir del empleo de la extensión *Digital Shoreline Analysis System* (D.S.A.S.) montada en el software ArcGis v. 9.3, extensión que permite automatizar el proceso de cálculo de las tasas de cambio.

El cálculo de las tasas se obtuvo con el método de la tasa de punto final (EPR) en transectos espaciados cada 10 metros. Este método (EPR) se empleó con el objetivo de conocer la evolución progresiva en los diferentes periodos de tiempo. Las tablas 3 y 4 sintetizan la información correspondiente a los diferentes tipos de atributos e incertidumbres generadas para cada año y cada periodo comparativo.

Año	Marea	Tamaño de Pixel	Digitalización en pantalla	Incertidumbre (m)
1951	0.68	10	3	±13.68
1985	0.68	5	3	±8.68
1995	0.68	2	3	±5.68
2007	0.68	1	3	±4.68

Tabla 3. Datos que permiten obtener la incertidumbre para cada una de las líneas de costa. Se incluyen algunos elementos empleados en la metodología de Fletcher *et al.* 2003.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

Periodos comparativos	Años	Total de transectos	Incertidumbre total	Incertidumbre anual (m/año)
SECTOR NORTE				
1951-1985	34	1604	22.36	0.65
1985-1995	10	1600	14.36	1.43
1995-2007	12	1599	13	0.79
SECTOR SUR				
1951-1995	44	1034	19.36	0.44
1995-2007	12	1039	13	0.79

Tabla 4. Atributos e incertidumbre para cada periodo comparativo. La incertidumbre total es la suma de la incertidumbre de un par de líneas de costa dos años diferentes. La incertidumbre anual se obtuvo mediante la división de la incertidumbre total entre el número de años, este es el valor más importante para determinar el grado de error con el que se trabaja.

FASE II:

En campo se establecieron estaciones de medición que inicialmente se localizaban en puntos equidistantes entre sí, pero la inaccesibilidad de algunas zonas por la presencia de terrenos privados forzó a que las mediciones se realizaran solo en sitios en donde fuera posible el acceso directo a la playa (ver Fig. 7).

Se obtuvieron perfiles de playa, a partir del cálculo de desniveles, ángulos de inclinación y distancias con el objetivo de conocer las características morfométricas de las playas, así como, para identificar el estado actual de las dunas.

Los criterios usados para establecer los límites extremos de la playa fueron la línea de pleamares, como límite inferior, y el tope de la duna o en caso de que esta no exista, hasta donde inicien las construcciones inmediatas a las playas como límite superior.

En cada estación de trabajo en campo se determinaron las condiciones ambientales para conocer la influencia y las modificaciones que se han generados en las playas. Tomando en cuenta el tipo de asentamientos de cada zona, su densidad, el estrato y tipo de vegetación y, finalmente, la presencia o ausencia del paso de vehículos motorizados.

FASE III:

Finalmente, se elaboró un mapa que revela áreas con potenciales de inundación a alturas de 2, 3 y 4 metros, con base en los materiales de la tabla siguiente.

Materiales	Características generales	Fuente
Modelo Digital del Terreno (LiDAR)	Fecha: 2008 Escala: 1 :10 000 Resolución horizontal: 5 m. Resolución vertical: 1 m. Proyección: UTM Zona 14 Datum: ITRF 92 Datum vertical: NAVD 88	INEGI
Capa vectorial de curvas de Nivel	Obtenidas mediante interpolación de Modelo Digital del Terreno, con cotas generadas cada 1 metro.	INEGI
Capa vectorial de usos de suelo y componentes naturales	Datos generados a partir de fotointerpretación de Ortofotos de INEGI (2007).	Elaboración propia

Tabla 5. Material empleado para el mapa de impactos futuros ante el ascenso del nivel del mar.

Este mapa pertenece solamente al sector norte de la zona de estudio (ver Fig. 7), debido a la cobertura limitada de los insumos cartográficos requeridos para este análisis. Los escenarios de impacto se crearon, a partir de la adaptación del método empleado por Ortíz y Méndez (1999) y Snoussi *et al.* (2007). En donde inicialmente se creó un mapa de los usos de suelo y componentes naturales de la costa mediante fotointerpretación; en segundo lugar se realizó una extracción automática de las curvas de nivel equidistantes a 1 metro, mediante la interpolación de un Modelo Digital del Terreno (MDT) basado en datos LiDAR. Finalmente con base en las condiciones del MDT y de las características geométricas de las curvas de nivel, se establecieron las zonas susceptibles de penetración marina y las posibles áreas de impacto en las diferentes coberturas de suelo en escenarios de aumento del nivel marino a 2, 3 y 4 metros de altitud.

II. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

II.1. Localización geográfica

El sector de playa bajo estudio cubre 26 de los 484 km de litoral del estado de Guerrero, se localiza en el municipio de Acapulco y las playas pertenecen a lo que Flamand (1991) denomina, como las aguas del Pacífico Tropical Mexicano.

La zona está comprendida entre los $16^{\circ} 47' 26''$ y los $16^{\circ} 41' 03''$ de latitud norte, y los $99^{\circ} 49' 32''$ y los $99^{\circ} 36' 33''$, de longitud oeste (Fig. 8). Sus límites físicos son un saliente rocoso conocido como Punta Diamante, al norte, y al sur, la desembocadura del Río Papagayo. Se presenta como una costa secundaria de depositación marina y perteneciente a la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y a la Subprovincia Costas del Sur.

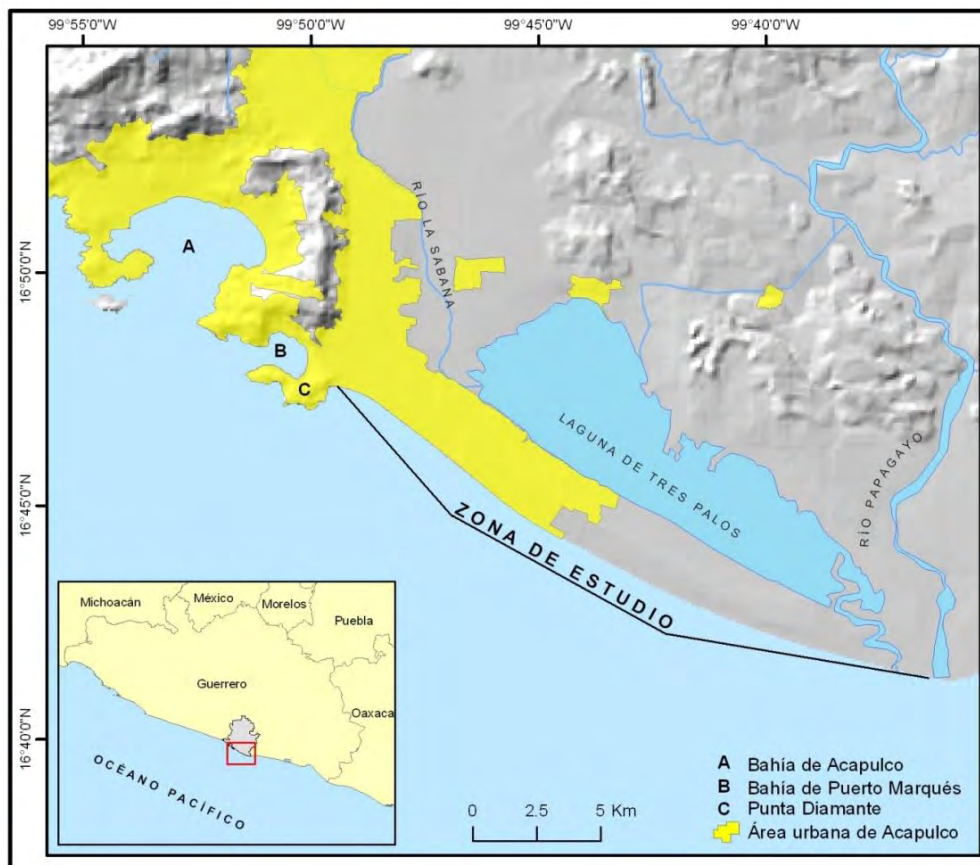


Figura 8. Mapa de la localización de la zona de estudio (fuente: Datos vectoriales INEGI y CONABIO).

II.2. Condiciones y peculiaridades físico-geográficas.

Con base en el marco de regionalización costera, realizada por Ortíz y de la Lanza (2010), la zona es parte de la costa sur-occidental del Pacífico mexicano, que se orienta con un rumbo NW-SE, desde el extremo noroeste de Bahía Banderas, Jalisco, hasta Puerto Ángel, Oaxaca. Tal como lo indican, esta región cuenta con rasgos similares, en cuanto al estilo morfotectónico, tanto en la geomorfología de la línea de costa, de la plataforma continental y el de la trinchera Mesoamericana, asociados a la tectónica de tipo convergente entre la Placa de Cocos y la Norteamericana.

Dentro de las unidades morfotectónicas costeras de México establecidas por Carranza *et al.* (1975), basada en la clasificación tectónica y morfológica costera de Inman y Nordstrom (1971), esta porción corresponde a una costa de colisión continental, presentando extensas áreas montañosas con pequeñas cuencas, muchos ríos y una marcada estacionalidad climática, así como, una llanura costera estrecha interrumpida en algunas zonas por acantilados con pendientes abruptas (Álvarez y Gaytán, 1994).

II.2.1. Constitución geológica y principales estructuras locales

Las condiciones locales están regidas por la diversidad geológica y estructural que presenta la Sierra Madre del Sur. La zona de estudio, se relaciona con el terreno estratigráfico Xolapa, conformado principalmente por rocas metamórficas de diferentes tipos, que a su vez presentan manifestaciones intrusivas, cortando algunas secuencias sedimentarias (Consejo de Recursos Minerales, 1999).

El terreno Xolapa, en la zona de Acapulco, se ubica sobre la vertiente continental de la zona montañosa y en las cimas de la bahía del mismo nombre (Campodónico, 1981), así como en las porciones norte y este de la Laguna de Tres Palos, y está conformado por gneises y esquistos (Hernández y Ortíz, 2005) del Paleógeno (Tpg (?) CM).

Las intrusiones ígneas se aprecian en la vertiente marítima de la Bahía de Acapulco y en gran parte de la porción continental, siendo parte del Batolito de la Costa, presentándose como rocas ácidas de granito-granodiorita (TeoGr-Gd) que, con base en los estudios realizados por el Consejo de Recursos Minerales (1999), datan del Eoceno medio a tardío, 43 y 48 Ma.

Finalmente, se encuentran los depósitos sedimentarios, que Hernández y Ortíz (2005) los denominan como complejos sedimentarios subhorizontales y caóticos. Éstos generalmente se

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

encuentran en las partes más deprimidas del terreno, como en la zona del litoral y las aledañas a los ríos, y son de edad cuaternaria (Fig. 9). Estos depósitos se muestran como aluvión (Qal), acumulado en los valles de los ríos, sí como abanicos y terrazas; y los depósitos litorales (Qli) localizados en las playas y sobre gran parte de la planicie, que forma la barrera asociada a la laguna (Cruz *et al.*, 2000).

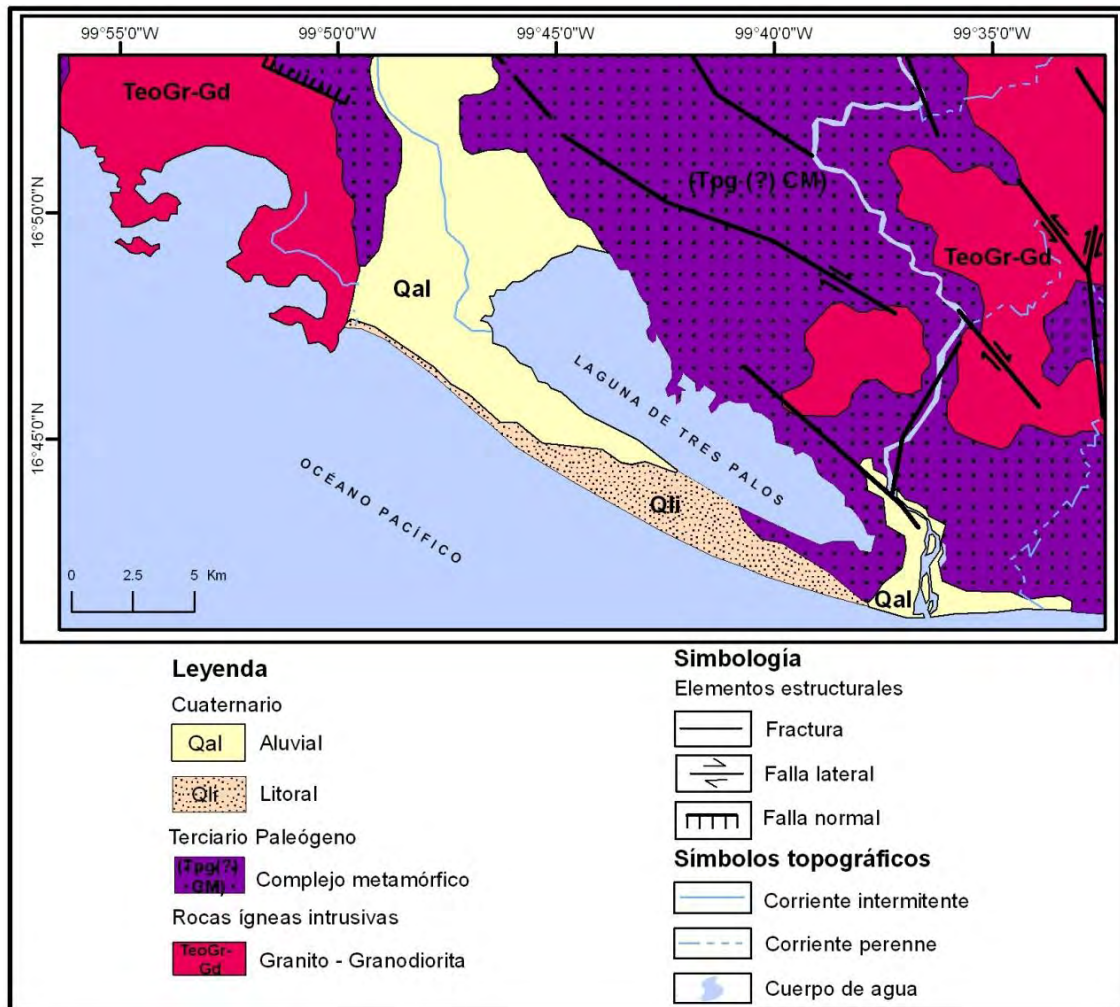


Figura 9. Mapa de constitución geológica y principales estructuras locales (fuente: Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológica minera, Acapulco E14-11. Guerrero y Oaxaca. Escala 1:250 000).

II.2.2. Condiciones geomorfológicas

Las condiciones geomorfológicas locales, se expresan en una serie de llanuras planas originadas por procesos acumulativos, generados principalmente por la acción fluvial y marina del litoral. En el límite occidental de la zona de estudio se presentan lomeríos abrasivo-tectónicos, expresados genéticamente por su modelado marino y atributos de frentes de acantilados abrasivos y nichos

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

abrasivos; sus atributos morfológicos y morfométricos evidencian el control tectónico de su desarrollo moderno.

Las llanuras han sido formadas por la constante depositación de materiales no consolidados, producto de procesos geólogo-geomorfológicos exógenos, durante el Cuaternario (Ortíz y Hernández, 2003), específicamente durante el Holoceno, siendo de carácter poligenético (abrasivas y acumulativas marinas, fluviales y lacuno-palustres. Todas fuertemente antropizadas en los asentamientos humanos y áreas de influencia.

Dentro de los diferentes elementos morfológicos de las llanuras marinas bajas de origen acumulativo, se encuentra una serie paralela de cordones litorales, que muestran el desarrollo, consolidación y evolución de la llanura marina acumulativa durante la segunda parte del Holoceno. Estas geoformas marinas se presentan como zonas muy poco onduladas y con alturas por debajo de los 4 msnm (Fig. 10).



Figura 10. Fotografía de la llanura marina acumulativa. Se observa de la serie de cordones litorales paralelos a la línea de costa. Del lado derecho, se observa el Océano Pacífico y, del lado izquierdo, la Laguna de Tres Palos (Ortíz y Hernández, 2003).

En los estados de Sinaloa y Nayarit, al norte, Curray *et al.*, (1964, 1969) los dataron con una edad estimada entre 3 600 y 4 750 años, es decir, entre el Holoceno temprano y tardío. En el estado de Jalisco, en la denominada Costa Alegre, estos cordones litorales se despliegan en el litoral entre la desembocadura del Río Marabasco y Barra de Navidad y fueron considerados de la misma edad (Méndez *et al.*, 2007), y presentan valores morfométricos similares a los de la zona de estudio.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

Los campos de dunas actualmente son escasos, pequeños en extensión y aislados, en su gran mayoría con morfologías alteradas producto de las actividades antrópicas. Finalmente las playas, con sus respectivas bermas se presentan muy heterogéneas en cuanto a extensión y anchura, y a sus elementos morfométricos, siendo angostas y con bermas pocas o no desarrolladas en zonas con asentamientos.

En lo que respecta al límite Oriental, se encuentra la desembocadura del río Papagayo (Fig. 11), que se presenta como un frente deltaico relativamente pequeño, dominado por la acción del oleaje. En su zona baja y frontal, se pueden observar una serie de campos de dunas bien preservados y sus respectivas playas.



Figura 11. Fotografía de la desembocadura del río Papagayo. Se muestra la carga y dirección que siguen los sedimentos al llegar al medio marino. En la porción izquierda, se distinguen claramente las playas bajo estudio y los campos dunares (Ortiz y Hernández, 2003).

A continuación (Fig. 12) se muestra el arreglo espacial de los diferentes tipos de relieve y las formas asociadas a cada uno de ellos.

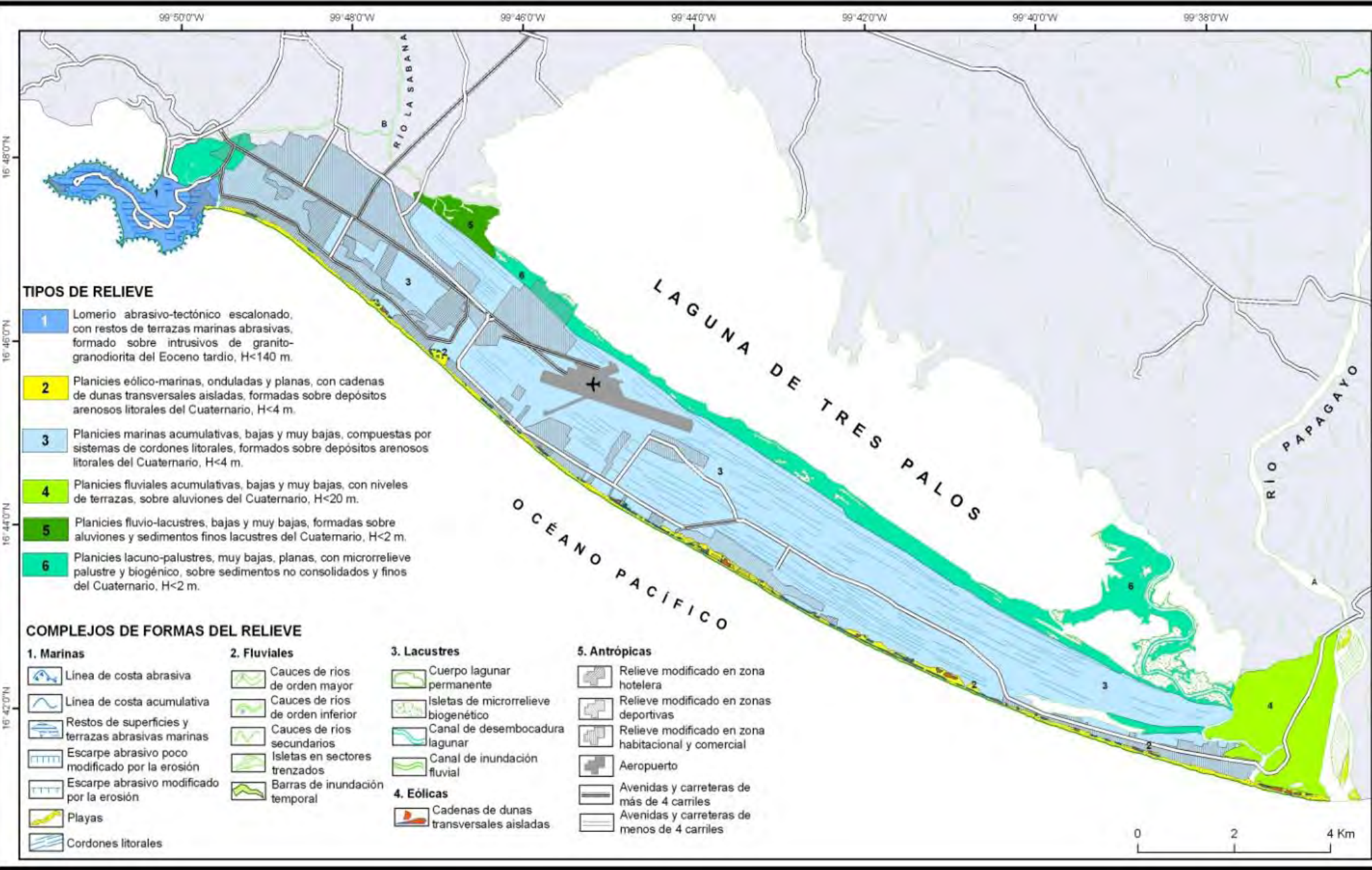


Figura 12. Mapa Morfogenético de la zona de estudio. Elaboración propia con base en Ortofotos INEGI 1:10000, 2007 e imagen satelital SPOT5 año 2008.

II.2.3. Características climáticas

El tipo de clima de las costas bajas y de toda la franja litoral de estudio es el Aw₀ (w)iw^{''}. Es decir es un clima cálido subhúmedo de baja humedad, con régimen pluviométrico de verano que presenta canícula y con condiciones isotermas. Uno de los elementos característicos de este clima es que muestran por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo, que en el mes más seco (García, 2004). Esto se traduce en una temporada de inestabilidad atmosférica, capaz de alterar la dinámica evolutiva de las playas por las variaciones que sufre el sistema costero, esto se ejemplifica con la temporada de huracanes del Pacífico.

II.2.3.1. Temperaturas

La temperatura media anual es de 26.9°C, las características isotermas son resultado de la diferencia de 2.6°C entre el mes más frío y el más caliente (García, 2004), esto debido a que la región está aislada de los vientos fríos del norte (Vidal, 2005). Las temperaturas máximas durante todo el año superan los 30°C, el mes con la temperatura más elevada se registra entre junio y agosto; y las mínimas que no descienden más allá de los 20°C se presentan generalmente en enero y febrero (fig. 13).

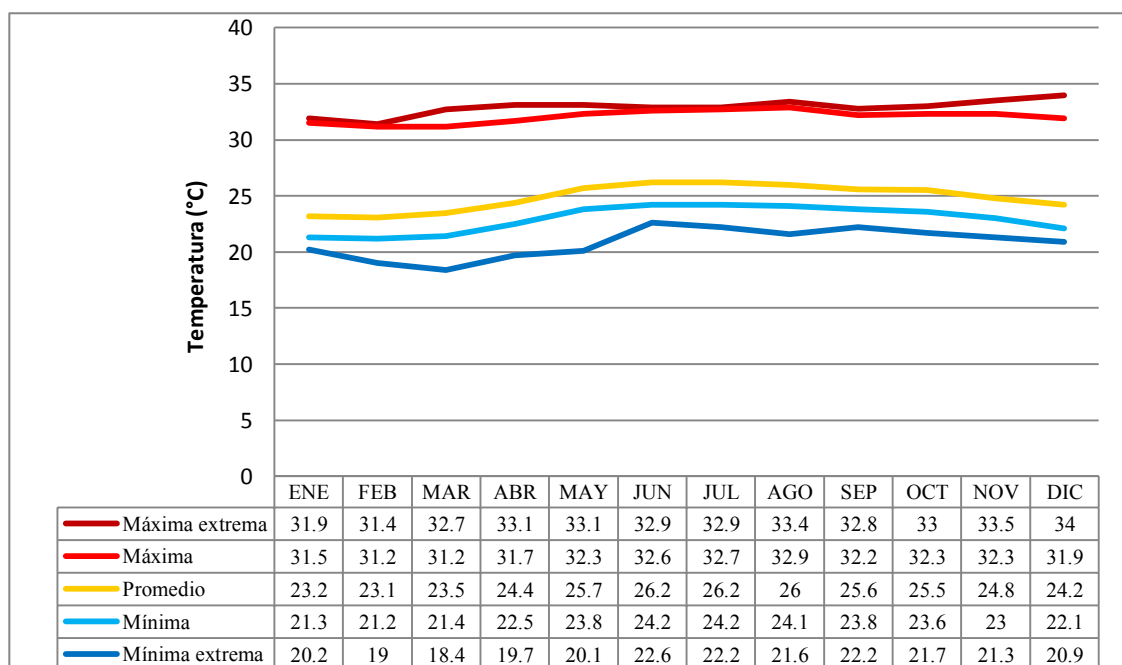


Figura 13. Temperaturas promedio y extremas (1981-2010). Fuente: Estación climatológica (12223) “Laguna 3 Palos, Acapulco” Servicio Meteorológico Nacional.

II.2.3.2. Régimen de vientos

Generalmente los vientos soplan del mar al continente, debido a la presencia de centros de baja presión, que se forman sobre la parte continental (Vidal, 2005). Los vientos dominantes provienen principalmente del Oeste y Norte (Fig. 14), ambos con velocidades promedio menores a los 10 m/seg. La dirección predominante de los vientos en combinación con la desecación de las playas, producto de las condiciones de temperatura, y las características granulométricas, han favorecido a la presencia y desarrollo de las dunas.

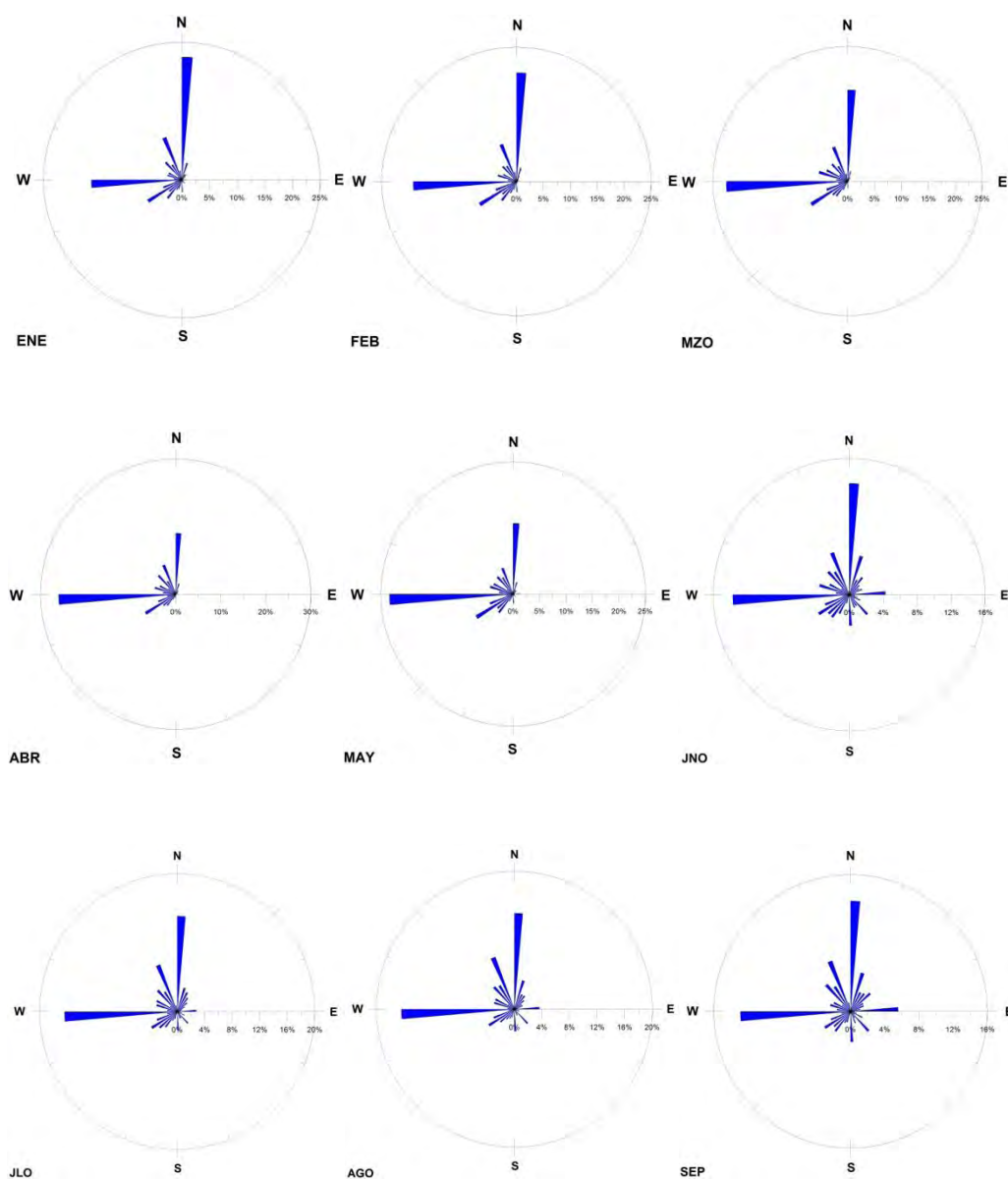
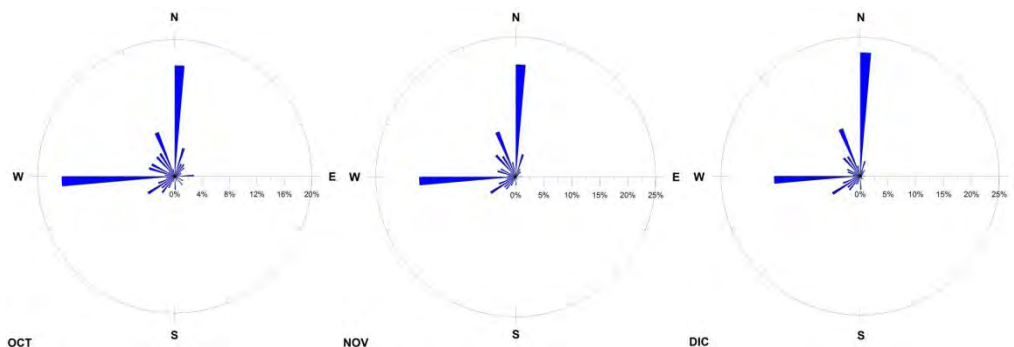


Figura 14. Dirección promedio de vientos dominantes. Fuente: Observatorio sinóptico (76805), Acapulco Guerrero (1990-2010). Servicio Meteorológico Nacional.



Continuación de Figura 14. Dirección promedio de vientos dominantes.

II.2.3.3. Precipitaciones anuales y por periodos climáticos

La zona mantiene régimen de lluvias de verano, con un 5% al 10.2 % del porcentaje del total anual, en el invierno (SEMAR, 1980). Los meses con lluvia normalmente son de junio a septiembre (Fig. 15). La curva de precipitación anual generalmente muestra dos máximos: uno en junio o julio y otro en septiembre, debido a que a fines del verano e inicios del otoño la presencia de los ciclones tropicales, que viajan de este a oeste, próximos al litoral, provocan un aumento en la lluvia (Vidal, 2005). El periodo de lluvias está intercalado por la canícula, representada por la disminución de la precipitación en la mitad más caliente y lluviosa del año. En contraste, la precipitación del mes más seco es entre 0 a 60 mm.

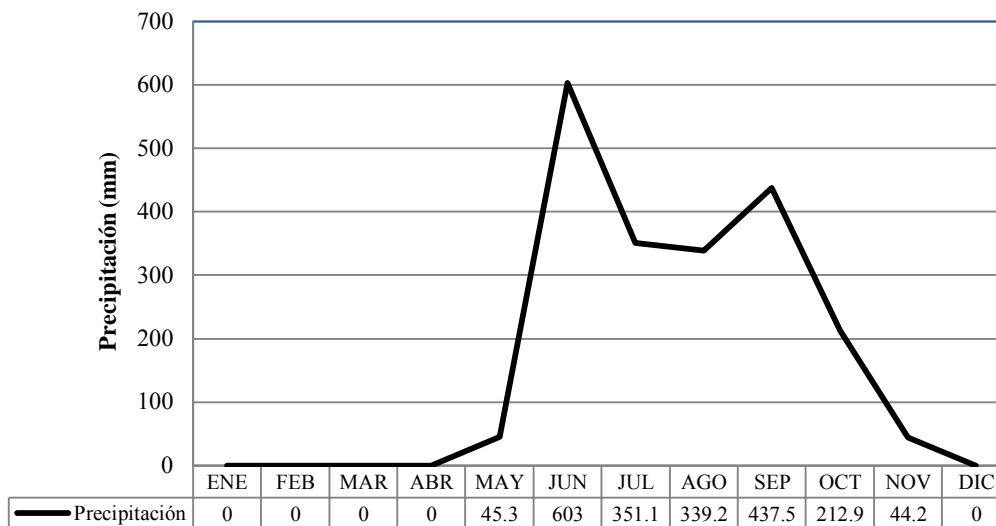


Figura 15. Precipitación promedio anual (1981-2010.) Fuente: Estación climatológica (12223) “Laguna 3 Palos, Acapulco” Servicio meteorológico Nacional.

En cuanto a las condiciones históricas (Fig. 16), se observa que este fenómeno meteorológico presenta características variables en diversos periodos climáticos. El promedio obtenido para esta estación es de 1,327.9 mm y la desviación estándar correspondiente es de 958 mm y 1697 mm.

La dispersión de algunos años puede estar relacionada con las diferentes condiciones interanuales, que presentan las aguas de la “alberca caliente” del Pacífico Mexicano, localizada frente a las costas de Guerrero y Michoacán, así como, a la presencia del Niño, la Niña y otras anomalías térmicas marinas, que han provocado cambios en el clima regional de México y principalmente en estas costas (Trasviña *et al.*, 1999).

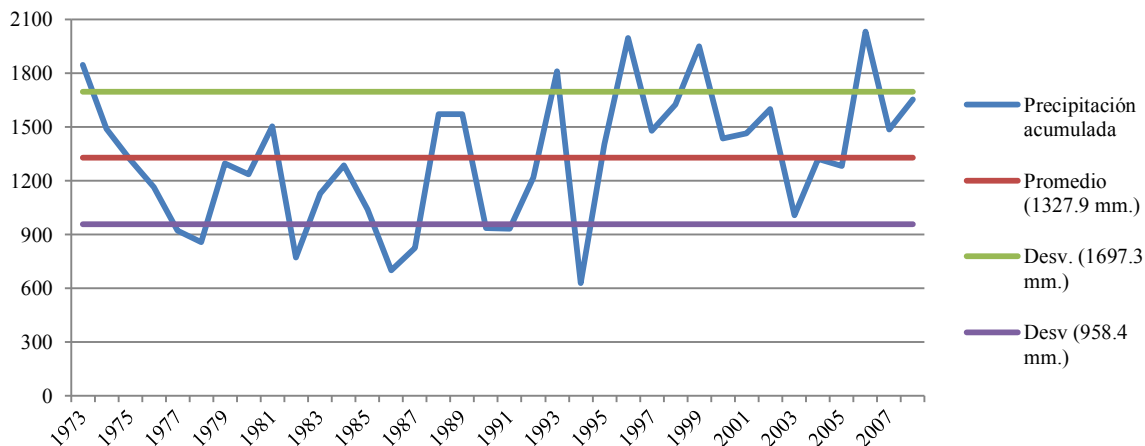


Figura 16. Precipitación histórica en la costa de Acapulco. Fuente: Estación climatológica (12142) “Acapulco” (1973-2008), Servicio Meteorológico Nacional.

Los fenómenos de El Niño y La Niña afectan las lluvias de casi todo el país, de manera tal, que en Inviernos de Niño, éstos suelen presentarse más fríos y los veranos son más secos y cálidos (Magaña *et al.*, 1999), mientras que La Niña presenta atributos inversos a los mencionados. Con base en la gráfica histórica y en la información obtenida del Centro de Predicción Climática (C.P.C) de la N.O.A.A., los años con menor precipitación anual extrema coinciden con un aumento de la temperatura oceánica, que para el caso de Acapulco, el máximo alcanzado durante un Niño extremo se registra como +0.8°C por encima del promedio; mientras que los años con mayor cantidad de precipitación extrema generalmente responden a episodios de La Niña, con condiciones de temperatura que alcanzaron hasta -0.5°C de lo normal (Trasviña *et al.*, 1999).

Uno de los elementos sobresalientes de la gráfica se vincula a un aumento progresivo de la precipitación acumulada de cada año, mostrando así, cada vez valores mas extremos que pudieran ser un factor determinante en la dinámica costera de la zona de estudio ya sea por aportaciones sedimentarias por parte de los ríos o por procesos erosivos debido a la marea de tormenta.

II.2.3.4. Cronología de Ciclones tropicales en el Pacífico y sus afectaciones litorales

El Pacífico mexicano se liga a la presencia de ciclones tropicales que han afectado, de manera considerable, a las costas de toda la región. La temporada de estos fenómenos en el Pacífico inicia el 15 de mayo y termina el 30 de noviembre, y los meses que presentan mayor número son julio, agosto y septiembre (Rosengaus *et al.*, 2002). Guerrero, de 1961 a 2007, alcanzó el 5.09% del total de contacto con este tipo de fenómenos atmosféricos (Hernández y Valdéz, 2004). Con base en Matías (1998), Hernández y Valdéz (2004), los datos del Centro Nacional de Huracanes (N.H.C.) de la NOAA y del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.); la cronología de los Ciclones Tropicales (Tabla 6) desde la segunda mitad del Siglo XX a la fecha, cercanos a las costas de Acapulco, que cuentan con algunos datos registrados en sus bases de datos es la siguiente:

Nombre	Fecha	Categoría alcanzada cerca de la costa de Acapulco	Distancia más cercana del centro del meteoro a la costa (km)	Presión mínima (mb)	Vientos máximos (km/h)	Precipitación máxima (mm)
Wally	17-18/06/1965	T.T.	35 S	---	45	---
Bridget	06/1971	H.1	13 S	---	45	---
Claudia	27-29/06/1974	T.T.	23SW	101.75	55	10.3
Dolores	14-17/06/1974	H.1.	62 E	100.95	110	220
Orlene	21/09/1974	T.T	38S	---	40	---
Cosme	06/1989	H.1	65 E	979	75	---
Boris	17/06-1/07/1996	H.1	600 E	979	80	
Paulina	5-10/08/1997	H.1	28 N	973	165	411.2
Carlos	27/06/2003	D.T.	4 E	1005	25	---
Lester	11-13/10/2004	T.T.	30 SW	1000	90	106.5
Dora	4-6/07/2005	T.T.	49 SW	1002	65	166
Hillary	21-30/09/2011	H.4.	> 1,000 SE	959	105	---
Manuel	13-19/09/2013	T.T.	> 200 W	987	65	795

Tabla 6. Cronología de ciclones tropicales cercanos a las costas de Acapulco. D.T. Depresión tropical; T.T. Tormenta tropical; H. Huracán categoría 1, 2, 3, 4 o 5. Fuentes: Matías (1998), datos del NHC NOAA y del SMN sitio Web.

El registro de estos fenómenos meteorológicos existe desde hace más de medio siglo, pero gran parte de ellos no cuenta con la información necesaria que permita conocer cómo y de qué forma impactaron a las costas de la zona bajo estudio.

Los meteoros de mayor intensidad han sido Claudia (1973), Dolores (1974), Paulina (1997) y Manuel (2013). Las afectaciones desencadenadas a partir de las condiciones pluviales se relacionan con el desbordamiento e inundaciones por parte de los ríos Papagayo y Sabana. El huracán Paulina y la Tormenta Tropical Manuel se han considerado como los más importantes del siglo que afectaron las costas de Guerrero.

Paulina tuvo su origen el 5 de octubre al sur de la Bahía de Huatulco, Oaxaca, iniciando como la depresión Tropical N° 18, su trayectoria fue Nor-noreste (Fig. 17) hasta alcanzar la categoría de huracán 4, en la escala Saffir-Simpson, en este estado. De manera gradual, la intensidad en escala fue descendiendo hasta alcanzar la categoría 1, entrando así la madrugada del día 9 al municipio de Acapulco. Ahí se alcanzaron vientos máximos sostenidos de 165 km/h y rachas de hasta 200 km/h.



Figura 17. Trayectoria que siguió el Huracán Paulina.
Fuente: CONABIO sitio web.

El efecto de la orografía generó intensas lluvias en la bahía las cuales alcanzaron hasta los 411.2 mm en tan solo 24 horas. Los vientos fuertes y la marea de tormenta no fueron tan significativos en comparación con los daños producidos por la precipitación (Matías, 1998), sin embargo, las playas sufrieron destrozos en el equipamiento y servicios públicos (Fig. 18), como resultado de las inundaciones costeras, que trajeron consigo la erosión de las playas.



Figura 18. Daños costeros del Huracán Paulina (Gutiérrez y García, 1997). Se observa el potencial erosivo y los daños a la infraestructura turística debido al oleaje intenso.

El fenómeno más reciente, Tormenta Tropical Manuel, afectó de manera directa la costa de Acapulco entre los días 14 y 15 de septiembre de 2013 (Fig. 19). El registro de precipitación acumulada, alcanzó un valor máximo de 6,537 mm³ en tan solo 4 días, según registros de la CONAGUA. Este valor fue resultado del desarrollo del Huracán Ingrid en el Golfo de México durante la misma fecha en la que Manuel se desarrollaba en el Pacífico.



Figura 19. Doble impacto del huracán Manuel en el Pacífico e Ingrid en el Golfo de México. Fuente: CONAGUA sitio web.

Los daños más severos tras el paso de Manuel, se ligan a inundaciones en las zonas más bajas y deprimidas de Acapulco, provocadas tras el desbordamiento de los principales ríos de la zona, La Sabana y Papagayo así como de la laguna de Puerto Marqués. Los reportes emitidos por

Protección Civil de Guerrero, indican que la zona más afectada fue la de Acapulco Diamante con 15 de las 17 colonias totalmente inundadas, así como el aeropuerto internacional; además de registrar una suma de más de 20 muertes en tan solo 3 días en este municipio (Reyes, 2013).

Las inundaciones cercanas a la zona de estudio (Fig. 20), en gran medida fueron favorecidas por un conjunto de elementos naturales y antrópicos que prevalecen en esta zona. La configuración geomorfológica de la planicie costera conformada por una serie de cordones litorales demuestra el potencial que tienen estas formas para facilitar la distribución del drenaje de forma paralela a la línea de costa (Fig. 20B). Esto demuestra la importancia que representa el conocimiento del arreglo espacial del relieve costero ante inundaciones provocadas el ascenso del nivel marino o por fenómenos temporales como los huracanes.



Figura 20. Zonas inundadas en Acapulco Diamante tras el paso de la Tormenta Tropical Manuel: A) Desembocadura de la Laguna de Puerto Marqués, B) Río la Sabana y Laguna de Tres Palos, C) Campos de golf inundados. Fuentes: A) Revista Presencia sitio web, B y C) CNN.

Las playas de esta zona sufrieron el embate ante el paso de la Tormenta Tropical de una forma muy peculiar. La erosión fue clara y se muestra en algunas imágenes con perfiles de playa suavizados e infraestructura turística afectada. La fuerza de los ríos favoreció al acarreo de una gran cantidad de escombros por tormenta hacia la costa, principalmente de troncos y basura (Fig. 21). Los escombros fueron redistribuidos sobre la parte alta de las playas por las condiciones del oleaje, mostrándose muy abundantes en las playas bajo estudio.



Figura 21. Playas afectadas tras el paso de la Tormenta Manuel en Acapulco Diamante. (Reyes, 2013). La fotografía fue tomada desde el poblado Alfredo V. Bonfil, y se muestra una gran cantidad de escombros acarreados a la costa por los ríos; y que fueron distribuidos y depositados en las playas por el oleaje, afectando así de manera contundente a las playas y la infraestructura turística.

II.2.4. Esguerrimiento superficial: Papel del Río Papagayo

El estado de Guerrero se encuentra en la Región Hidrológica Administrativa (RHA) V Pacífico Sur y cuenta con 3 de las 37 regiones hidrológicas de la República Mexicana, de las cuales en el municipio de Acapulco se encuentran 2: la región N° 19 Costa Grande de Guerrero y la N° 20 Costa Chica de Guerrero. Dentro de estas dos regiones la que mantiene más influencia sobre la zona de estudio es la región de la Costa Chica, ya que en ésta se localiza el Río Papagayo, principal fuente de sedimento de las playas locales.

La superficie o área de la cuenca es de 7,410 km², en donde la elevación de origen se localiza en los 3 000 msnm, ocupando un 11.09% de la superficie estatal (Fig. 22). La longitud total del río es de 140 km y alcanza un orden máximo de 6. En cuanto a sus características hidrométricas, se sabe que el volumen medio en época de secas es de 771,330.1 m³, mientras que en época de lluvias su volumen asciende a 3'155,577.0 m³, teniendo un porcentaje de variación (secas/lluvias) de -76 (CONAGUA, 2011 y SEPLAP, 1985).

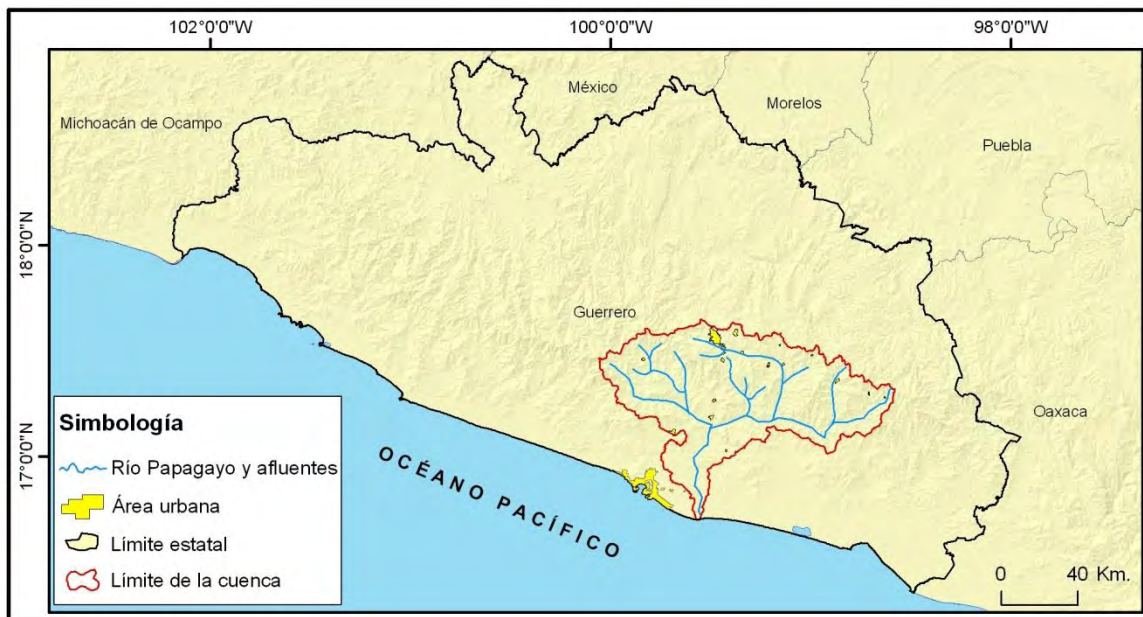


Figura 22. Mapa de localización de la cuenca del Río Papagayo. Fuentes: INEGI, INE y CONAGUA, 2007; Mapa de cuencas hidrográficas de México. Escala 1:250000; INEGI datos vectoriales división política estatal y localidades urbanas; y Maderey, L. E. y Torres Ruata.

Un atributo importante del Papagayo fue la presencia de la presa “Ambrosio Figueroa-La Venta” que tenía capacidad de almacenamiento de 15.3 millones de metros cúbicos. Esta presa que desde 1965 a 2013 trabajó con fines hidroeléctricos, fue declarada como baja total por parte de la Comisión Federal de Electricidad, después de haber presentado afectaciones en cuatro de sus siete compuertas, tras el paso de la Tormenta Tropical Manuel en septiembre del año 2013 (Martín, 2013).

La CONABIO, en la ficha técnica de diagnóstico de la Región hidrológica prioritaria Río Papagayo-Acapulco, indica que las actividades que han afectado las características del río, se localizan principalmente en la cuenca baja, mediante la contaminación por sedimentos en suspensión, materia orgánica, basura y descargas de aguas urbanas, producto de uso del suelo urbano, agrícola y pecuario, mientras que en la parte de la cuenca alta las condiciones son estables.

II.2.5. Condiciones edáficas

Por las condiciones morfogenéticas marina y aluvial de las planicies y las características climáticas de la región, el tipo de suelo que domina en toda la zona de estudio es Solonchak Gleyco (Zg), de textura gruesa (INIFAP y CONABIO, 1995). Russell (1968) y FitzPatrick

(1980), indican que este tipo de suelos es típico de ambientes áridos y semiáridos, sobre todo en sitios planos o en depresiones donde se pueda acumular el salitre. En este caso la proximidad al mar favorece a la presencia de sales.

Generalmente durante la estación seca el nivel freático puede estar a menos de 3 m de la superficie y en la estación húmeda puede subir hasta la superficie o casi al límite de ésta, como resultado de la relación directa de la zona con el mar y la laguna de Tres Palos. Esto propicia que las sales se presenten en todo o en alguna porción del suelo. Por lo tanto, la cubierta vegetal típica de estos estratos se relaciona con algunas gramíneas, pastizales y plantas halófitas. El empleo agrícola de estos suelos está muy limitado a solo algunas especies resistentes a las sales, como son los cocoteros, o inclusive se puede ampliar dicha gama de plantaciones en suelos que hayan sido tratados por medio de la lixiviación o lavado de los cloruros.

En la porción noroeste, donde comienza el cambio de pendiente a superficies ligeramente onduladas, predomina el tipo de suelo Feozem háplico (Hh). Estos suelos se caracterizan por tener un horizonte A mólico, una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes, sin salinidad elevada. Estos suelos presentan notable fertilidad natural y producen buenas cosechas (FitzPatrick, 1980), esto ha permitido el mayor emplazamiento de la agricultura en toda esa zona

II.2.6. Oleaje, mareas y corrientes

Esta costa, influenciada por las aguas tropicales ecuatoriales del Pacífico, generalmente se distingue por un oleaje de alta energía, del orden de 2 a 3 metros y con períodos de longitud de onda que varían entre los 12 y 15 segundos, como resultado del amplio espacio de la “tirada del viento” (*fetch*) sobre la superficie marina (Flamand, 1991).

Con base en la información del mareógrafo de la estación Acapulco, Guerrero, del Servicio Mareográfico Nacional de la UNAM, la zona presenta el tipo de marea mixta semidiurna y es una costa de tipo micromareal, con un rango de diferencia menor a 2 metros (Tabla 7).

Planos de referencia	Metros (m)
Nivel de pleamar media superior	0.342
Nivel de pleamar media	0.236
Nivel medio del mar	0
Nivel de bajamar media	-0.238
Nivel de bajamar media inferior	-0.306

Tabla 7. Planos de referencia de la estación mareográfica de Acapulco. Fuente: Servicio Mareográfico Nacional, estación Acapulco Guerrero.

Las corrientes dominantes (Fig. 23) se ligan a la corriente de Costa Rica, que en las costas del país adquiere el nombre de corriente mexicana, llega hasta Cabo Corrientes con dirección NW, alcanzando velocidades de hasta 0.5 m/s (Vázquez *et al.*, 1998; Pacheco, 1991). Esto favorece a la variabilidad temporal en el transporte de sedimentos y en consecuencia a la depositación de estos en algunas zonas en ciertas épocas del año.

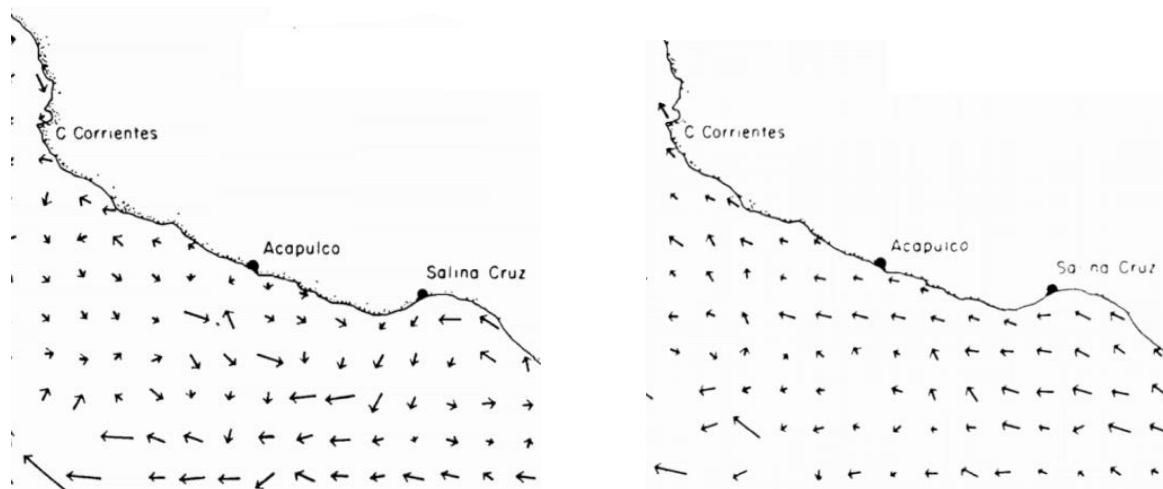


Figura 23. Variaciones anuales de las corrientes de superficie en el Pacífico Oriental, Enero (izquierda) viaja principalmente de Noroeste a Sureste y Julio (derecha) se revierte la dirección y ahora viaja de Sureste a Noroeste (Crommwell y Bennett, 1959).

II.2.7. Tipo de vegetación

Los tipos de vegetación que se observan en la zona de estudio (Fig. 24) son escasos en la actualidad, sin embargo predominan aún zonas de manglar y pastizal halófito. Los primeros se asocian a los humedales de aguas salobres, localizado al sureste de la Laguna de Tres Palos y en la Laguna de Puerto Marqués, al noroeste de la zona de estudio.

Las zonas de pastizal se localizan cerca del litoral en suelos salinos y de dunas costeras. Este tipo de vegetación juega un papel fundamental en la retención de sedimentos de las dunas costeras ya sea ante la acción eólica o de oleaje de tormenta. La colonización y expansión de este estrato permite también el desarrollo de dunas embrionarias en algunos sectores de playa, siempre y cuando la dinámica sedimentaria sea la apropiada para el desarrollo de las mismas.

En la actualidad los pastizales se muestra en zonas aisladas en forma de manchones y muy degradado por la actividad humana en la zona hotelera, incluso ha sido sustituida por palmares y pasto ornamental. Sin embargo en zonas cercanas al Río Papagayo su abundancia se vuelve mayor debido a la ausencia de infraestructura urbana.

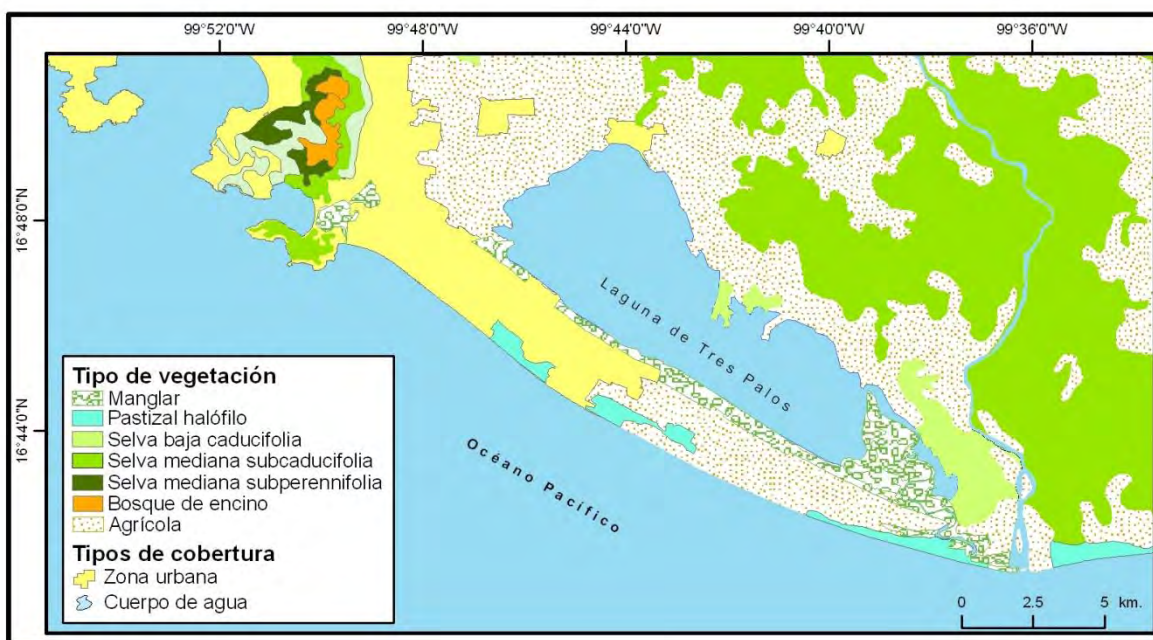


Figura 24. Mapa de vegetación. Fuente: INEGI, 2005. Datos vectoriales de vegetación Serie III. Escala 1:250 000).

II.2.8. Uso de suelo urbano

Las características del suelo urbano se relacionan principalmente con las actividades turísticas, mediante zonas hoteleras localizadas cerca o sobre las playas y en zonas dispersas de residencias turísticas, intercaladas con algunas que son habitacionales. Este tipo de infraestructura se presenta como complejos de grandes extensiones, que cuentan con terrenos que ofrecen, además, otro tipo de actividades recreativas, como lo son los campos de golf.

Por otro lado, las zonas comerciales y de servicios turísticos, se encuentran en menor escala y se localizan intercaladas con las residenciales, para el caso de ambas, y muy cercanas a las

playas o sobre ellas únicamente para las segundas. Las zonas de servicios se emplazan como construcciones de menores dimensiones en comparación con las residencias y hoteles, se aprecian como palapas enfocadas a servicios gastronómicos principalmente (Fig. 25). Cabe resaltar que el uso de suelo urbano sigue en expansión, sobre todo en las zonas cercanas al litoral, debido a la venta de terrenos y a las construcciones que se están realizando sobre algunas porciones, que se encuentran sin algún uso aparente.

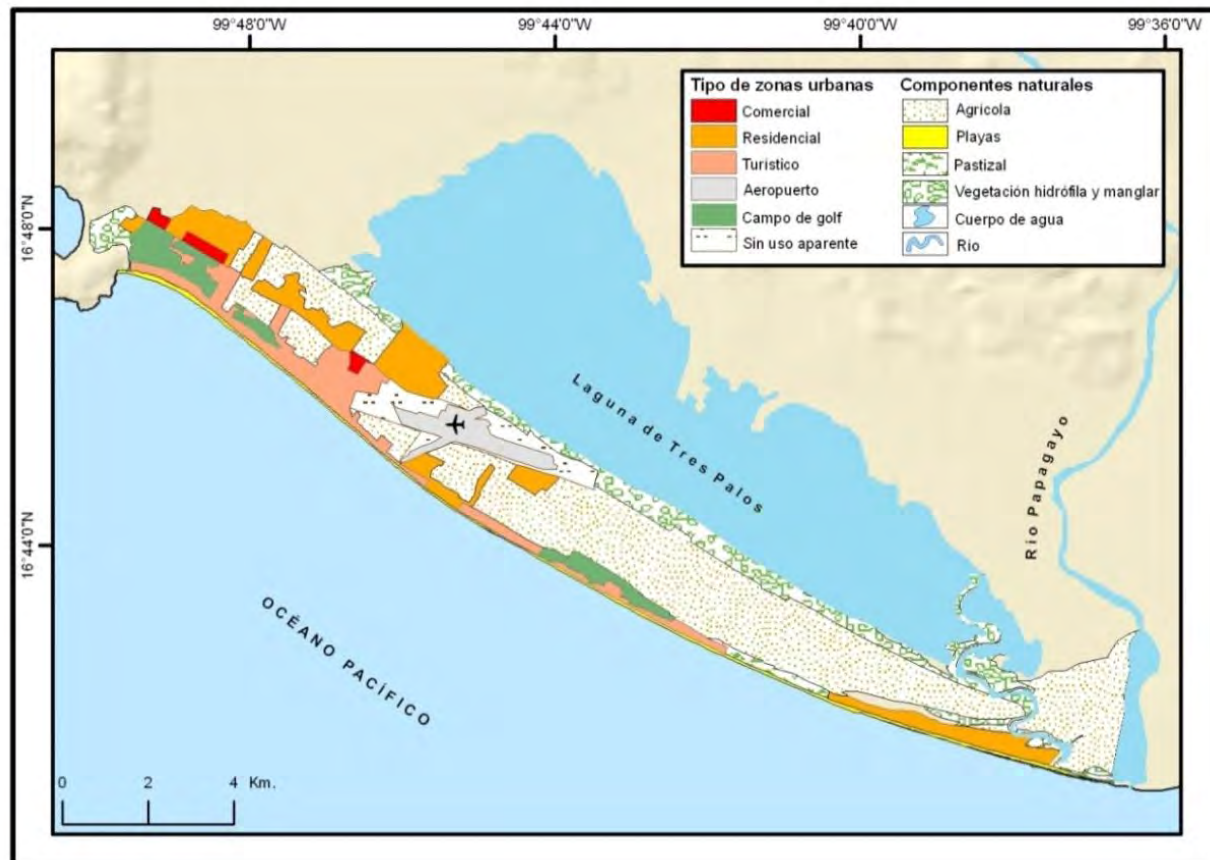


Figura 25. Mapa de uso de suelo urbano. Elaboración propia con base en Ortofotos de INEGI 1:40000, julio de 2007, imágenes de Google Earth de 2009 y con información obtenida en campo.

II.3. Panorama socioeconómico

Bajo la consideración de que la zona de estudio presenta un gran desarrollo turístico, se vuelve importante caracterizar el factor socioeconómico debido a la presión que se ha venido ejerciendo y al alto grado de dependencia que tiene la población y la economía local en el entorno costero y específicamente de las playas.

II.3.1. Desarrollo del turismo y de la recreación

Acapulco cuenta con una larga historia como puerto, que se remonta a la época de la colonia, con la expedición marina de la costa del Pacífico rumbo al norte, efectuada por los españoles en el año de 1532 (Alessio, 1932; Campodónico, 1981). Con esta ruta, conocida como el “camino a Asia”, que conectaba al centro del territorio mexicano con el Pacífico, el arribo de personas a Acapulco se generaba en escala modesta y con intereses comerciales, que con el paso de los años y con el aumento en la apreciación del entorno costero, los intereses se revocaron gradualmente a la actividad turística y recreativa. La evolución histórica del turismo y la recreación en Acapulco puede dividirse en tres etapas: Acapulco tradicional (décadas de 1920 a 1950), Acapulco Dorado (décadas de 1960 a 1990) y Acapulco Diamante (a partir de la década de 1990).

El Acapulco tradicional nace después de los procesos históricos que se presentaron en el país a inicios del siglo XX, su inicio como destino turístico data de la década de 1920, como resultado de la construcción de la carretera promovida por los gobiernos de Obregón (1920-1924) y Calles (1924-1928). Esto trajo consigo el aumento en los flujos de visitantes de la Ciudad de México hacia el puerto, en una escala considerable (Ruiz, 1992). Es en 1932, cuando se inicia la faceta turística como tal, con la inauguración del balneario Los Hornos en el área de Caleta y Caletilla, y también con el inicio del servicio aéreo a escala pequeña (Servín, 1998), sobre el campo de aterrizaje primitivo de Pie de la Cuesta.

Uno de los principales factores detonantes en el aumento del turismo en esta fase de desarrollo fue la 2^o guerra mundial, que influyó en el arribo de los norteamericanos en Acapulco mediante la apertura de vuelos directos desde las principales ciudades de ese país. Para la década de los 40's ya se contaba con algunos servicios urbanos de agua potable, alcantarillado, algunas avenidas, la termoeléctrica de Vista Alegre y alumbrado público (Barbosa y Santamaría, 2005). Para la década de 1950, se alcanzó el máximo esplendor en el puerto, en el área que hoy se conoce como Acapulco tradicional, la cual se caracteriza por hoteles para clases medias y por la falta de equipamiento de recreación (Ruiz, 1992).

La segunda fase turística, el “Acapulco Dorado”, se relaciona con la inauguración del aeropuerto “Los Amates”, localizado al sur de la laguna de Tres Palos, en junio de 1966. Tras la inauguración se logró la expansión turística al sureste de la bahía, desde el Parque Papagayo

hasta la base naval. Esta expansión prácticamente canceló la inversión en el Acapulco tradicional y se logró la construcción de torres hoteleras, conjuntos condominales, equipamiento de recreación, numerosos comercios turísticos, así como la avenida costera “Miguel Alemán” (Ruíz, 1992).

Con la apertura del nuevo aeropuerto, se buscó fomentar el arribo de visitantes de altos ingresos, pero los resultados fueron inversos, debido a la falta de capacidad de alojamiento de primera clase, la gran concurrencia de turistas nacionales e internacionales, el aumento desmedido de la población, atraída por la oferta de trabajo, la carencia de servicios urbanos de calidad y el deterioro ambiental cada vez mayor, debido a la falta de planeación. Por lo que Barbosa y Santamaría (2005) denominan la etapa de estancamiento o declive, a partir de 1976.

Finalmente, Ruíz (1992) indica que la tercera fase turística se lleva a cabo en la década de 1990, con la apertura a la inversión en zonas, donde la oferta de tierra para la expansión turística aún existía y esto fue desde la Avenida Escénica cercana a Puerto Marqués hasta los rumbos de Barra Vieja. Esta zona nombrada “Acapulco Diamante” surge de igual manera, sin algún instrumento de planeación y, al mismo tiempo, en el que el gobierno de Salinas (1988-1994) crea la iniciativa, junto con el gobierno de Guerrero, para la construcción de la autopista de cuatro carriles Cuernavaca - Acapulco, con la finalidad de convertir al puerto en un destino de fin de semana y, además, estimular la tercera etapa del Acapulco del siglo XXI.

II.3.2. Características demográficas y sociales

Las características demográficas del municipio de Acapulco han denotado cambios importantes desde la segunda mitad del siglo XX, como resultado de la evolución turística (Fig. 26). La cabecera municipal, localizada en la costa, es la que ha presentado un mayor dinamismo en comparación con las otras localidades, debido a que posee cerca del 85% (673,400 habitantes) de la población total del municipio (789,971 habitantes). La cantidad de nacimientos y defunciones registradas por INEGI (2011) fue de 18,482 y 4,157 respectivamente, lo que da un total de 14,325 como la tasa de crecimiento natural del municipio.

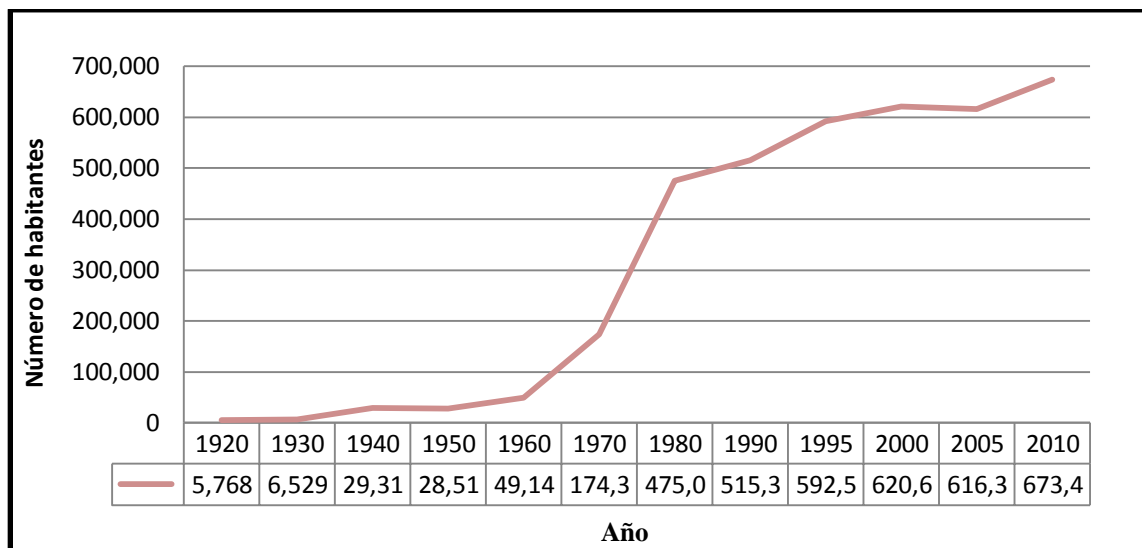


Figura 26. Crecimiento histórico de la población en el municipio de Acapulco. Fuente: Campodónico, 1981, INEGI, Censo de población y vivienda, varios años.

Del total de la población municipal, 405,499 habitantes (51.6%) se encuentran en condiciones de pobreza, de los cuales 107,048 (16%) están en el rango de pobreza extrema y son 298,451 (38%) los que están en pobreza moderada. Las condiciones actuales de pobreza son el resultado del aumento exponencial de la población, que debido a la urbanización continua del puerto, los desplazamientos migratorios (campo-ciudad) provocaron un déficit en cuanto a la oferta de empleos, principalmente, en el sector turístico que fue el principal factor de atracción.

En la actualidad el INEGI (2011) indica que el total de la Población Económicamente Activa (PEA) es de 323,429 habitantes, de los cuales el 55.2% se encuentra en el sector servicios. Este sector tiene una relación directa a la actividad turística ya sea por medio de los servicios hoteleros, de transporte o de algún otro tipo.

Reconociendo las características de pobreza y de la de la población empleada principalmente en actividades relacionadas con el turismo, se tiene así un panorama general de cómo esta se vería afectada ante fenómenos como la erosión costera y el aumento del nivel del mar, teniendo en cuenta el grado de exposición que tiene este sector ante tales amenazas.

II.3.4. Actividades económicas

Con base en INEGI (2011), los sectores económicos más importantes de Acapulco son el primario y el terciario. El primero abarca 42,185 ha dedicadas a la agricultura, de las cuales el 95.8% es de temporal y el restante de riego. Según SAGARPA (2001), los principales productos

que se cultivan son el melón, sorgo forrajero, maíz grano, sandía, jitomate, frijol, sorgo grano, Jamaica, tomate verde, calabaza, mango, limón, plátano, café cereza y el cocotero. Este último el más importante de la zona ya que se desarrolla en suelos salinos, principalmente de zonas costeras.

El sector terciario es el más importante del municipio y se vincula principalmente a la actividad turística. Los principales atributos de esta actividad, se observan con una serie de servicios que incluye el transporte terrestre y aéreo, como lo es el aeropuerto de “Plan de los Amates”; los 548 kilómetros de carretera y los 69 km de carretera federal de cuota. Con respecto a los servicios de hospedaje, en el año 2010 estaban registrados 245 hoteles que llegaron a albergar a un total de 4,890,456 turistas en ese año, de los cuales el 97% eran residentes en el país y el restante provenía del extranjero. Posicionándose como el segundo destino turístico más visitado del país (INEGI, 2011).

III. MORFODINÁMICA COSTERA Y ASCENSO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR: IMPACTOS POTENCIALES

Con base en la sectorización de la zona (ver Fig. 7), previamente descrita en el marco metodológico, las tendencias morfodinámicas registradas se sintetizan de la siguiente manera.

III.1. Sector Norte

III.1.1. Variaciones y tendencias de la línea de costa (1951-2007)

Las playas del sector norte se caracterizan por contar con un mayor desarrollo urbano, debido a la alta densidad de complejos hoteleros que han favorecido a las modificaciones morfológicas y ambientales de toda su zona costera. Dicha influencia, aparentemente, justifica las diferencias espacio-temporales de avance y retroceso de la línea de costa en este sector.

En el período inicial 1951-1985, las tendencias en todo el sector de playa se mostraron con pocas variaciones espaciales, que indican cierta estabilidad, dada por un avance “rítmico” y homogéneo de la línea de costa. Los valores máximos se aprecian en las porciones cercanas a la estación de trabajo 6 en donde actualmente se localiza el Club de Golf Tres Vidas (Fig. 27). Se obtuvo un valor de desplazamiento máximo de alrededor de 100 metros hacia la parte marina, lo que se entiende como un proceso de acumulación constante de sedimentos a lo largo de esta porción del litoral. En cuanto a sus velocidades de avance, éstas van desde los 0.76 hasta los 3.35 m/a, con un valor medio de 1.86 m/a (Fig. 28).

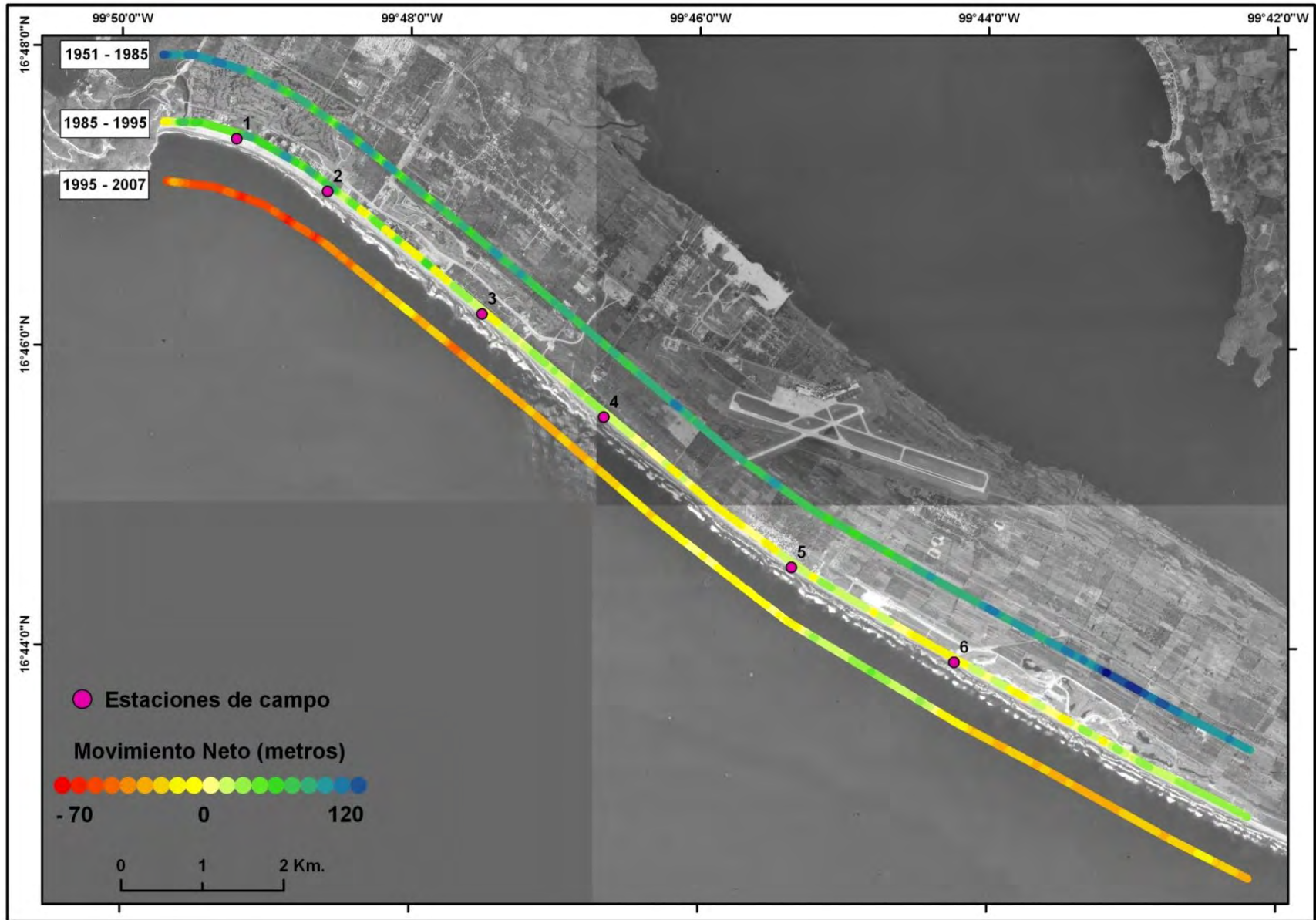
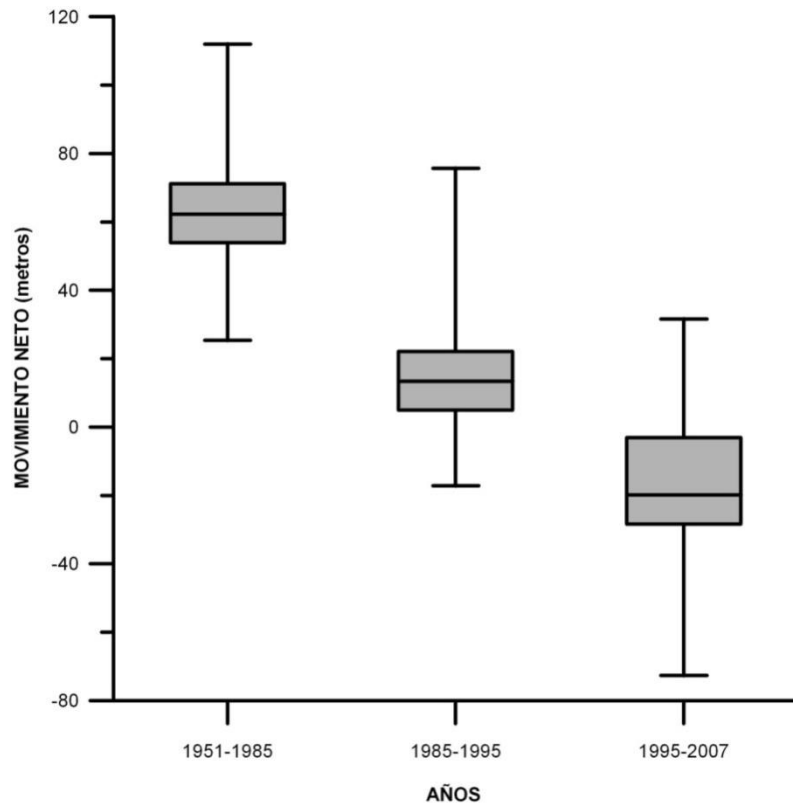
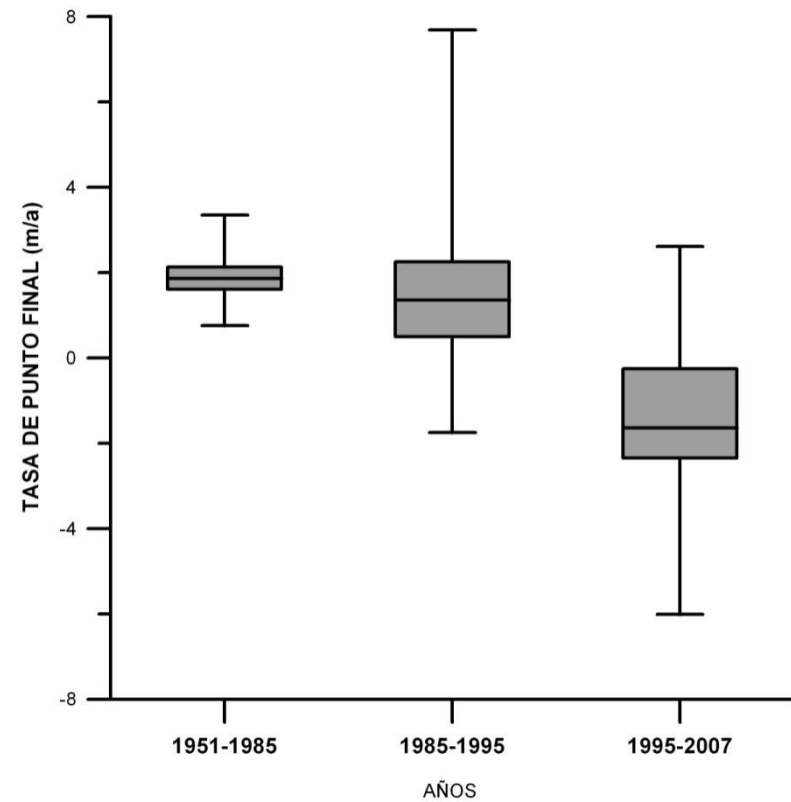


Figura 27. Mapa de variaciones espacio-temporales de la línea de costa norte. Cada línea representa uno de los tres periodos de análisis del desplazamiento de la línea de costa. Un periodo compara la distancia entre dos líneas de costa de dos años diferentes pero continuos. Los colores azules y verdes indican tendencias de acreción, mientras que los colores naranjas a rojos erosión.



Valores	1951-1985	1985-1995	1995-2007
Máximo	111.99	-17.17	31.56
Q3	71.1725	22.15	-3.1
Mediana	62.23	13.37	-19.81
Q1	53.995	4.95	-28.33
Mínimo	25.39	-17.17	-72.61
Rango IQ	17.18	17.21	25.23



Valores	1951-1985	1985-1995	1995-2007
Máximo	3.35	7.69	2.61
Q3	2.13	2.25	-0.26
Mediana	1.86	1.36	-1.64
Q1	1.61	0.5	-2.35
Mínimo	0.76	-1.75	-6.01
Rango IQ	0.52	1.75	2.09

Figura 28. Gráficas y tablas de las variaciones temporales de la línea de costa (norte). La gráfica y tabla del movimiento neto (izquierda) muestran los valores del desplazamiento en metros de la línea de costa y la gráfica y tabla de la Tasa de Punto Final (derecha) muestran las velocidades de avance y retroceso registradas en cada periodo de medición, generadas en metros por año (m/a).

En el segundo periodo comparativo, de 1985 a 1995, se registraron algunos valores negativos, representando el 16.67 % del total del total de transectos. Su distribución espacial se encuentra principalmente en las zonas centrales, entre las estaciones 4, 5 y 6 (Fig. 27). Los valores críticos de erosión no superan los 20 metros, alcanzando velocidades de retroceso de hasta -1.75 m/a.

El valor medio de su velocidad de desplazamiento (Fig. 28) tiende a disminuir 0.5 m/a, en comparación con el primer período (1951-1985), alcanzando una tasa de 1.36 m/a, con valores extremos de entre los 7.69 y -1.75 m/a.

Las zonas de acumulación, para ese segundo periodo, mantienen un patrón espacial localizado en el extremo noroeste cerca de Punta Diamante (Fig. 27). Alcanzando los 22 metros de avance hacia el mar de la línea de costa. Este patrón aparentemente está influenciado por un fenómeno temporal, concerniente a la conexión entre la desembocadura de la laguna de Puerto Marqués con las aguas marinas.

El juego de fotografías de 1985 es el único que presenta esta conexión directa de la laguna con el Océano (Fig. 29), lo que influye en el avance al continente de la línea de costa, por algún fenómeno temporal que se presentó en el momento de captura de la imagen. Por lo tanto, el rango de error aumenta para esta porción, que bajo condiciones de “normalidad”, de 1951 a 1985, los valores de acreción podrían ser mayores, caso contrario al periodo de 1985 a 1995. Sin embargo no se descarta que esta zona pudiera estar influenciada por procesos acumulativos debido al aporte sedimentario de la boca lagunar y de la erosión de la saliente rocosa de Punta Diamante.



Figura 29. Condiciones temporales de conexión directa entre de la desembocadura de la laguna de Puerto Marqués en el año de 1985 y el agua marina.

Finalmente, en la última fecha comparativa que corresponde a las tendencias recientes, 1995-2007, los valores erosivos son dominantes y representan más del 75 % del total de los datos. Los valores extremos de desplazamiento neto oscilan entre los -72 y 31 metros (Fig. 28). Con un rango total de 103 metros. Las zonas de erosión se localizan principalmente en las playas cercanas a Punta Diamante y hacia el sur de la estación 6 (Fig. 27). Por otro lado las zonas aparentemente estables y sin grandes variaciones están en los transectos pertenecientes a las playas aledañas al poblado de Alfredo V. Bonfil.

Con relación a su velocidad de desplazamiento, éstas parten de un valor medio que se ha duplicado negativamente en comparación con el período anterior (Fig. 28). Se obtuvo una tasa media de -1.64 m/a, con valores extremos máximos y mínimos de 2.61 y -6.01 m/a respectivamente.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

Con el objetivo de relacionar las tendencias erosivas o acumulativas con los geoindicadores detectados en campo, los valores de desplazamiento y velocidades alcanzadas en cada uno de los tres periodos comparados pertenecientes a las estaciones de medición se muestran a continuación.

Periodo	1951-1985		1985-1995		1995-2007	
	Desplazamiento Neto	Velocidad	Desplazamiento Neto	Velocidad	Desplazamiento Neto	Velocidad
1	74.34	2.22	36.35	3.69	-66.88	-5.54
2	26.79	0.8	59.56	6.05	-37.61	-3.11
3	59	1.76	6.97	0.71	-26.54	-2.2
4	53.38	1.59	16.85	1.71	-15.7	-1.3
5	54.66	1.63	15.17	1.54	-3.38	-0.28
6	66.15	1.97	-8.87	-0.9	-4.75	-0.39

Tabla 8. Valores puntuales del desplazamiento de la línea de costa y sus velocidades de avance registrados en cada estación de campo del sector Norte.

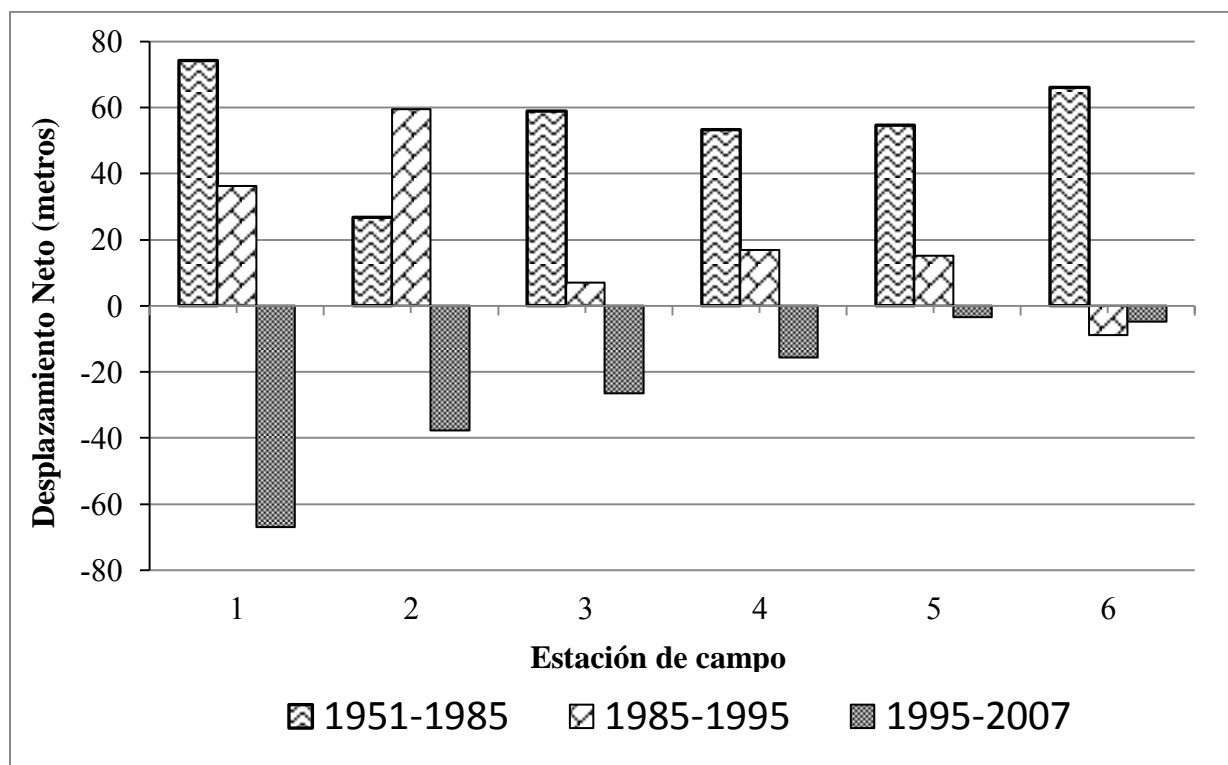


Figura 30. Gráfica del desplazamiento neto de la línea de costa registrado en cada estación de campo del sector Norte.

Las estaciones de trabajo 1 y 2 pertenecen al sector playero que muestra las mayores tasas erosivas (Fig. 31). Sus tendencias erosivas se presentaron en el último periodo (1995-2007). Con retroceso total de -66.88 y -37.61 respectivamente, alcanzando velocidades de -5.54 y -3.11 m/a. En esta porción de playa es donde se encuentran los asentamientos más antiguos del sector hotelero, la modificación del perfil de playa es una de las características predominantes de estas playas.

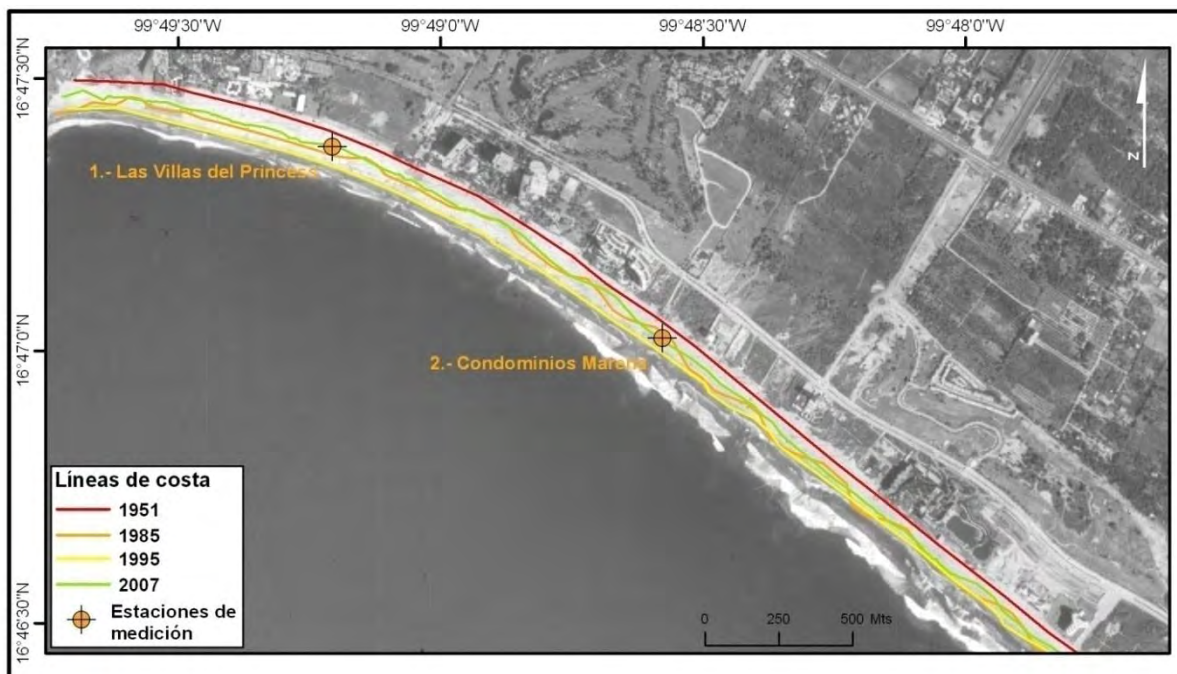


Figura 31. Mapa de la zona de máxima erosión reciente registrada entre las estaciones de campo 1 y 2. Se muestra la posición de la línea de costa perteneciente a cada uno de los años de captura. Cabe resaltar que la línea de costa del año 2007 (verde) en algunas zonas se encuentran casi en la misma posición en donde se localizó este rasgo en el año 1985 (naranja), lo cual indica tendencias erosivas en este sector.

Otra zona que mostró tendencias erosivas recientes, fue la aledaña a la estación de medición 6 (Fig. 32). En el transecto correspondiente a la localización de dicha estación de muestreo, la línea de costa ha iniciado sus tendencias negativas con un desplazamiento neto hacia la zona continental de 4.75 metros lo que representa una velocidad de retroceso de -0.39 m/a. Este punto puede establecerse como el límite norte de las playas que se extienden hacia el sur, sobre el terreno perteneciente al Club de Golf “Tres Vidas”. Toda esa zona se presenta con un enorme potencial de erosión a futuro, ya que las modificaciones morfológicas aparentemente antrópicas, registradas en campo, realmente tienden a degradar el sistema costero.

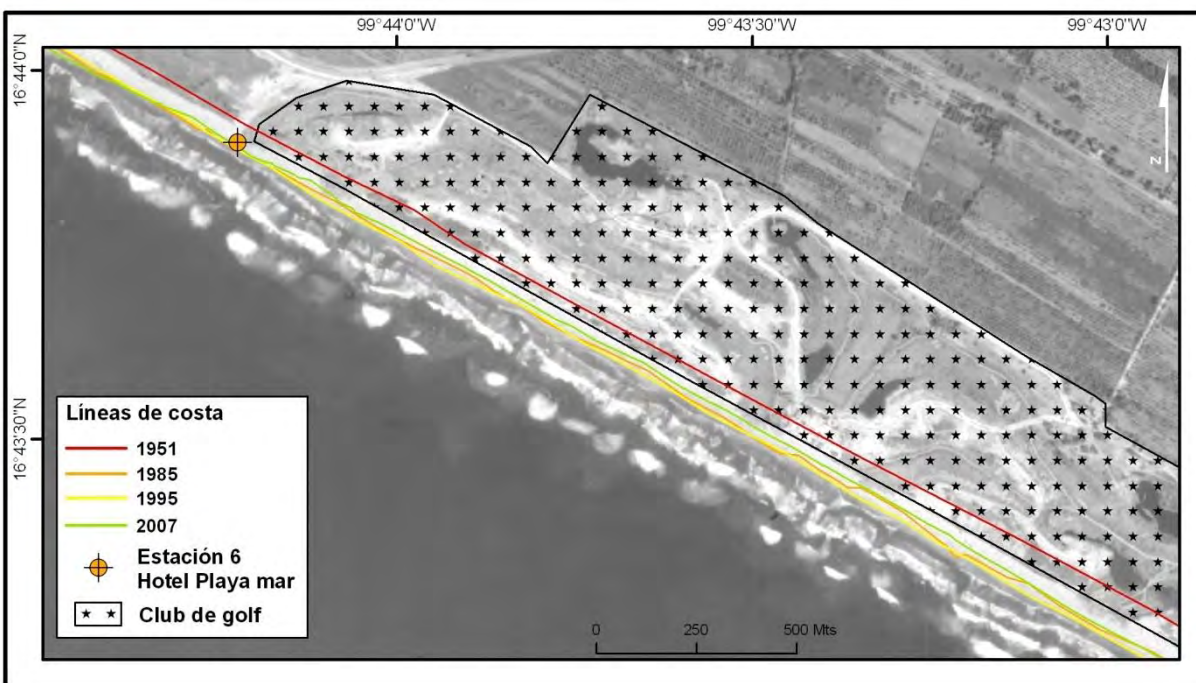


Figura 32. Mapa de zona de erosión en el Club de Golf Tres Vidas y de la estación 6. Se muestra la posición histórica de la línea de costa para cada uno de los años de captura. El retroceso de la línea de costa aumenta hacia el sureste a partir de la estación de medición.

III.1.1.2. Condiciones morfológicas, morfométricas y ambientales.

La presencia del sector turístico en esta zona es un factor que condiciona y favorece a un alto grado de susceptibilidad ante la erosión crónica e inundaciones costeras. Debido a la inapropiada localización de grandes edificaciones sobre las dunas costeras. Los resultados obtenidos en campo se sintetizan a continuación.

La estación de trabajo N° 1 pertenece a la playa de un conjunto de villas al extremo Norte de la zona de estudio. Sus características generales corresponden al tipo de playas con un enorme grado de urbanización, con edificaciones muy altas que han interrumpido la dinámica sedimentaria playa-duna.

Se presenta con un perfil semirrecto (Fig. 33 y Tabla 9) con berma poco desarrollada y perfil cóncavo en su pendiente de barlovento de un remanente dunar, el único existente en esta zona. La mayor concentración de turistas y de vehículos motorizados, motos y camionetas, se encuentra en estas playas. La presión antrópica favorece en gran parte a las tendencias erosivas de las dunas y playas mediante la remoción de los sedimentos y la vegetación.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández



Figura 33. Estación de campo N° 1, Las villas del Princess. Fotografía tomada el 16/09/2012 con dirección SE.

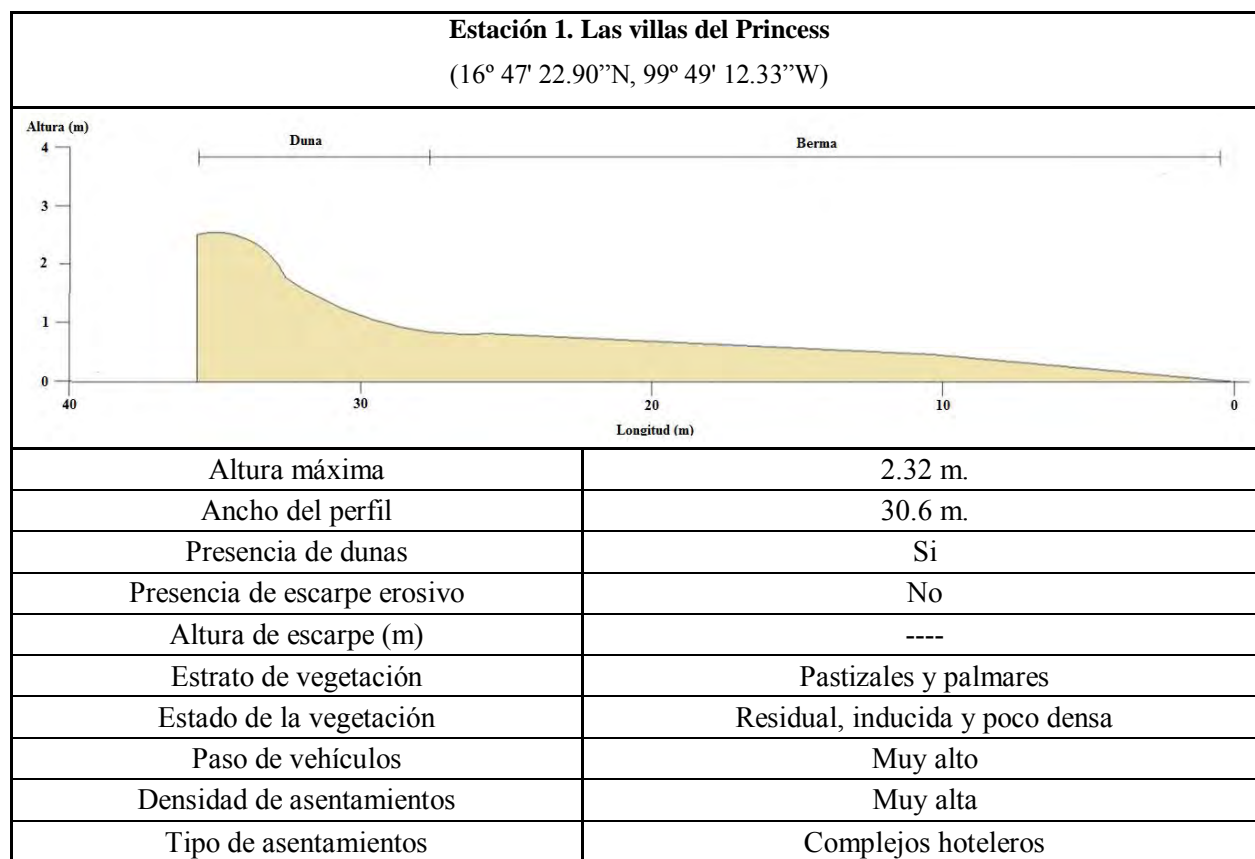


Tabla 9. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 1.

La estación de trabajo N° 2 se localizó en la playa perteneciente a los Condominios Marena. Esta es una de las playas con un perfil totalmente recto y muy corto (Fig. 34). Su berma se encontró atenuada y no se registró la presencia de dunas, debido a la amplia extensión frontal del terreno. La altura del perfil es baja, de apenas 1 metro, y su extensión es de casi 40 m, aunque la playa sigue aproximadamente otros 10 metros (Tabla 10), pero al ser terreno privado se negó el acceso para continuar con la medición

La vegetación nativa es prácticamente nula y domina aquella inducida, la inserción de pasto ornamental al frente de la edificación es característica de este terreno. El paso de personas y vehículos es menor, pero no inexistente, en comparación con las demás estaciones debido a la restricción de los vehículos a esta playa.



Figura 34. Estación de campo N° 2, Condominios Marena - Costa Bambú. Fotografía tomada el 16/09/2012 con dirección NW. Del lado derecho de la imagen se observan en color oscuro los postes que delimitan la zona privada de estos condominios, y de fondo en color blanco las estructuras que restringen el paso de vehículos, principalmente de motos, a estas playas.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

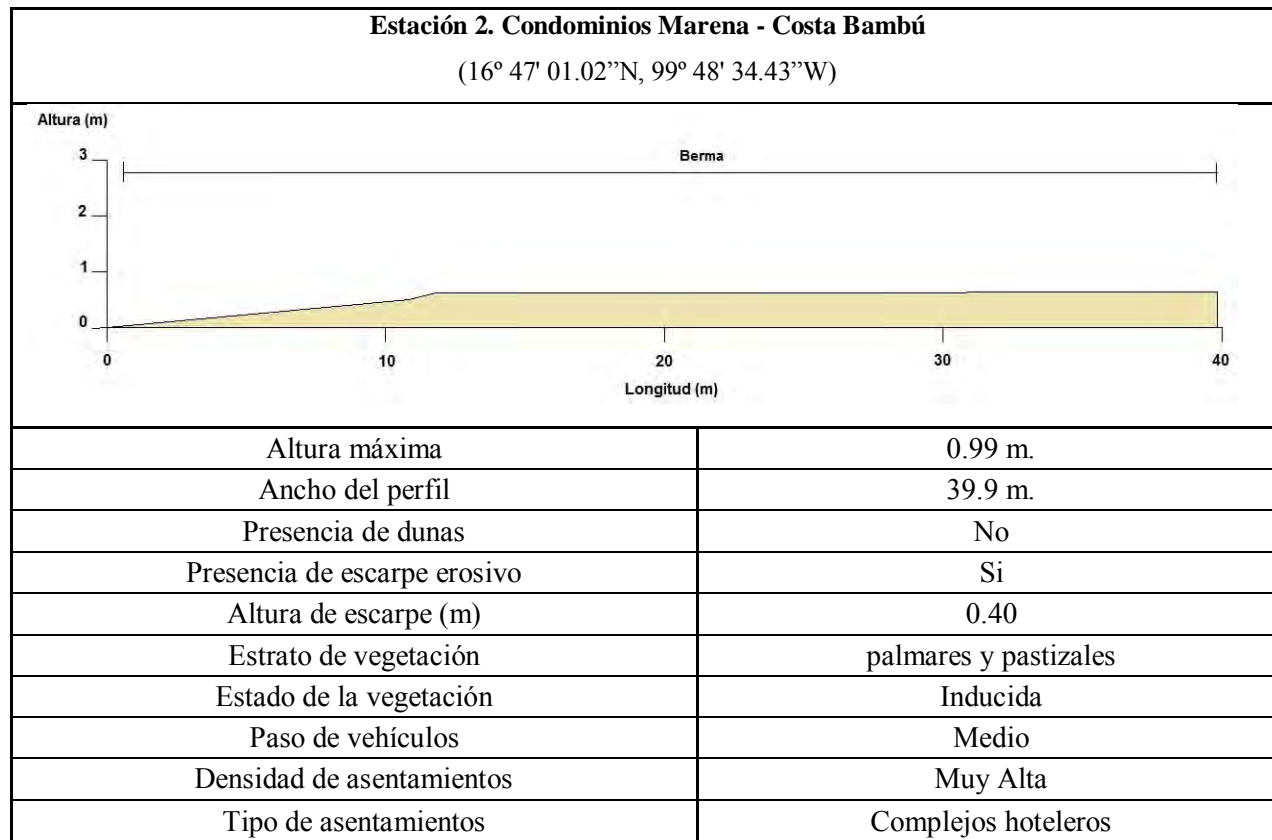


Tabla 10. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 2.

Es importante mencionar, que la infraestructura turística progresa mediante la construcción del muelle privado “Performance Boats”, de 250 metros de largo, localizado al sur de esta estación (Fig. 35). Conociendo las tendencias evolutivas que rigen estas playas, la construcción del muelle puede representar condiciones negativas para la estabilidad de toda la zona del norte, debido a que limitaría el aporte sedimentario proveniente del Río Papagayo a esta porción de costa.



Figura 35. Construcción de muelle privado aledaño a la estación de medición 2. Fotografía tomada el 16/09/2012 con dirección SE. Al momento de la captura de la imagen la construcción del muelle estaba en proceso, junto con la presencia de maquinaria pesada.

La estación 3 se estableció en el frente de un terreno privado aún sin construcción alguna, pero rodeado de edificaciones como el conjunto habitacional llamado “Residencial Las Olas” localizado al Norte del punto de muestreo. En este perfil es importante destacar que aún muestra algunos rasgos geomorfológicos “originales” previos a la construcción de las edificaciones que hoy en día se observan.

El perfil de playa tiene una berma poco desarrollada, la presencia de dunas es de hacer notar ya que estas se presentan de manera abundante aunque tienden a estar aisladas entre sí (Fig. 36 y Tabla 11), como resultado de su evolución hacia el estado erosivo. Se observan rampas erosivas entre las dunas frontales, aparentemente causadas por el paso de personas; su pendiente de barlovento es cóncava y con vegetación nativa residual en la parte superior de estas.

La accesibilidad a estas playas produce un alto tránsito de personas y vehículos motorizados, un rasgo único registrado en este perfil fue la presencia de caballos pastando sobre el campo dunar del terreno ya mencionado, lo que impacta negativamente a la pérdida de la vegetación actual.



Figura 36. Estación de campo N° 3, Residencial Las Olas. Fotografía tomada el 15/09/2012 con dirección SE.

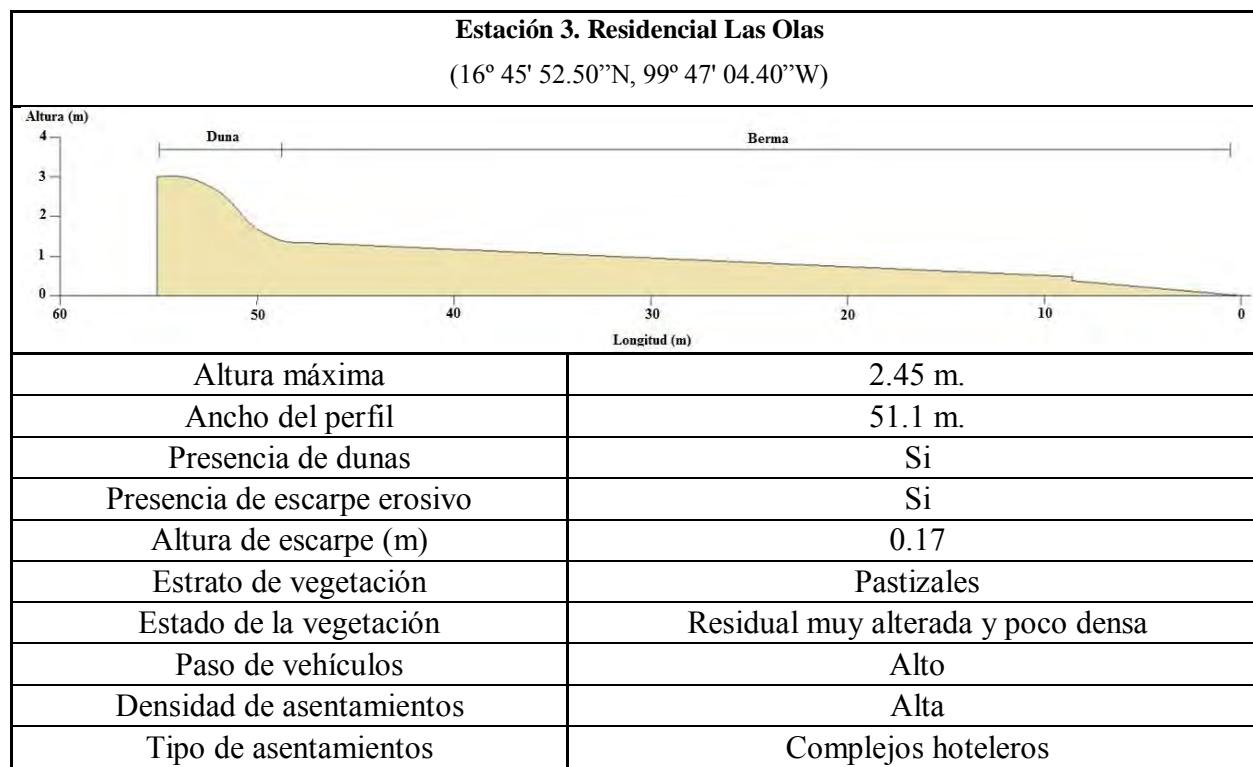


Tabla 11. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 3.

La estación N° 4 se estableció, al igual que la estación anterior, al frente de un terreno sin construcción alguna. Presentó una berma bien desarrollada y amplia. Las dunas se presentaron cóncavas en su pendiente frontal y con restos de vegetación original en forma de parches (Fig. 37 y Tabla 12).



Figura 37. Estación de campo N° 4, Playa San Vicente- Playa del Sol. Fotografía tomada el 16/09/2012 con dirección SE.

La presencia de vehículos motorizados y el paso de personas son altos, incluso existen algunos sectores en donde se han emplazado pequeñas estructuras de madera, sobre las dunas, pertenecientes a personas que prestan servicios turísticos a los visitantes. Uno de los trabajadores de la zona mencionó que aproximadamente después del año 1995 el mar le había ganado terreno a las playas perdiendo así un área considerable de estas, sin mostrar retorno alguno a su posición previa a dicha fecha.

Además proporcionó una foto antigua (Fig. 38) que facilita hacer una comparación entre las condiciones que prevalecían en la playa y las dunas cerca del año 1995 y las condiciones que fueron encontradas en campo en 2012.



Figura 38. Juego de fotografías de la estación 4, Playa San Vicente. La primera (arriba) pertenece a la fecha aproximada de 1995 y fue proporcionada por el habitante Carlos Raúl Bernabéz Álvarez. La segunda (abajo) fue tomada en septiembre de 2012 sobre el campo de dunas que se aprecian en la fotografía superior. Los cambios son muy notorios con respecto al tipo de vegetación, actualmente prevalecen pastizales en núcleos pequeños.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

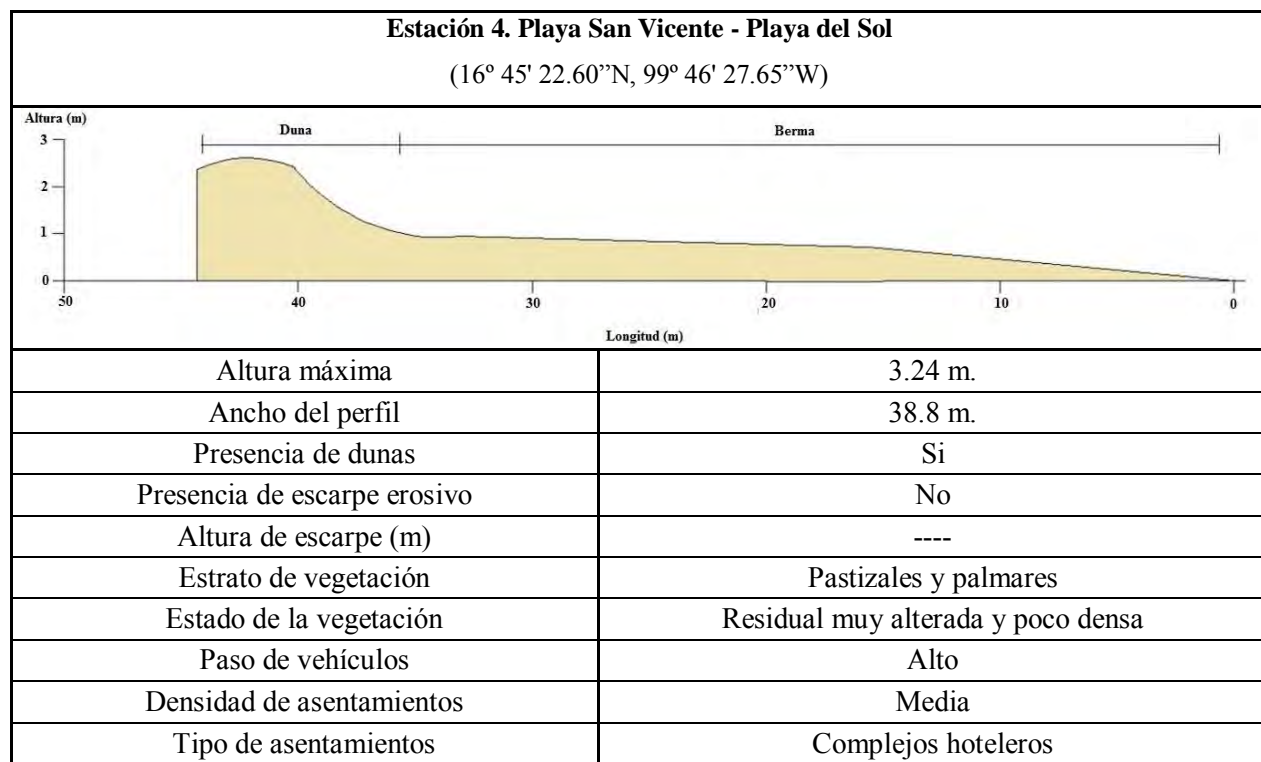


Tabla 12. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 4.

La estación N°5 pertenece al poblado “Alfredo V. Bonfil” es una de las zonas que cuentan con los mayores cambios morfológicos. Presenta un perfil de playa de recto a cóncavo con una morfología de berma prácticamente inexistente y sin la presencia de dunas.

La cantidad de vehículos motorizados y de personas es aún más alto que la zona hotelera ya que esta es una zona habitacional y el tránsito de personas es continuo. La infraestructura es de tipo rústica y se aprecian construcciones de máximo dos pisos. Las calles pavimentadas llegan prácticamente a las playas, favoreciendo el ingreso de vehículos pesados como carros y camionetas.

La presencia de palapas es característica y se encuentran a escasos 10 metros o menos de la línea de pleamares (Fig. 39 y Tabla 13) por lo que se vuelve una zona totalmente susceptible ante fenómenos hidrometeorológicos extremos o el aumento del nivel del mar.



Figura 39. Estación de campo N° 5, Playa Bonfil. Fotografía tomada el 15/09/2012, con dirección NW.

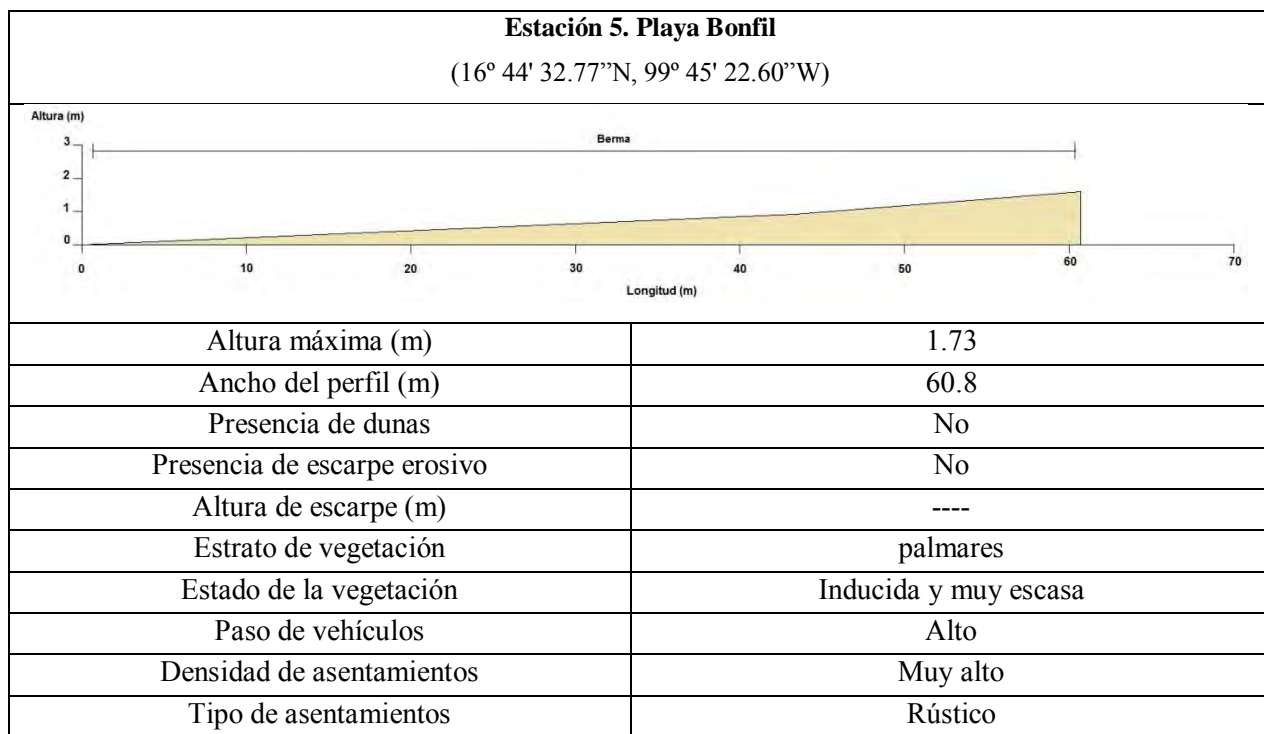


Tabla 13. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 5.

Cabe mencionar que un par de habitantes de este poblado comentaron, que en época de lluvias y de huracanes, el mar tiende a inundar y erosionar la angosta playa. Bajo eventos de erosión alta, indicaron que son los pobladores los que se encargan de retroalimentar la playa con arena alóctona, factor que puede justificar la “estabilidad” histórica de su línea de costa.

La última estación perteneciente al sector norte es la N° 6. Se localiza entre el hotel Playa Mar y el campo de golf Tres Vidas. Al igual que la estación Bonfil, las modificaciones morfológicas de estas playas son de las más severas. El perfil de playa se encontró altamente modificado con una berma prácticamente inexistente, lo cual posiciona a esta estación como la de menor longitud. Se encontró un campo dunar muy alterado como resultado de un escarpe frontal (Fig. 40) que forma un ángulo prácticamente de 90° y con un desnivel de 1 metro.



Figura 40. Estación de campo N° 6, Hotel Playa Mar – Tres Vidas. Fotografía tomada el 14/09/2012. Se muestra la altura del escarpe erosivo registrado en la estación.

El valor máximo del desnivel registrado fue de aproximadamente de 2 metros. Este escarpe continúa hacia el sur (Fig. 41), en playas privadas y con accesos restringidos, que pertenecen al campo del golf “Tres Vidas”. La morfología actual (Tabla 14) permite un gran potencial de erosión continua, debido al socavamiento por el oleaje que se puede generar en las porciones bajas del escarpe.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández



Figura 41. Continuación hacia el sur del escarpe de la estación 6. Fotografía tomada el 14/09/2012 con dirección SE.

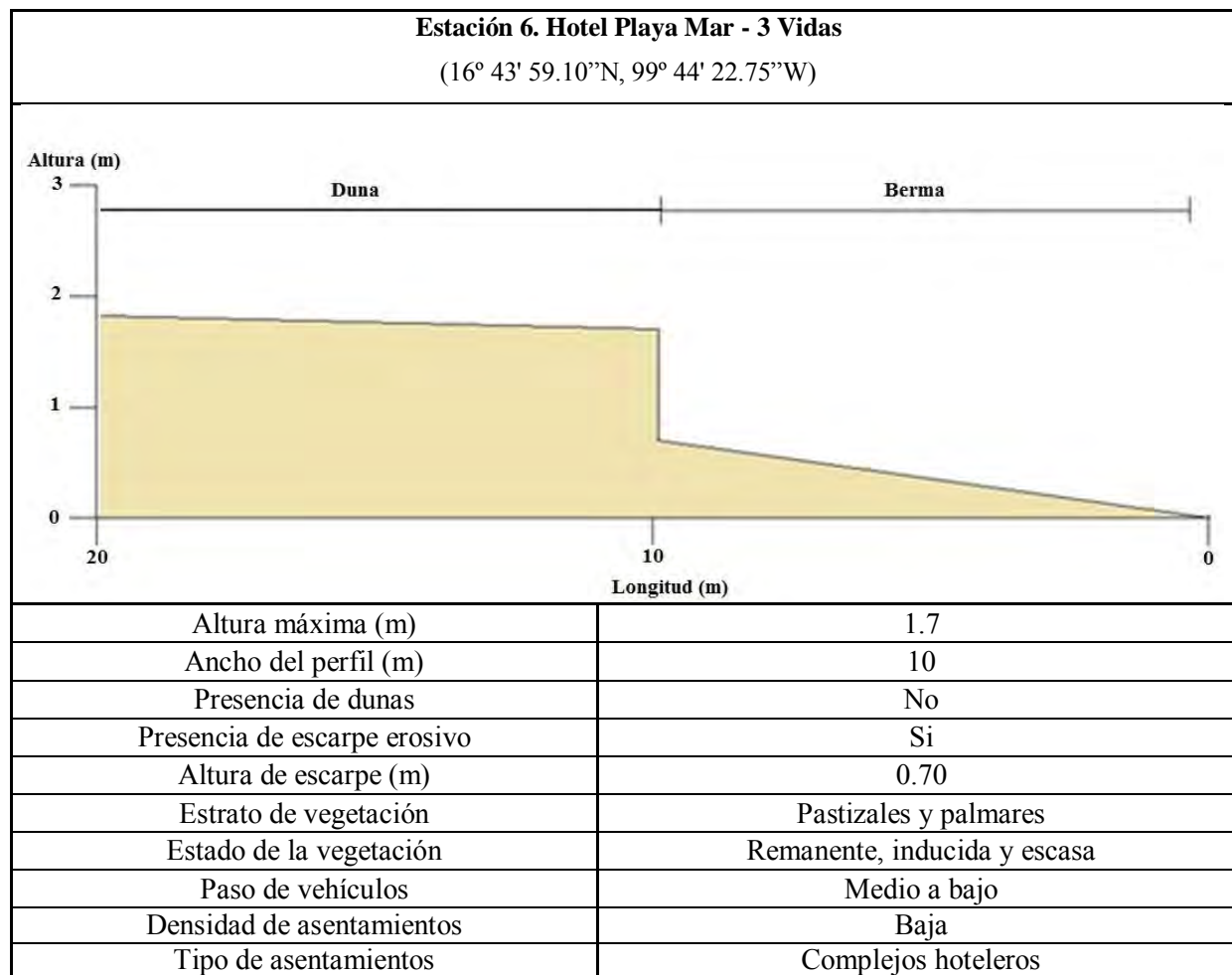


Tabla 14. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 6.

Finalmente haciendo un análisis comparativo de las características morfométricas de las estaciones. La longitud de las playas aumenta progresivamente de norte a sur, encontrando algunos descensos en la estación 4 y 6. La pendiente de la berma en su parte frontal es de 5° en todas las estaciones, a excepción de las playas de Bonfil (estación 5) y el Hotel Playa Mar (estación 6), con 2° y 8° respectivamente.

Uno de los elementos indicadores de las tendencias dinámicas de las playas y de sus procesos evolutivos, es la relación existente en la altura de la berma y la longitud de las playas. Para este sector se encontró una relación negativa entre estas dos variables en casi todos los perfiles (Fig. 42), ya que las playas con mayor extensión, no presentan a las playas con las mayores alturas en su berma.

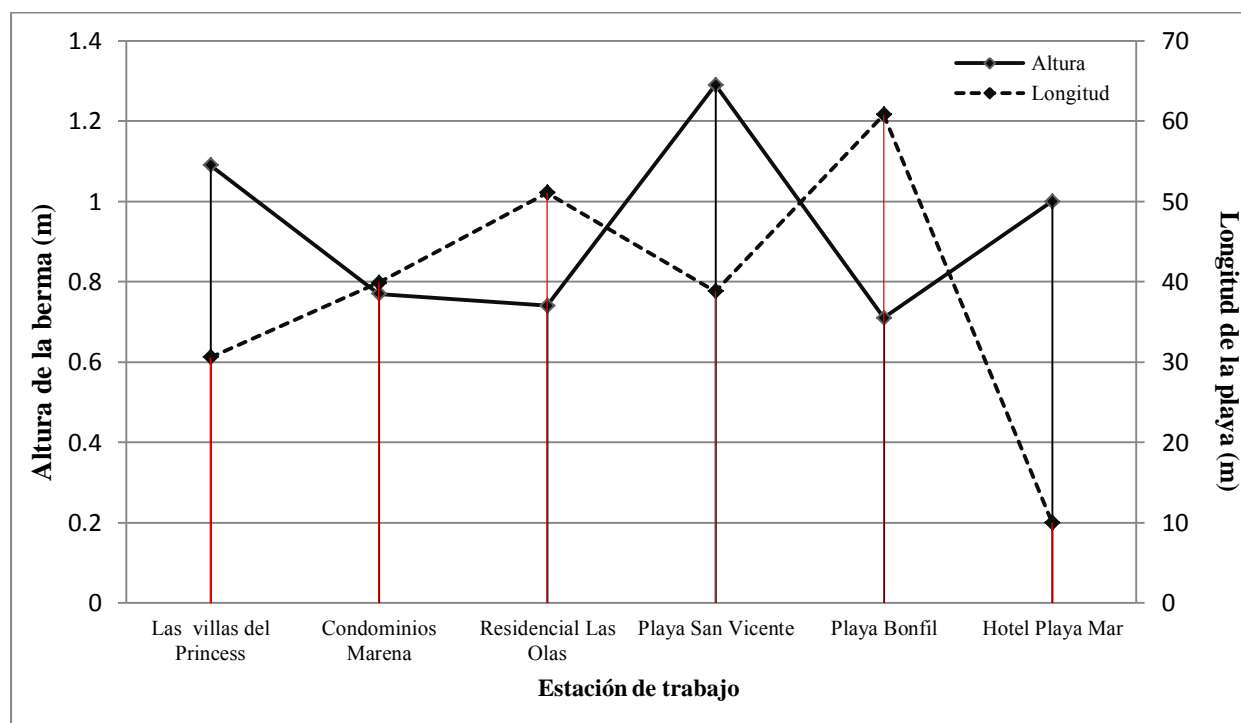


Figura 42. Gráfica de la relación entre altura de berma y longitud del perfil de playa de las estaciones 1 a 6. La numeración de las estaciones inicia de izquierda a derecha (1 a 6).

III.2. Sector Sur

III.2.1. Variaciones y tendencias de la línea de costa (1951-2007)

Las tendencias de avance y retroceso del borde marino en el sector sur, se ligan principalmente a la dinámica de aporte sedimentario del río Papagayo, por lo que esta zona es la que muestra la mayor dinámica temporal.

De 1951 a 1995, dominó el avance en todos los transectos de medición, los valores extremos alcanzados fueron de 36 y 362 metros. Solo una cuarta parte de los transectos superó los 100 metros de acreción, esta zona de mayor desplazamiento de la línea de costa se localiza en el frente del río Papagayo (Fig. 43). Con respecto a sus velocidades de avance, el valor medio fue de 1.82 m/a para todo el período (Fig. 44).

La velocidad media para este primer período es muy similar a la obtenida al período 1951-1985, correspondiente al sector norte, 1.86 m/a. (ver Fig. 28). Dicha similitud es importante de resaltar, ya que se muestra significativa, a pesar de que el primer período comparativo (1951-1995) para el sector sur es de 10 años más que el primer periodo del sector norte (1951-1985).

De 1995 a 2007, cerca del 50 % de los valores mantienen tendencias erosivas. Estas zonas se distribuyen sobre todo en la porción norte (Fig. 43), como continuación de las características de modificaciones severas a las playas, presentadas en la estación de trabajo N° 6, así como, en las playas del poblado de Barra Vieja hasta la desembocadura del río Papagayo. Los desplazamientos varían a partir de un valor medio de -0.16 m/a, con el 50 % de los valores positivos, que alcanzan los 3.79 m/a y el resto de ellos, los -5.89 m/a como máximo (Fig. 44).

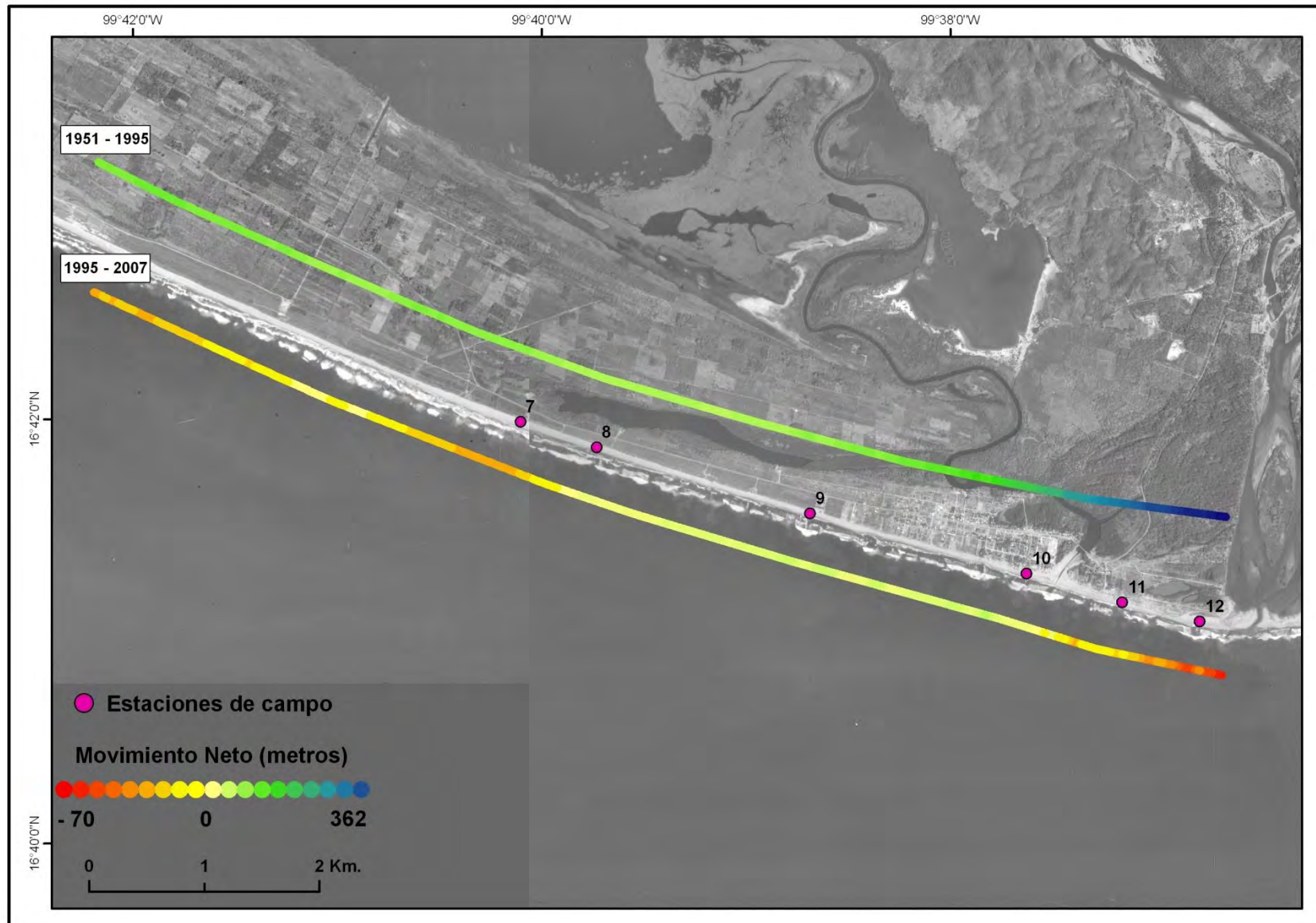
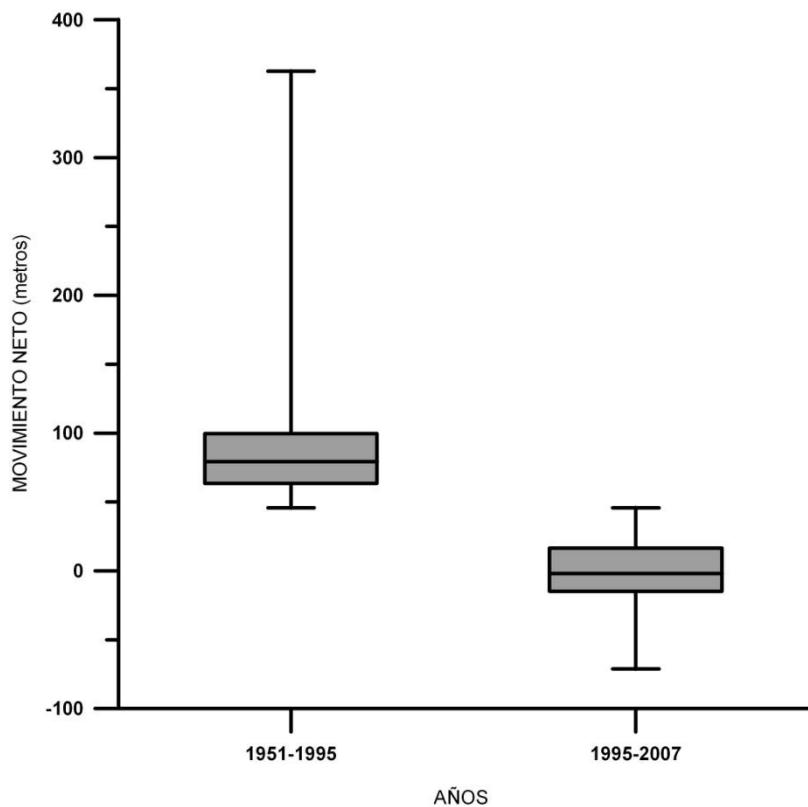
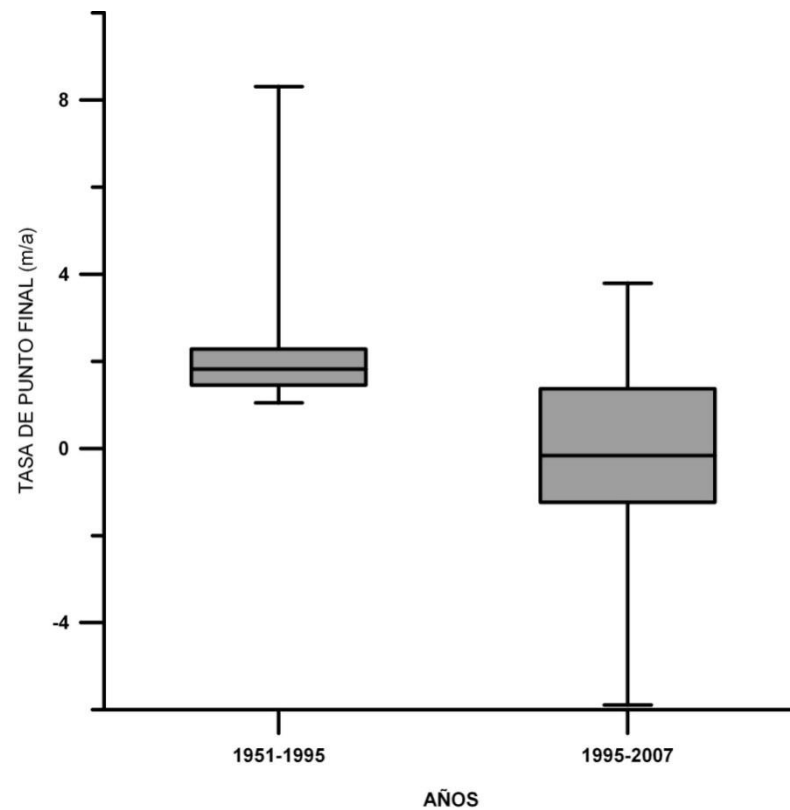


Figura 43. Mapa de variaciones espacio-temporales de la línea de costa del sector sur. Cada línea representa uno de los dos periodos comparativos de la zona sur, el primero (arriba) de 1951-1995 y el segundo (abajo) de 1995-2007. La escala de colores representa el movimiento neto de la línea de costa ya sea por tendencias de acreción (verde y azul) o erosión (naranja y rojo).



	1951-1995	1995-2007
Máximo	362.76	45.79
Q3	99.54	16.48
Mediana	79.37	-1.92
Q1	63.43	-14.83
Mínimo	45.66	-71.08
Rango IQ	36.11	31.31



	1951-1995	1995-2007
Máximo	8.31	3.79
Q3	2.28	1.36
Mediana	1.82	-0.16
Q1	1.45	-1.23
Mínimo	1.05	-5.89
Rango IQ	0.83	2.60

Figura 44. Gráficas y tablas de las variaciones temporales de la línea de costa (sur). La gráfica y tabla del movimiento neto (izquierda) muestra el desplazamiento en metros de la línea de costa y la gráfica y tabla de la Tasa de Punto Final (derecha) muestra las velocidades de avance y retroceso registradas en cada periodo de medición, generadas en metros por año (m/a).

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

Para el sector de playa Sur, la dinámica de cada estación de campo, de manera puntual (Tabla 15 y Fig 45), se resume de la siguiente manera.

Periodo	1951-1995		1995-2007	
Estación de campo	Desplazamiento Neto	Velocidad	Desplazamiento Neto	Velocidad
7	71.47	1.63	-17.96	-1.48
8	53.77	1.23	8.66	0.72
9	66.48	1.5	25.53	2.11
10	166.12	3.8	12.52	1.04
11	273.88	6.27	-9.8	-0.77
12	340.51	7.8	-48.68	-4.03

Tabla 15. Valores puntuales del desplazamiento de la línea de costa y sus velocidades de avance registrados en cada estación de campo del sector Sur.

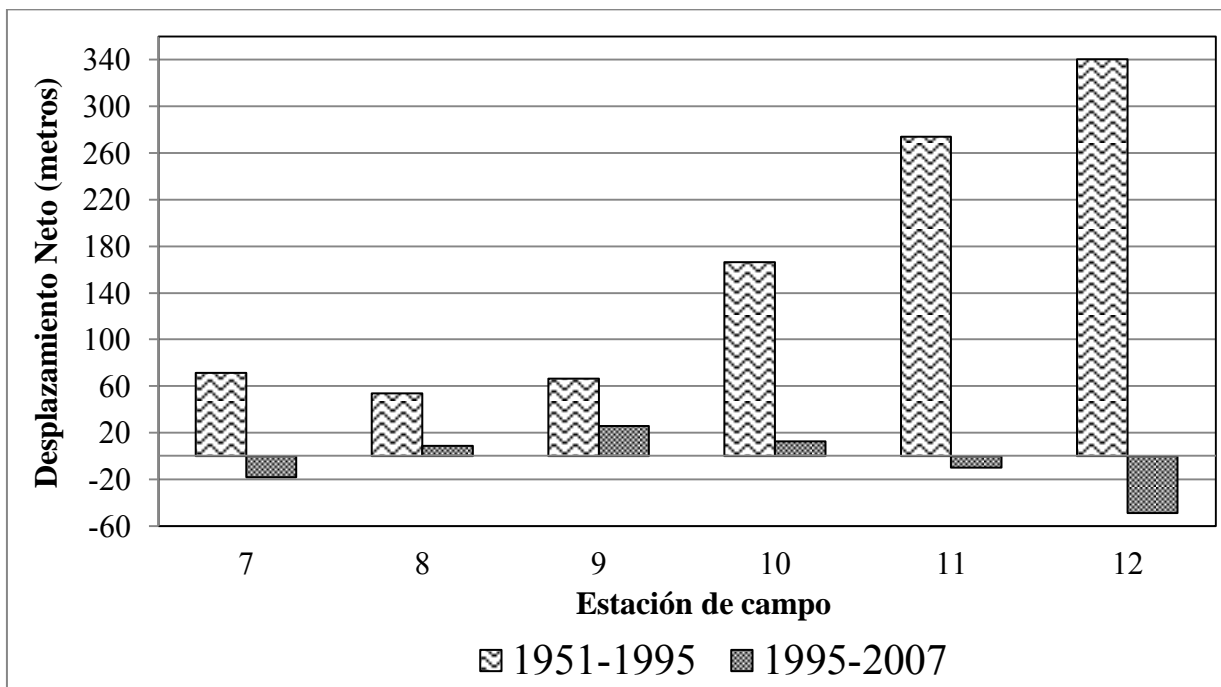


Figura 45. Gráfica del desplazamiento neto de la línea de costa registrado en cada estación de campo del sector Sur.

Las zonas de mayor acreción se presenta en la figura 46. En esta porción se localizan las estaciones 8 y 9, sus tendencias históricas fueron de 53.7 y 66.4 metros de desplazamiento en el periodo de 1951 a 1995 lo que se traduce en velocidades de acreción de 1.23 y 1.5 m/a. En los últimos 12 años (1995-2007) estas estaciones registraron un avance de 8.66 y 25.53, alcanzando velocidades de 0.72 y 2.11 m/a respectivamente.

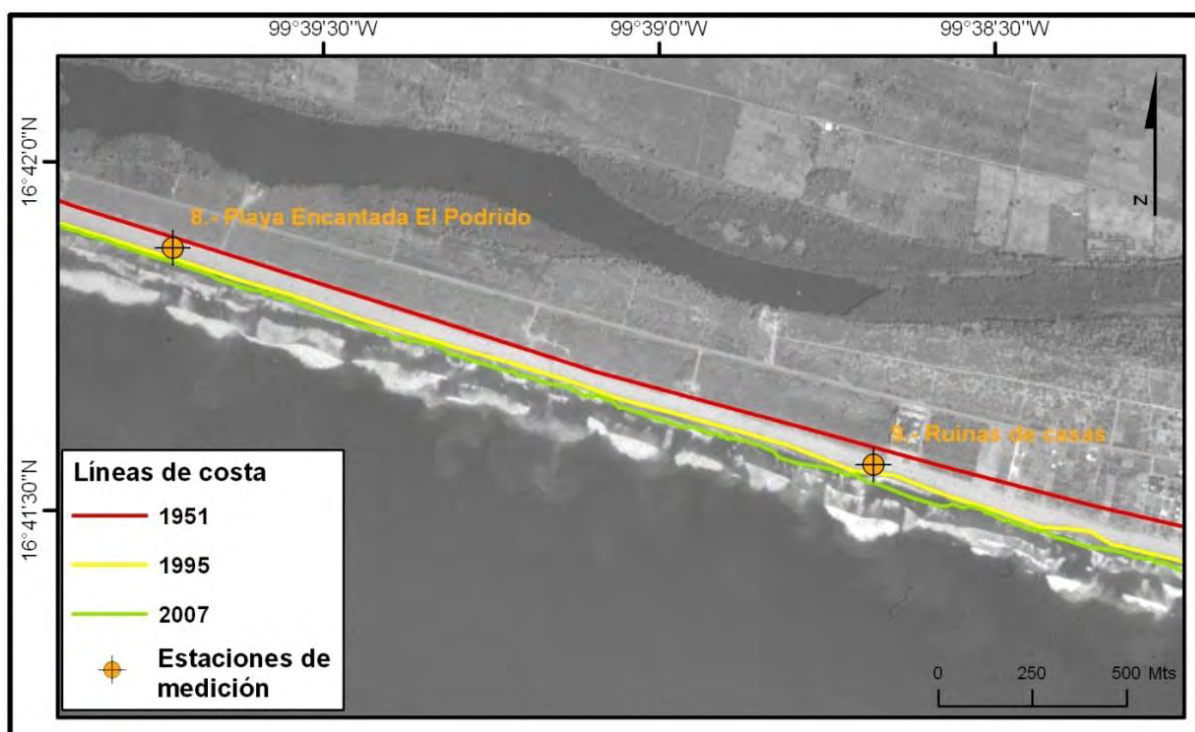


Figura 46. Mapa de la zona de máxima acreción en el sector sur. Se observa la posición histórica de la línea de costa para cada uno de los años de comparación, mostrando un avance progresivo que se traduce en acreción de playas.

Por otro lado, las zonas de mayor retroceso reciente son las áreas vecinas a las estaciones 11 y 12, que se vinculan a la influencia del Río Papagayo (Fig. 47). Inicialmente registraron valores muy altos de acreción con un desplazamiento total de 273.8 y 340.5 metros, a velocidades de 6.2 y 7.8 m/a. Recientemente los valores se revirtieron hacia las tendencias erosivas con -9.8 y -48.68 metros de desplazamiento negativo, a -0.77 y -4.03 m/a de velocidad. Esta dinámica está ligada a la descarga sedimentaria proveniente del curso fluvial, por lo que sería importante conocer si el proceso de retroceso es temporal o crónico

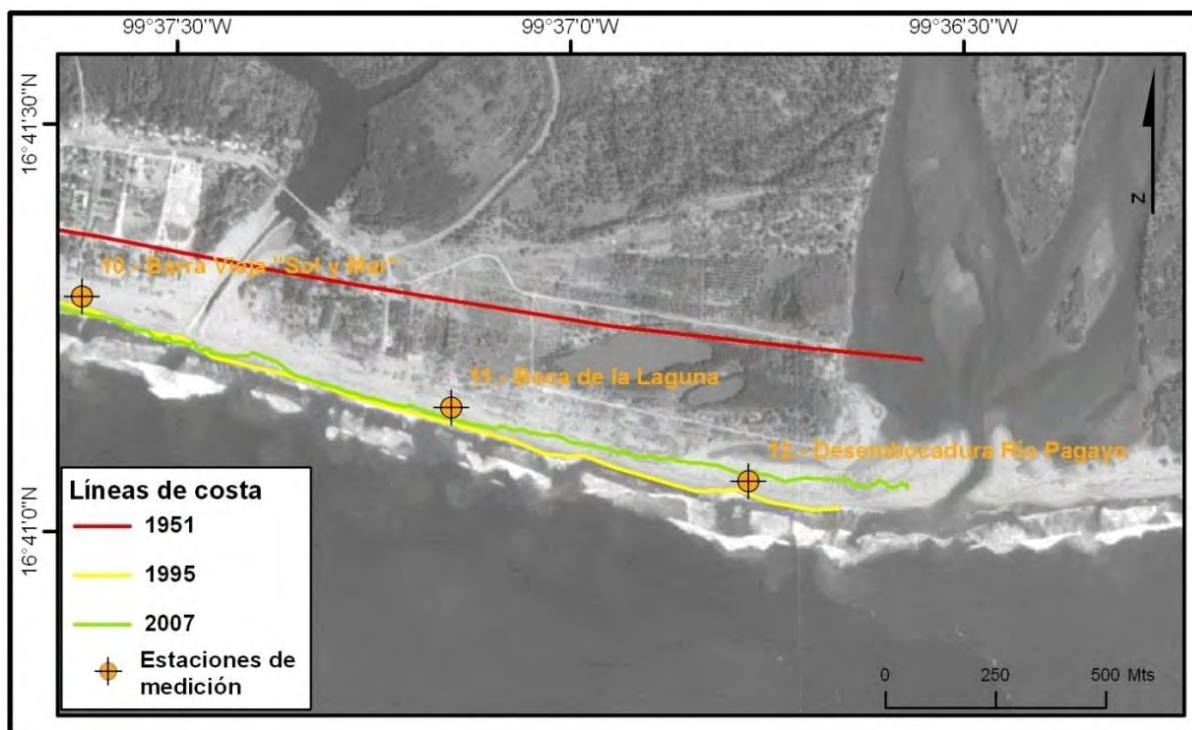


Figura 47. Mapa de la dinámica del frente del río Papagayo. Se muestra la posición de la línea de costa en los tres diferentes años de captura. Inicialmente se presentó con tendencias acrecionarias que se revierten a tendencias erosivas recientes.

III.1.2.2. Condiciones morfológicas, morfométricas y ambientales

Las playas sureñas se caracterizan por contar con condiciones morfológicas y ambientales menos alteradas en comparación con la zona norte. Existen áreas medianamente pobladas que se intercalan con algunas zonas sin construcciones en donde aún prevalecen rasgos bien preservados de las playas. Las zonas construidas pertenecen a locales que ofrecen servicios de comida y áreas de descanso con palapas y albercas. La numeración de las estaciones de trabajo se desarrolla de Norte a Sur (7 a 12)

La primera estación de esta zona es la número 7 y se localiza en el frente del terreno de Casa Tasgar. En este perfil se encuentran ciertos rasgos que son de suma importancia mencionar. Se encontraron ciertas similitudes con algunos perfiles del sector norte como lo es la separación de la playa con la duna, a diferencia de que este tipo de asentamientos es rústico y de solamente 1 piso.

El perfil mostró una berma con escarpe de tormenta relativamente bien preservado (Fig. 48 y Tabla 16) y que comienza a desaparecer gradualmente en algunas porciones debido a al paso de motos y personas. La vegetación es inducida y escasa a excepción de algunas zonas alrededor del perfil que aún presentan parches de vegetación nativa.



Figura 48. Estación de campo N° 7, Casa Tasgar. Fotografía tomada el 16/09/2012, con dirección SE.

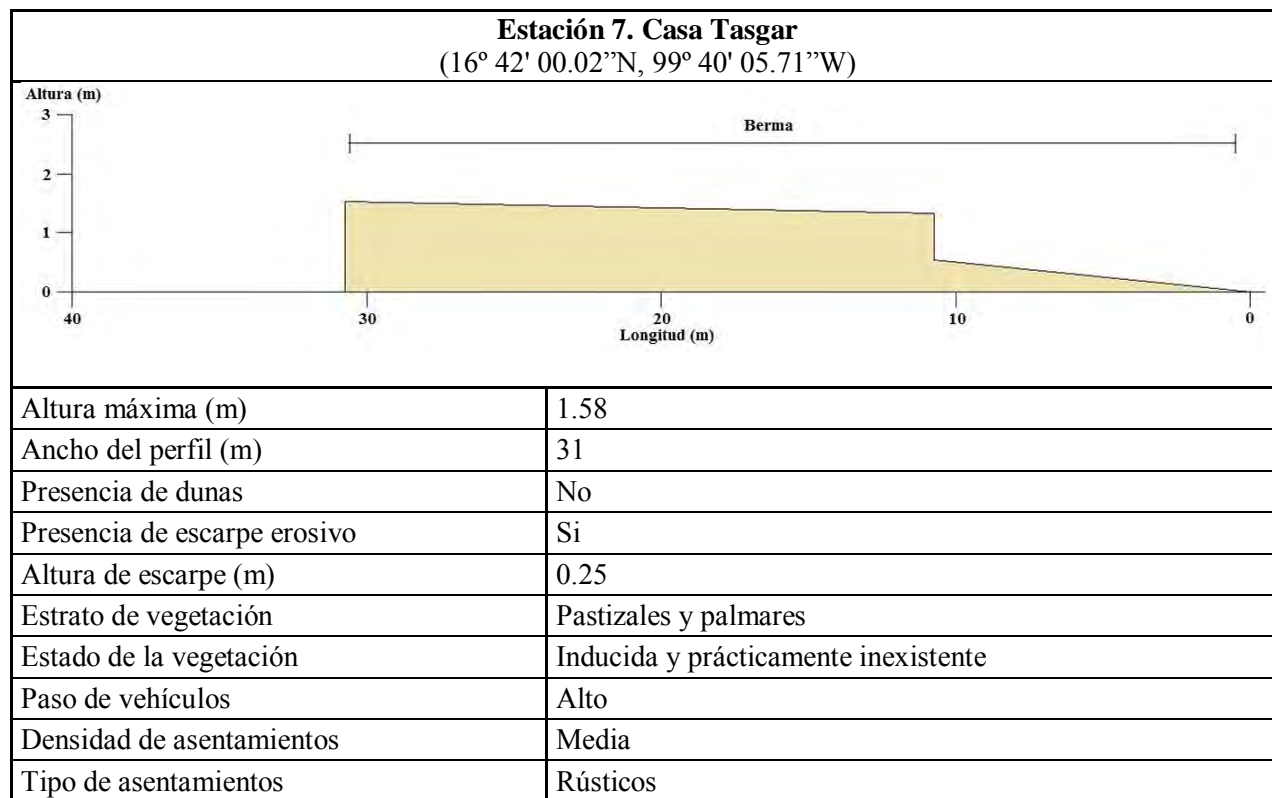


Tabla 16. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 7.

La estación 8 se encuentra en la Playa Encantada. La escasa presencia de infraestructura urbana ha permitido el desarrollo óptimo de su perfil (Fig. 49), las construcciones de tipo rústico se presentan muy aisladas entre si.



Figura 49. Estación de campo N° 8, Playa Encantada-El Podrido. Fotografía tomada el 14/09/2012, con dirección SE.

Cuenta con una berma bien desarrollada y con un escarpe de tormenta de apenas 25 centímetros (Tabla 17). La presencia del campo de dunas es importante y estas se muestran con una pendiente de barlovento convexa lo que indica estabilidad, además se registró vegetación típica de dunas costeras en toda la extensión de este rasgos geomorfológico, aunque comienzan a aparecer zonas sin vegetación que pudieran dar pie a tendencias erosivas.

El paso de vehículos es alto, sin embargo el tránsito de personas es escaso debido a la ausencia de casas o locales que ofrecen los servicios turísticos típicos de la zona.

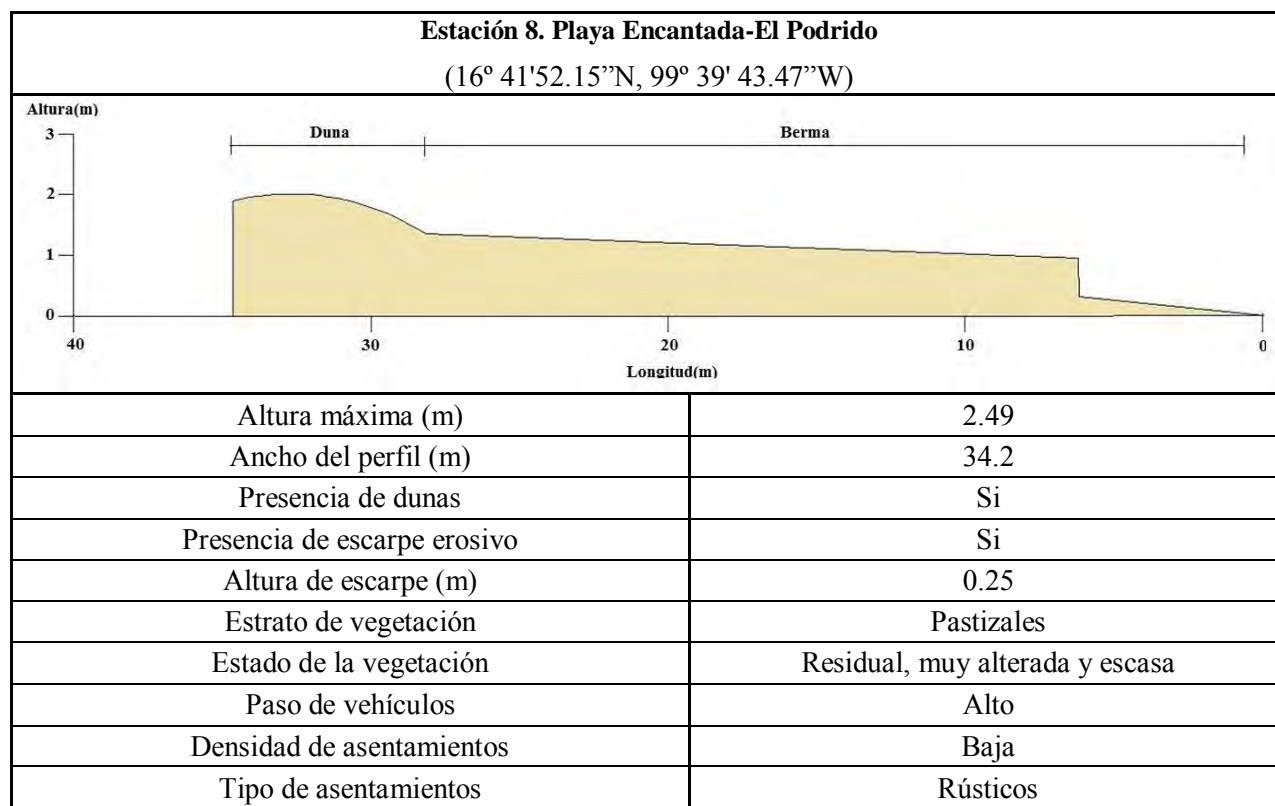


Tabla 17. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 8.

La estación 9 es única en comparación con los demás. Se estableció en terrenos con algunas ruinas de casas y con ausencia de asentamientos a sus alrededores (Fig. 50). Sin embargo no se excluye que exista presión antrópica. El perfil de playa fue el segundo más amplio en extensión, antecedido por el de la estación 11. Se presentó una berma muy bien desarrollada y típica de playa, es decir con su máxima altura en la cresta que gradualmente comienza a disminuir hacia la mesoplaya y supraplaya (Tabla 18).

La amplitud de la berma favorece a la desecación rápida de la supraplaya, lo cual permite que exista la alimentación sedimentaria necesaria para el desarrollo de las dunas. En este caso se encontraron 2 tipos de dunas. Las primeras son las frontales y más jóvenes, cuentan con un perfil bien desarrollado con pendientes convexas y presencia de pastizales en la mayor parte de su superficie; las segundas son dunas ya estabilizadas que son de mayor altura y extensión que las primeras, presentaron vegetación arbustiva muy densa.



Figura 50. Estación de campo N° 9, Ruinas de casas. Fotografía tomada el 14/09/2012, con dirección SE. Del lado izquierdo aparece una duna estabilizada con vegetación abundante y en tonalidades oscuras y al frente de ella una duna más joven con presencia de pastizales solamente.

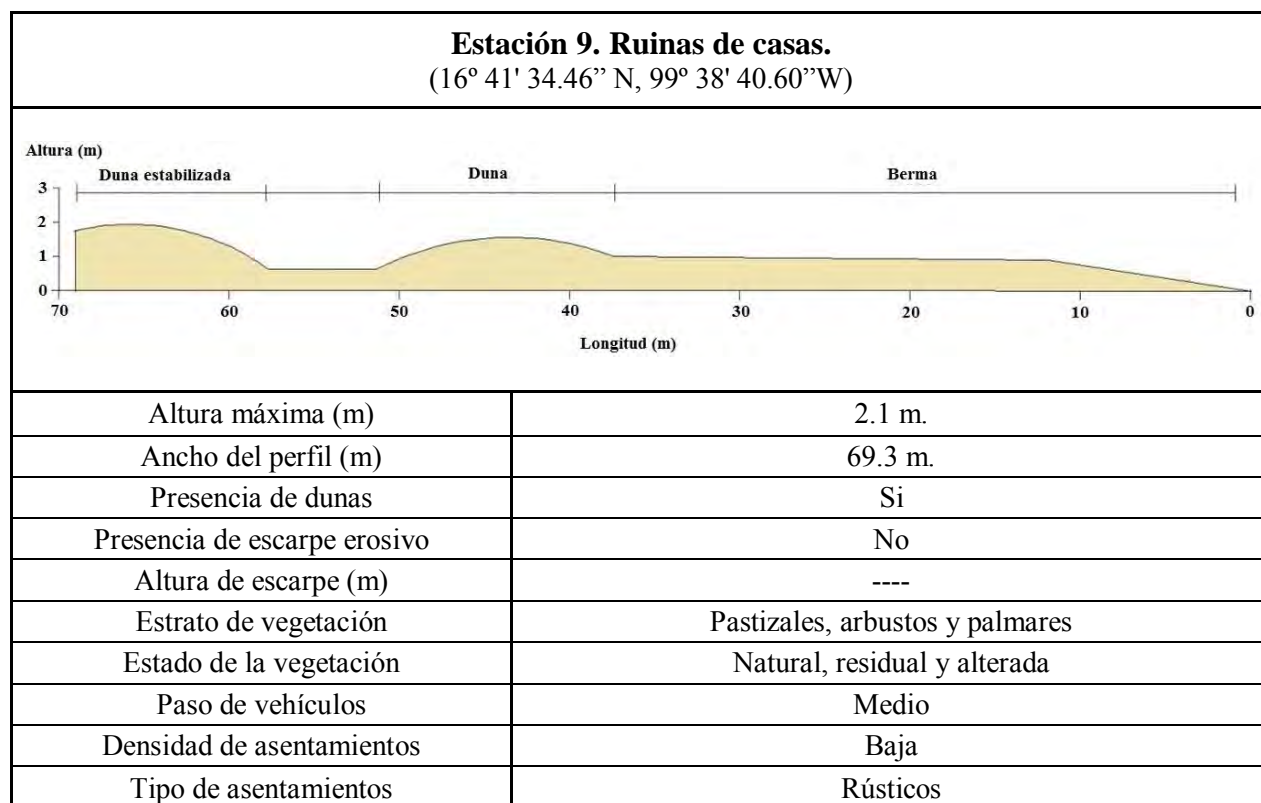


Tabla 18. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 9.

Otro indicador de acreción o estabilidad fueron zonas en donde inicia el proceso de colonización de la vegetación, lo que da pie al desarrollo de dunas embrionarias. La estructura de la vegetación es típica de ambientes costeros con escasa, mas no ausente, presión antrópica ya que de mar a tierra se encontraron pastizales seguidos de arbustos y de fondo estrato arbóreo (Fig. 51). Sin embargo la fragmentación de la vegetación es de hacer notar en algunas zonas, por el paso de personas y vehículos motorizados que ingresan a las playas.



Figura 51. Fotografía que muestra las playas contiguas a la estación 9. Tomada con dirección NW. Se muestran las condiciones típicas de las playas con ausencia de asentamientos humanos. En la parte inferior la ausencia de vegetación es resultado del paso de algunos vehículos y personas que forman algunas brechas.

La estación 10 pertenece al poblado de Barra Vieja, zona que cuenta con las modificaciones similares al sector norte, a pesar de contar con asentamientos rústicos que incluyen principalmente palapas, albercas y construcciones muy bajas (Fig. 52), la gran densidad espacial de estos inmuebles es de hacer notar debido a que algunos de ellos ejercen interrupción al sistema duna-playa.



Figura 52. Tipo de asentamientos que predominan en el poblado de Barra Vieja. Se incluyen palapas, albercas pequeñas y edificaciones de un solo piso, la vegetación es inducida con fines ornamentales.

Se presentó un perfil semirrecto sin presencia de dunas (Fig. 53 y Tabla 19). El tipo de vegetación es inducida con algunos palmares y pastos ornamentales en algunas áreas. Al ser una zona en donde la presencia de los servicios turísticos es importante, el paso de personas es muy alto, así como la presencias de vehículos motorizados.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández



Figura 53. Estación de campo N° 10, Barra Vieja. Fotografía tomada el 14/09/2012, con dirección NW.

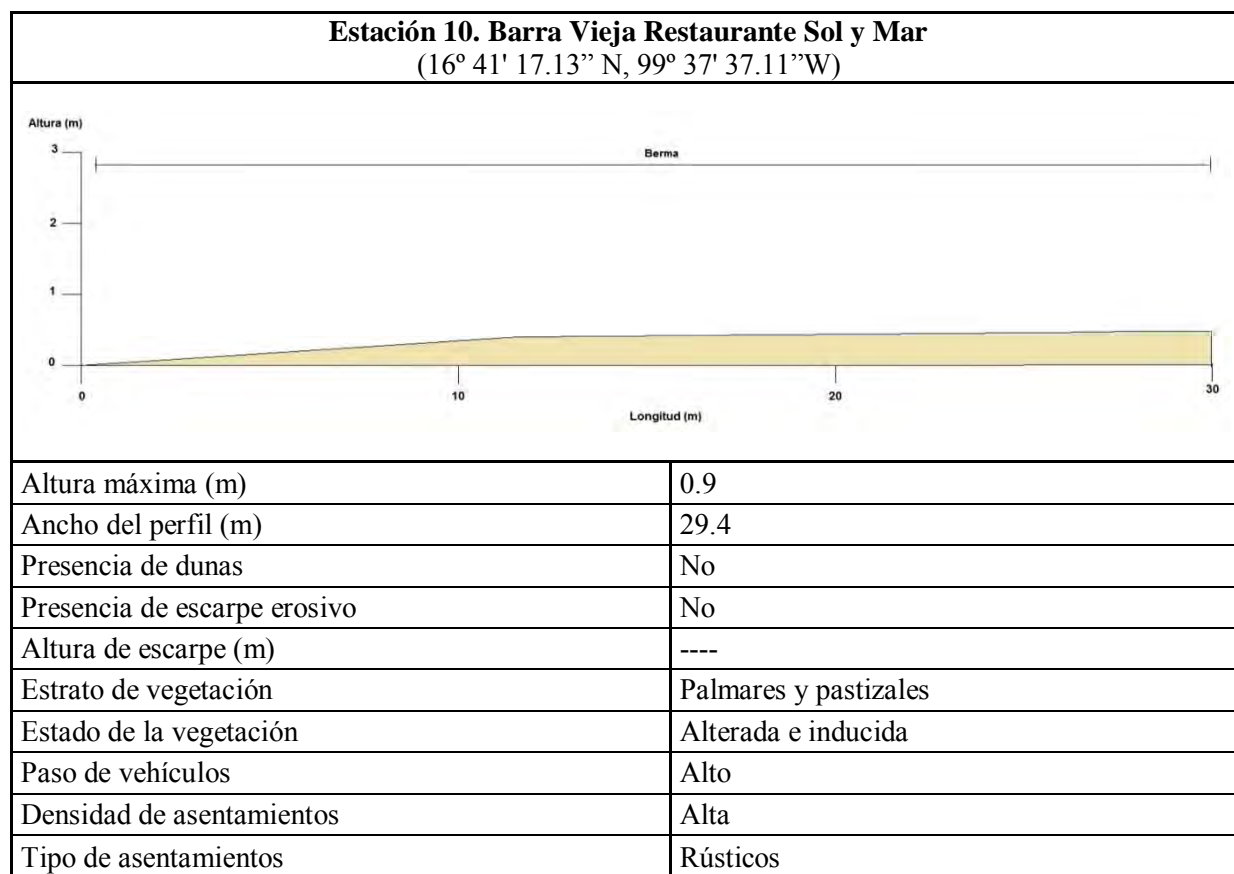


Tabla 19. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 10.

La siguiente estación, N° 11, se estableció al sur de la boca de la Laguna de Tres Palos. A partir de esta desembocadura hasta el río Papagayo la ausencia de personas y vehículos es notable.

Se registró un perfil muy amplio, el mayor de todos, con una berma y un escarpe de tormenta bien desarrollados (Fig. 54 y Tabla 20). El límite superior de la playa se estableció hasta la línea de vegetación, ya que hasta este punto no hubo registro alguno de dunas.

La vegetación se notó muy densa, y principalmente de pastizales en la zona frontal. La gran cantidad de escombros de marea sobre la supraplaya es importante, ya que facilitan a la retención de sedimentos y la estabilidad de las playas frente a eventos extremos. Sin embargo los pobladores se encargan de su remoción con la finalidad de aprovecharla como leña.



Figura 54. Estación de campo N° 11, Boca de la Laguna de Tres Palos Fotografía tomada el 16/09/2012, con dirección SE.

Cambios morfodinámicos (1951-2007) y sus implicaciones ante el ascenso del nivel del mar en el sector de playa Punta Diamante-Papagayo, Acapulco, Guerrero.

Jesús Emmanuel Bustamante Fernández

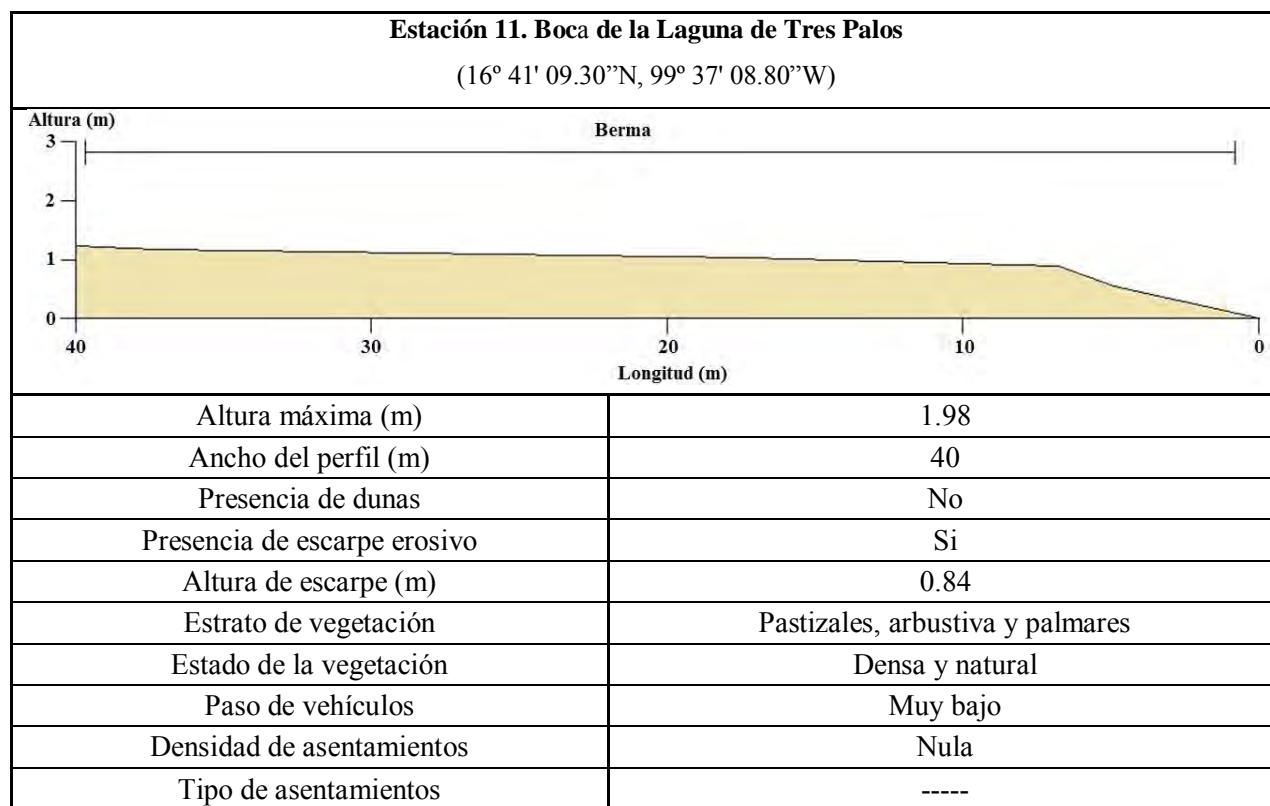


Tabla 20. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 11.

El último perfil de campo se localizó al norte de la desembocadura del Río Papagayo. Corresponde a una zona de frente deltáico y sus características geomorfológicas se presentaron como una serie de planicies escalonadas (Tabla 21) que representan la evolución del delta.

Cuenta con una berma bien desarrollada y amplia con presencia de escombros de tormentas acarreados por el Papagayo y depositados en la supraplaya por el oleaje (Fig. 55 y 56). La presencia de vehículos y personas es muy baja, la mayor parte de ellos son pescadores que han instalado algunas chozas en las zonas cercanas al río.

La vegetación es característica de zonas sin alteraciones importantes, y mantiene una estructura, que inicia con algunos pastizales seguidos por zonas en donde predominan los arbustos y ya tierra adentro una gran densidad de palmares.



Figura 55. Estación de campo N° 12, Desembocadura del Río Papagayo. Fotografía tomada el 16/09/2012, con dirección NW.



Figura 56. Fotografía de la desembocadura del río Papagayo. En la parte izquierda se observan algunas palapas de los pescadores locales, sobre la cresta de la berma se observan los depósitos de leña acarreados por el río y acumulados por el oleaje, la carga sedimentaria se observa en la turbidez del agua marina. Tomada con dirección SE.

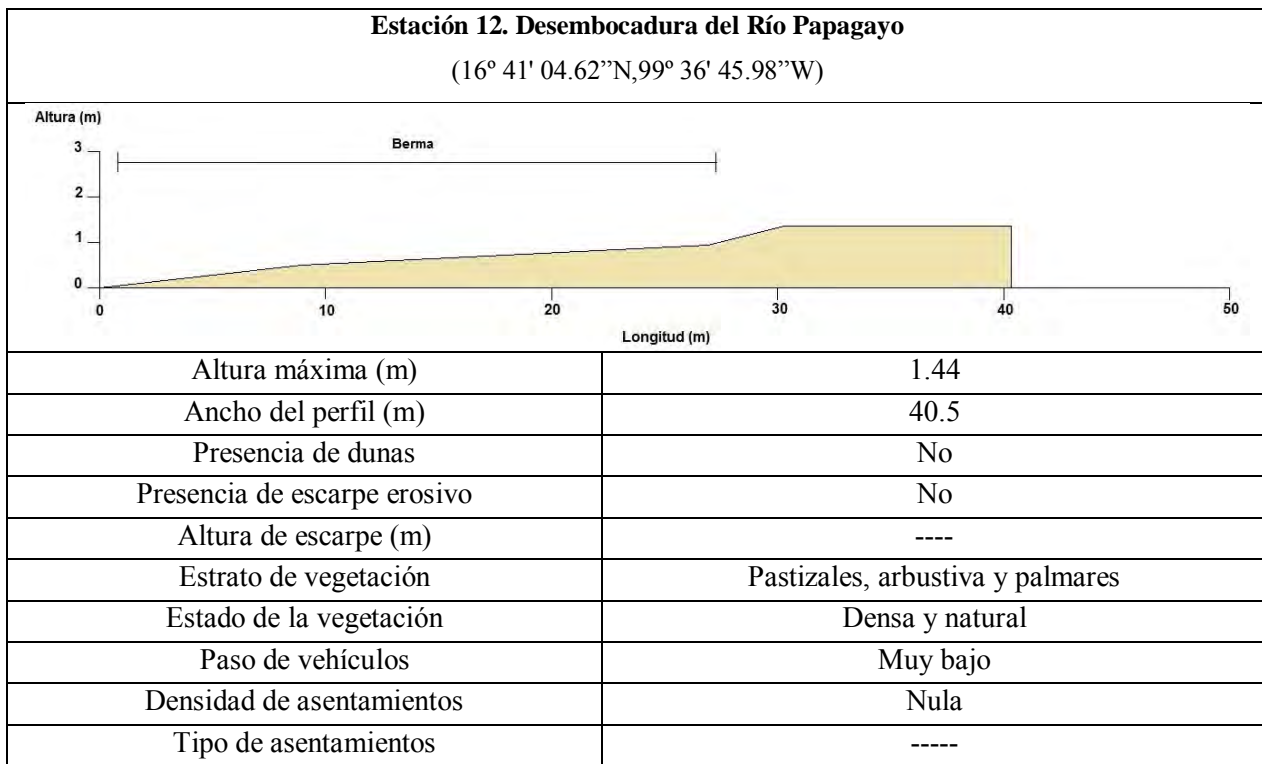


Tabla 21. Características morfométricas y ambientales de la estación de campo N° 12.

En cuanto a los atributos morfométricos, la longitud registrada en casi todas las estaciones se presenta muy similar. La diferencia se encuentra alrededor de los 10 metros como máximo, a excepción de la estación 9, en donde se registró una extensión máxima de 69.3 metros. Las pendientes de la berma presentaron mayor variación de un perfil a otro, comparadas con el sector norte. El valor mínimo se alcanzó en la estación 10, perteneciente a Barra Vieja, con 4°, en las estaciones de Casa Tasgar, Playa Encantada y la perteneciente a la desembocadura del Río Papagayo, donde la pendiente registrada fue de 6° y, finalmente, con los valores máximos 9° y 13°, se encontraron a las estaciones de las Ruinas de casas y la boca lagunar de Tres Palos.

En cuanto a la comparación espacial de la altura de la berma y el ancho de la playa, la relación existente comparándola con los perfiles del sector norte, muestra mayor relación en casi todas las estaciones (Fig. 57). Esto muestra una diferenciación muy clara del papel que juega la presión antrópica con respecto a las modificaciones de las playas.

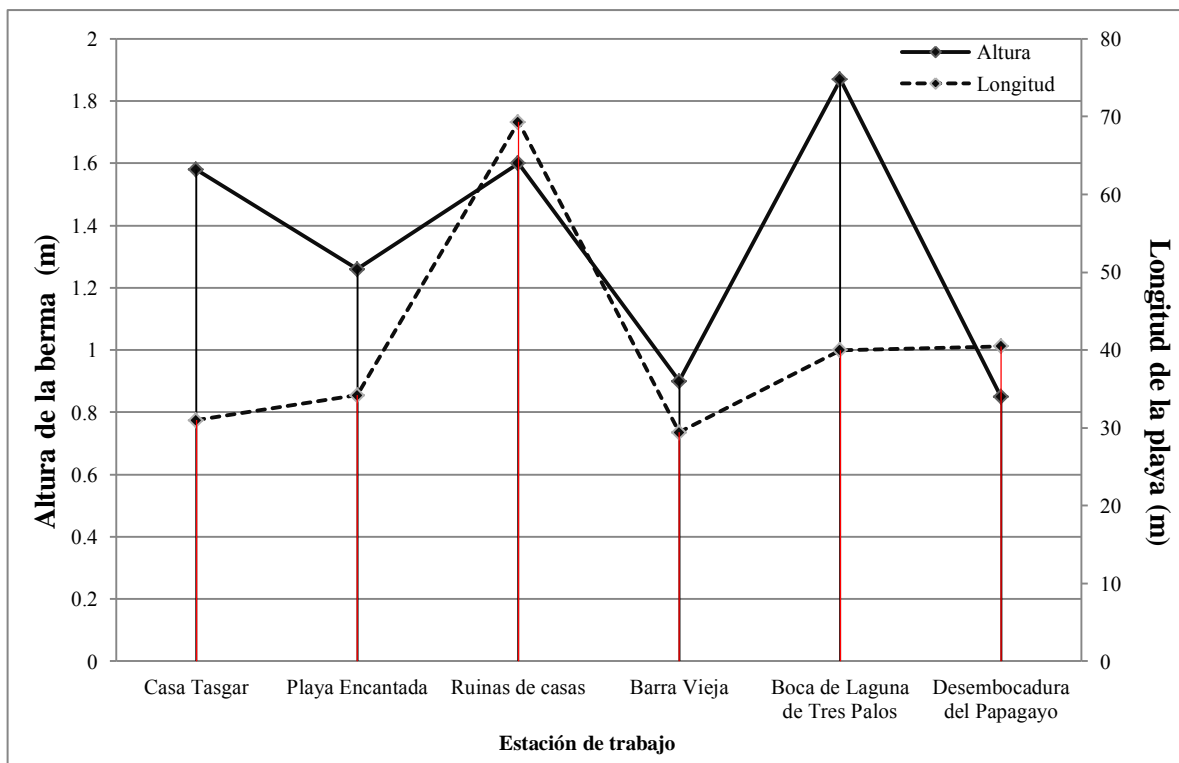


Figura 57. Gráfica de la relación entre altura de berma y longitud del perfil de playa de las estaciones 7 a 12. La numeración de las estaciones inicia de izquierda a derecha (7 a 12).

III.3. Afectaciones ante el ascenso del nivel del mar

Hasta ahora, con base en las condiciones morfométricas, morfodinámicas y ambientales de las playas, se ha demostrado el grado de exposición que presenta esta zona ante la dinámica marina. Tomando en cuenta las condiciones topográficas actuales de la planicie acumulativa, se encuentran diferentes zonas, que por sus rasgos de elevación presentan cierto potencial de inundación ante el ascenso del nivel del mar.

III.3.1. Características topográficas y de uso de suelo

Dentro de un área de 50 km², las principales características topográficas (Fig. 58) alcanzan alturas máximas de 10 metros y se localizan sólo en algunas áreas influenciadas por la alta densidad de construcciones. El gradiente altitudinal disminuye hacia el sur, en donde predominan valores altos de entre 4 y 5 metros. Estas alturas se encuentran paralelas a la línea de costa, sobre todo en las porciones centrales de la planicie. La altura gradualmente comienza a disminuir hacia las áreas de la laguna de Tres Palos y el océano.

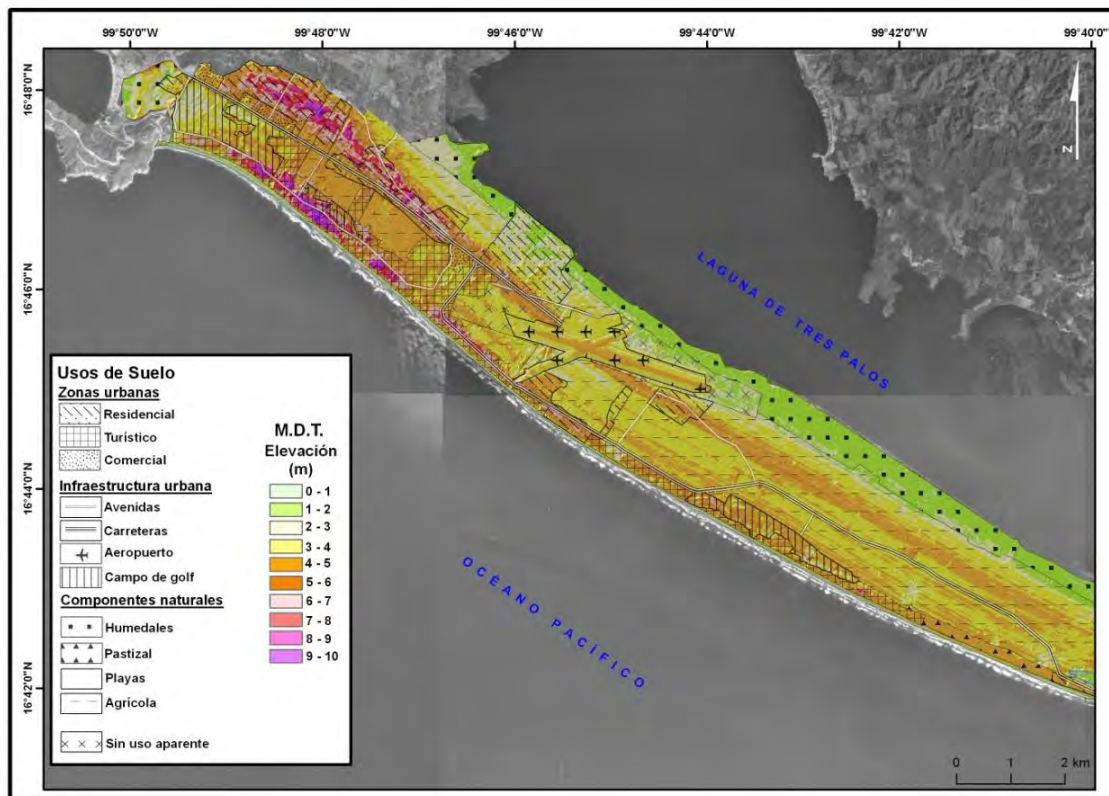


Figura 58. Mapa de las condiciones topográficas y de usos de suelo. Elaboración propia

El tipo de componentes naturales y antrópicos (ver Fig. 58), se resumen numéricamente la Tabla 22, que se muestra a continuación:

Tipo de usos y componentes naturales	km²	%
Residencial	6.29	12.58
Turístico	5.44	10.88
Comercial	0.61	1.22
Campos de golf	2.89	5.78
Aeropuerto	2.13	4.26
Suelos agrícolas	21.59	43.18
Playas	1.32	2.64
Humedales	6.28	12.56
Pastizal	0.76	1.52
Sin uso aparente	2.69	5.38
Total	50	100
Vías de comunicación	Km	%
Avenidas	20	45.45
Carreteras	24	54.55
Total	44	100

Tabla 22. Componentes de uso de suelo y componentes naturales.

El área con mayor extensión pertenece a suelos para uso agrícola, ocupando casi la mitad de toda esta área, su localización se encuentra en porciones, donde la actividad turística es escasa. La zona de humedales (12.58%) se ubica en toda la porción norte y occidental y, finalmente, los pastizales casi inexistentes (1.52 %) y con tendencias a desaparecer por la expansión urbana, se posicionan en las zonas centrales de la costa y muy cerca del litoral.

Las zonas residenciales y comerciales se presentan como núcleos aislados intercalados por zonas agrícolas y turísticas, principalmente en sectores alejados del litoral a excepción del poblado Alfredo V. Bonfil. El sector turístico, que incluye hoteles, condominios, villas y casas de descanso, junto con la infraestructura deportiva como los campos de golf, son de las áreas más susceptibles ante las inundaciones, por razones como la cercanía al litoral, las tendencias erosivas de las playas y la presencia de zonas cóncavas correspondientes a actuales o antiguos cuerpos de agua, además de las depresiones o “caños” entre los cordones litorales.

En lo que respecta a las principales vías de comunicación, avenidas y carreteras, la extensión de esta red alcanza los 44 kilómetros de longitud. Una gran parte de ellas funge como eje conector de todo el corredor turístico. Además, un atributo que sobresale es que juegan un papel importante dentro de las características topográficas, ya que en algunas zonas se presentan como barreras, que impiden la continuidad natural de la elevación del terreno.

III.3.2. Áreas de impacto

Bajo la tendencia de aumento mínima (2 metros), las principales afectaciones resultarían en el recurso playa, afectando casi la mitad del área actual de éstas (Tabla 23). De igual manera, se verían afectadas algunas porciones pequeñas de humedales, como la desembocadura de la laguna de Puerto Marqués y también una porción de la zona hotelera contigua.

Usos y componentes	Área afectada	Tipo de impacto		
		Mínimo (2m)	Medio (3m)	Máximo (4m)
Residencial	km2	---	0.04	2.10
	%	---	0.57	33.39
Turístico	km2	0.01	0.03	4.79
	%	0.11	0.60	88.05
Comercial	km2	---	---	0.04
	%	---	---	6.56
Campos de golf	km2	---	0.31	1.19
	%	---	10.85	41.18
Aeropuerto	km2	---	---	2.09
	%	---	---	98.12
Suelos agrícolas	km2	---	---	13.82
	%	---	---	64.01
Playas	km2	0.64	0.93	2.60
	%	48.83	70.63	99.8
Humedales	km2	0.01	0.26	6.25
	%	0.08	4.18	99.52
Pastizal	km2	---	---	0.04
	%	---	---	5.26
Sin uso aparente	km2	---	---	2.10
	%	---	---	78.07

Tabla 23. Áreas (km2) y porcentajes de tipos de uso de suelo y componentes naturales con posibles afectaciones ante el ascenso del nivel del mar.

En condiciones de impacto medio, aumento a 3 metros, la pérdida de las playas sería de casi tres cuartas partes de éstas, viéndose como las más afectadas aquéllas que pertenecen al poblado Alfredo V. Bonfil y al Club de Golf “Tres Vidas”. La zona de desembocadura de la laguna de Marqués, se inundaría por completo, afectando así a las zonas deprimidas de los campos de golf, cercanos a Punta Diamante y, de igual manera, a la zona hotelera de la zona (Fig. 58).

Finalmente, el escenario de impactos máximos, correspondiente a 4 metros de aumento, demuestra un gran potencial de afectar, de manera drástica, a un poco más de la mitad de la planicie mapeada, es decir 33 km², que representan el 67 % del total del área. Para este escenario, se afectarían de manera considerable, todas las categorías de uso de suelo con la pérdida total de playa y de humedales, lo que favorecería a la penetración de agua salina en algunos de los recursos hídricos. Gran parte de la zona turística aledaña a Punta Diamante, así como algunas zonas agrícolas localizadas al sur, mantienen un alto potencial de inundación.

Dentro de la infraestructura de vías de comunicación, el aeropuerto se muestra como un sitio propenso al impacto. Además, se incluyen un poco más de 7.5 kilómetros de avenidas y 11 de carreteras, sobre todo aquellas cercanas al litoral.

Es importante resaltar que recientemente, tras el paso del huracán Manuel en 2013, se corroboró el alto grado de susceptibilidad de inundación en algunas zonas (Fig. 59) como lo son aquellas aledañas a las lagunas de Tres Palos y la de Puerto Marqués (ver Fig. 20). Por lo tanto se deduce que no solo el aumento del nivel medio del mar es un factor de amenaza por inundaciones en esta costa, sino también los eventos hidrometeorológicos de corto plazo deben de ser tomados en cuenta para la prevención de futuros desastres costeros.

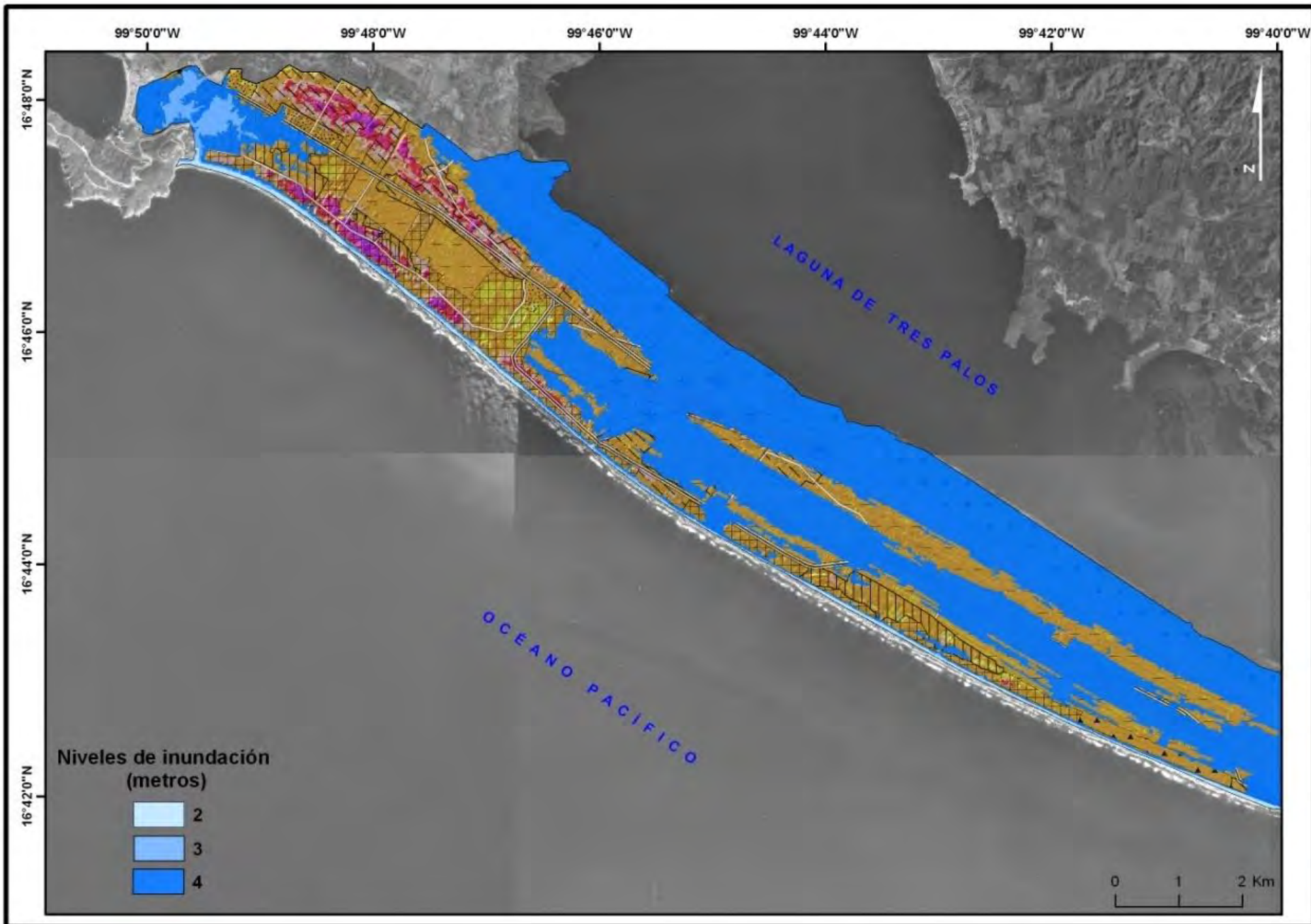


Figura 59. Mapa zonas potencialmente inundables ante el ascenso del nivel del mar a 2, 3 y 4 metros.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El desarrollo turístico y urbano de la zona costera perteneciente a Acapulco Diamante, como se indica en su evolución histórica, fue realizado sin una adecuada planeación previa, que incluyera el funcionamiento de los sistemas naturales aledaños. Los resultados de dicha falta de visión y organización se palpan en algunos sectores de la costa, que incluyen a las playas, el recurso más importante del municipio.

El análisis multitemporal de la morfodinámica de las playas fue de gran utilidad, porque mostró la evolución y las tendencias de la dinámica de los procesos costeros durante los últimos 50 años. Otro de los principales elementos o atributos que se identificaron, están los cambios en el paisaje costero, ligados al grado de urbanización que ha seguido la zona contigua al litoral.

Se reconoce que la porción con mayor grado de urbanización se localiza al norte y está representada por grandes complejos hoteleros, mientras que en la zona sur, el tipo de asentamientos tienden a ser rústico, incluso predominan aún algunas zonas sin asentamientos humanos.

La sectorización de la zona de estudio, en norte y sur, permitió realizar una comparación de las variaciones hiperanuales que sigue la línea de costa en playas con diferentes niveles de presión antrópica.

La relación existente entre las modificaciones morfológicas y ambientales de las playas y las tendencias de avance o retroceso de la línea de costa guardan una estrecha relación. Esto se validó con los perfiles de campo, en donde se identificaron lugares con importantes modificaciones al sistema playa-duna y que cuentan con tendencias erosivas actuales.

La tendencia ambiental negativa y el retroceso de las playas evidencian su carácter reciente, ya que en el período comparativo de los últimos 12 años (1995-2007), es cuando se detectó la mayor pérdida de playa. En general, se pueden identificar tres zonas de erosión máxima:

1. Punta Diamante: Las playas de esta zona, hasta un poco más al sur de la estación de medición N° 4, mostraron el mayor retroceso y, en consecuencia, una mayor pérdida de playas en años recientes. Dentro de las razones que justifiquen dicho retroceso pudieran estar la lejanía que guardan con respecto a la principal fuente de sedimentos, el río Papagayo, y la amplia temporalidad que tienen con respecto a la presencia de los grandes complejos hoteleros.

2. Club de Golf “Tres Vidas”: Esta es una zona con tendencias erosivas menores a la de Punta Diamante, aparentemente la influencia antrópica para la construcción de la infraestructura deportiva ha favorecido la pérdida de playas. Las dunas muestran un perfil totalmente modificado y con potencial para la erosión continua.
3. Frente del río Papagayo: Esta zona presenta una gran dinámica, como resultado de su interacción directa con la descarga sedimentaria de esta notable corriente fluvial. Históricamente, mostró un avance considerable, que se revirtió en el último período de estudio, lo cual pudiese ser el resultado de la reducción en la carga de sedimentos o simplemente por características temporales hidrodinámicas, que dominaban durante el momento de la captura del material fotográfico.

En general, las zonas con mayor erosión, a excepción del río Papagayo, corresponden a playas con las mayores modificaciones de sus condiciones morfológicas. Esto trae consigo, no solo pérdida de tierras, sino una potencial afectación ante fenómenos marinos que involucren el aumento del nivel del mar, ya sea por cuestiones a corto plazo, tormentas o ciclones tropicales, o a largo plazo, ligado a cuestiones de cambio climático. Un ejemplo reciente fueron las afectaciones originadas por el huracán Manuel en las costas guerrerenses y la influencia del huracán Ingrid en el Golfo de México, en el mes de septiembre de 2013, debido a las intensas precipitaciones y escurrimientos fluviales, y a la caótica planeación urbana y deficiente red de drenaje en la zona del Hotel Princess y el Revolcadero, que determinaron la pérdida de 123 vidas, 68 desaparecidos, miles de evacuados y de viviendas dañadas.

En cuanto a la determinación de las posibles áreas afectadas por inundaciones costeras, se demostró el potencial que tiene el Modelo Digital del Terreno, con base en datos LiDAR, para el establecimiento de áreas susceptibles a la penetración marina sobre la planicie costera. Este modelo permitió conocer, representar y extraer algunos de los atributos de las condiciones topográficas, sin embargo, sería óptimo contar con más información sobre toda la planicie, con el fin de tener algún registro cartográfico de todo este entorno y no solo de las zonas urbanas.

Los escenarios de posibles inundaciones están asociados con zonas, que por condiciones topográficas, pudieran favorecer la continuidad de la penetración marina. Dentro de toda el área cartografiada, la zona con mayor afectación sería la que se encuentra al sur, cuyos niveles de susceptibilidad se vinculan a zonas aún con condiciones naturales y sin modificaciones en sus rasgos topográficos. En las porciones más urbanizadas, las zonas susceptibles están representadas

por áreas pertenecientes a zonas deprimidas de actuales y antiguos cuerpos de agua, que han sido ocupados en la actualidad por campos de golf, zonas turísticas y algunos conjuntos habitacionales.

Finalmente, sería pertinente realizar una revisión y caracterización de las condiciones naturales en áreas aún sin construcciones cercanas al litoral, debido a que las características actuales de las zonas hoteleras favorecen a la degradación continua de las playas. Se recomienda incluir alternativas que tomen en consideración áreas con perspectivas de expansión urbana, con el único objetivo de favorecer una planeación realmente sustentable y mantener un desarrollo económico y turístico que disminuya las afectaciones de las condiciones naturales, que repercuten directamente en la población y la infraestructura urbana y el turismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alessio R, V., 1932. Acapulco en la historia y en la leyenda. Mundial, México D. F., 205 p.
- Álvarez A., A. D. y J., Gaitán M., 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano: Geología. En G. de la Lanza Espino y C. Cáceres Martínez (coords.) Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 530 p.
- Arriaga C, L.; V. Aguilar S., J. Alcocer D., R, Jiménez R., E. Muñoz L. y E. Vázquez D. (coords.), 1998. Regiones hidrológicas prioritarias: Fichas técnicas y mapa (escala 1:4 000 000). CONABIO, México, D. F., 142 p.
- Barbosa J., A. M. y A., Santamaría G., 2005. Estudio comparativo de playas: Mazatlán, Acapulco, Cancún y Los Cabos (1970-2005). Universidad Autónoma de Sinaloa, México, 152 p.
- Barrios R., M. L., 2012. Variaciones morfodinámicas de la costa deltáica de Tabasco. Tesis de licenciatura. Facultad de filosofía y Letras, UNAM, México, 150 p.
- Beatley, T, D. J., Brower & A. K., Schwab, 2002. An introduction to coastal zone management. 2^a ed. Island Press, Washington, 210 p.
- Bird, E., 2008. Coastal geomorphology. An introduction, 2^a ed. J Wiley, New York, 322 p.
- Boak, E. & I., Turner, 2005. Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, 21 (4):688-703.
- Bolónaro, C., A. Z., Márquez G., V., Torres R. y A., García V., 2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, pp. 73-96. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J.L. Rojas G. (eds). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. SEMARNAT-INE, UNAM-ICCMYL, Universidad Autónoma de Campeche, 514 p.
- Camfield, F. & A., Morang, 1996. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean and Coastal Management*, 32 (3):129-151.
- Campodónico, C., 1981. El crecimiento de Acapulco. Ayuntamiento de Acapulco, México, 164 p.
- Cárdenes, G. y L., Obando, 2005. Índice de erosión-sedimentación costera (IE-SC): Una aplicación en la costa del Pacífico central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 32:33-43.
- Carranza E, A., M. Gutiérrez E. y R. Rodríguez T., 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. En Anal. Ciencias del Mar y Limnología, vol. 2, núm. 1, pp. 81-88.

- Carranza-E., A., 2010. Causas y consecuencias de la erosión de playas. pp. 36-50. En Yáñez Arancibia, A. (ed), Impactos del cambio climático sobre la zona costera, INECOL, INESEMARNAT, Texas Sea Grant Program, México, D. F.
- Castillo, V. y L., Capurro, 2000. Las playas de la Península de Yucatán: evolución de la línea de costa. *Avance y perspectiva*, CINVESTAV, 19 julio-agosto: pp. 195-201.
- Castro, C., y E., Morales, 2006. La zona costera. Medio natural y ordenación integrada. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, 210 p.
- Chaline, J., 1972. El cuaternario. La historia humana y su entorno. Akal, Madrid 312 p.
- Chopra, G., 2006. Coastal and marine geography. Commonwealth, India, 281 p.
- Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2010. The beach management manual. 2º ed. CIRIA Environment Agency, England, 915 p.
- CNN México (17 de septiembre de 2013). Celebrities piden a sus seguidores apoyo a damnificados en Acapulco. CNN México sitio web. <http://mexico.cnn.com/entretenimiento/2013/09/17/celebridades-piden-a-sus-seguidores-apoyo-para-damnificados-en-acapulco> (consultado el 14 de noviembre de 2013)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) sitio web, Trayectoria del huracán “Paulina”. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cgi-bin/huracan_s.cgi?listamapas=romilar%3Dtrayec.txt&tit=TRAYECTORIA&ma=CICL%3DNICA (Consultado el 11 de febrero de 2013)
- CONABIO, 1998. Ficha técnica de regiones hidrológicas prioritarias, 29 Río Papagayo-Acapulco. CONABIO, México, 141 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2011. Estadísticas del Agua en México. Ed. 2001. SEMARNAT, México, D. F., 181 p.
- Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1999. Monografía geológico-minera del estado de Guerrero. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, D. F., 262 p.
- Cromwell, T. y E., Bennett, 1959. Surface drift charts for the eastern tropical Pacific Ocean. Interamerican tropical Commission Bulletin, Vol. III, No. 5.
- Cruz González, M., 2012. Variaciones estacionales en la línea de costa entre el Canal de Cuautla y el Estero de San Cristóbal, Nayarit. Tesis de licenciatura, México, D. F., 130 p.
- Cruz L, D. E., H. R., Sánchez A. y O, Lemus B, 2000. Resumen de la Carta Geológico-Minera, Acapulco e14-11, Guerrero y Oaxaca, a escala 1:250,000, Servicio Geológico Mexicano, México, D. F.
- Curry, J.R., Emmel, F.J., Crampton, J.S., 1969. Holocene history of a strand plain, lagoonal coast, Nayarit, Mexico. In: Ayala-Castañares, A., Phleger, F.B. (Eds.), Coastal Lagoons, a Symposium. UNAM, Mexico City,

- Curry, J.R., Moore, D.G., 1964. Pleistocene deltaic progradation of continental terrace, Costa de Nayarit, Mexico. In: Van Andel, T.H., Shor Jr., G.G. (Eds.), *Marine Geology of the Gulf of California*. American Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Oklahoma, pp. 193-215.
- Davidson-Arnott, R., 2010. *An introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University Press, USA, 442 p.
- Davis, R. & D. Fitzgerald, 2004. *Beaches and coasts*. Blackwell publishing, Australia, 419 p.
- Dillenburg, S. R., & P. A., Hesp, 2009. Coastal barriers. An introduction. In Dillenburg S. R. y P. A. Hesp (eds.) *Geology and geomorphology of Holocene Coastal barriers of Brazil*. Springer, Berlin, 380 p.
- Fairbridge, R., 2004. Classification of coasts. *Journal of Coastal Research*, 20 (1): 155-165.
- Farris, A. & J., List, 2007. Shoreline change as a proxy for subaerial beach. *Journal of Coastal Research*, 23 (3):740-748.
- Figueroa, E., 1980. Atlas geográfico e histórico del estado de Guerrero. FONAPAS, Guerrero, 171 p.
- Fitzpatrick, E. A., 1980. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Continental, México, D. F., 430 p.
- Flamand, C. L., 1991. Pacífico Tropical Mexicano, Cabo Corrientes a la frontera con Guatemala. Oceanografía geológica. En G. de la Lanza Espino (comp.) *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT, México, D. F., 569 p.
- Fletcher, C., J., Rooney, M., Barbee, S., Lim & B., Richmond, 2003. Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, SI (38):106-124.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5ª edición. México, D. F., 90 p.
- Gutiérrez M y R. García, 1997. (10 de octubre de 199), 121 muertos por Paulina en Oaxaca y Guerrero. La Jornada <http://www.jornada.unam.mx/1997/10/10/paulina.html> (Consultado el 11 de febrero de 2013).
- Haslett, S., 2009. *Coastal system*. 2º ed. Routledge, New York, 216 p.
- Hernández, M. E. y G. Valdez , 2009. Mapa I.2.3.2. Trayectoria y frecuencia de entradas de perturbaciones tropicales por estado. Océano Pacífico. Etapa de caracterización y diagnóstico para el Ordenamiento Ecológico General del Territorio. POEGT. Primer informe técnico. SEMARNAT; INE; Instituto de Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM. 174 p.
- Hernández C, M. E. y G., Valdez Madero, 2004. Mapa I.2.3.2. Trayectoria y frecuencia de entradas de perturbaciones tropicales por estado, Océano Pacífico, 1 hoja.

- Hernández Santana, J. R. y M. A., Ortiz Pérez, 2005. Análisis morfoestructural de las cuencas hidrográficas de los ríos Sabana y Papagayo (tercio medio e inferior), estado de Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas*, No. 56, pp. 7-25.
- Hernández Santana, J. R., M. A., Ortiz Pérez, A. P., Méndez Linares y L., Gama Campillo, 2008. Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del Siglo XX hasta el presente. *Investigaciones Geográficas*, No. 65, pp. 7-21.
- Hesp, A. P., 1999. The beach backshore and beyond, pp. 145-167. En A. D., Short (ed.), *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Wiley, New York, 380 p.
- Hugget, R. J., 2011. Fundamentals of geomorphology, 3° ed. Routledge, Oxon, 516 p.
- Hughes, M., & I., Turner, 1999. The beach face, pp. 119-144. En A. D., Short (ed.), *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Wiley, New York, 380 p.
- Hyndman, D. & D., Hyndman, 2009. Natural hazards and disasters, 2° ed. Brooks, Canada, 558 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Sitio web. Censos de población y vivienda, varios años. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/>
- 1995. Ortofotos de Acapulco escala 1:20 000, febrero/1995.
- 2005. Datos vectoriales de división política estatal y localidades urbanas.
- 2005. Datos vectoriales de vegetación, Serie III, escala 1:250,000.
- 2007. Ortofotos de Acapulco escala 1:10 000, julio/2007.
- 2011. Anuario Estadístico de Guerrero 2011. INEGI, Gobierno del Estado de Guerrero, México, 651 p.
- INE, CONAGUA, 2007. Mapa de cuencas hidrográficas de México, a escala 1:250,000.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y CONABIO, 1995. Mapa de Edafología a escala 1:1 000 000.
- Inman, D. L. y C. E., Nordstrom, 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *The Journal of Geology*, 79 (1), pp. 1-21.
- Komar, P., 1998. Beach processes and sedimentation. Prentice Hall, New Jersey, 544 p.
- Kraft, J. C. & M.J., Chrzastowski, 1985. Coastal stratigraphic sequences. In Davis R. A. Jr. (ed.), *Coastal sedimentary environments*, 2° ed. Springer Verlag, New York. 716.
- Maderey, R, L.E. y C., Torres, 1990. Mapa de hidrografía e hidrometría, a escala 1:4,000,000. En Atlas Nacional de México, vol. II, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Magaña, V., J. L., Pérez, J. L., Carrizo, J., Pérez, 1999. El Niño y el clima. En Magaña Rueda, V. (ed.) Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la atmósfera, UNAM, Secretaría de Gobernación, México, D. F., 229 p.

- Márquez, A.Z., E., Márquez, A., Bolóngaro y V., Torres, 2010. Cambios en la línea de costa en la Riviera Maya debido a fenómenos hidrometeorológicos extremos ¿Consecuencia del cambio climático global?, pp. 345-358. En: A.V., Botello, S., Villanueva-Fragoso, J., Gutiérrez y J. L., Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICCMYL, Universidad Autónoma de Campeche, 514 p.
- Martín Obregón, P. (26 de septiembre de 2013). Presa la Venta desfoga agua sin control. Noticias Televisa Sitio Web <http://noticieros.televisa.com/mexico/1309/presa-la-venta-desfoga-agua-control/> (consultado el 14 de noviembre de 2013)
- Martínez J., 1997. Geomorfología ambiental. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 196 p.
- Martínez, M. L., 2009. Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. Fondo de Cultura Económica, 189 p.
- Masselink, G. & M., Hughes, 2003. Introduction to coastal processes and geomorphology. Arnold, London, 354 p.
- Matías, L. G., 1998. Algunos efectos de la precipitación del huracán Paulina en Acapulco, Guerrero. *Investigaciones Geográficas*, No. 37, pp. 7-20 p.
- Medina, J. M., 1998. Hidrodinámica del perfil de playa. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, España, 181 p.
- Méndez L., A. P., J. A., López-Portillo G., J. R., Hernández S., M. A., Ortiz P., O., Oropeza O., 2007. The mangrove communities in the Arroyo Seco deltaic fan, Jalisco, México, and their relation with the geomorphic and physical-geographic zonation, *CATENA*, 70:127-142.
- Moran, A. & L., Parson. 2002. Coastal terminology and geological environment in Part Chairman. Coastal engineering manual, part IV., US Army Corps of Engineers, Washington, D.C., pp. 1-49.
- Moreno C. I., 2007. Manejo integral costero. Por una costa más ecológica, productiva y sostenible. Universidad de Illes Bealers, Palma de Mallorca, 217 p.
- National Hurricane Center (NHC), sitio web. National Weather Service of NOAA. www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml (Consultado el 5 de febrero de 2013).
- Nicholls, R., 2010. Impacts of and responses to sea level rise. In J., Church, P., Woodworth, T., Aardup and W., Wilson (eds.) *Understanding sea level rise and variability*, Wiley-Blackwell, U.K., 428 p.
- Nordstrom, Karl, 2000. Beaches and dunes of developed coasts. Cambridge University, New York, 338 p.
- Ojeda Z., J., I., Vallejo Villata y G., González Romero, 2001. El acceso de los Estados al mar: áreas costeras y cuencas marinas, pp. 41-57. En J. L., Suárez de Vivero (ed.). Los océanos: medio ambiente, recursos y políticas marinas. Serbal, Barcelona, 308 p.

- Ortíz, M. A. y G. de la Lanza Espino, 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Instituto de geografía, UNAM, México, D. F., 138 p.
- Ortíz, M. A. y G., de la Lanza Espino, 2006. Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional. U.N.A.M., México, D. F., 138 p.
- Ortíz Pérez, M. A. y J. R., Hernández Santana, 2003. Informe final de la manifestación de impacto ambiental modalidad regional del proyecto hidroeléctrico “La Parota”, Guerrero. Capítulo IV. Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias de desarrollo y deterioro de la región. UNAM, México, D. F., 78 p.
- Ortíz Pérez, M.A. y A. P., Méndez Linares, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, No. 39, pp. 46-61.
- Ortíz Pérez, M.A. y A. P., Méndez Linares, 2000. Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa Atlántica de México. *Investigaciones Geográficas*, No. 41, pp. 46-61.
- Pacheco Sandoval, P., 1991. Pacífico Tropical Mexicano, Cabo Corrientes a la frontera con Guatemala. Oceanografía física. En G. de la Lanza Espino (comp.) Oceanografía de mares mexicanos. AGT, México, D. F., 569 p.
- Palacio A. G., 2001. Detección de cambio 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*, No. 46, pp. 7-14.
- Palacio P. J. L., M. A., Ortíz Pérez y A., Garrido Pérez, 1999. Cambios morfológicos costeros en Isla del Carmen, Campeche por el paso del huracán “Roxanne”. *Investigaciones Geográficas*, No. 40, pp. 48-57.
- Presencia una mirada a la información, revista electrónica. 2013. Acapulco inundado e incomunicado (16 de septiembre de 2013). <http://www.presenciaunamiradaalainformacion.com.mx/2013/09/16/acapulco-inundado-e-incomunicado/> (consultado el 25 de septiembre de 2013)
- Publimetro, 2013. Fotos: Acapulco, devastado por Manuel. (16 de septiembre de 2013) <http://www.publimetro.com.mx/noticias/fotos-acapulco-devastado-por-manuel/mmip!xhsSxVy gHvNNw/>. (consultado el 24 de septiembre de 2013)
- Reyes, Laura (16 de septiembre de 2013) La tormenta Manuel deja incomunicado al puerto de Acapulco. CNN México sitio web. <http://mexico.cnn.com/nacional /2013/09/16/la-tormenta-manuel-deja-incomunicado-al-puerto-de-acapulco> (Consultado el 14 de noviembre de 2013)
- Reyes, Laura (28 de septiembre de 2013). Congreso de Guerrero autoriza 865 mdp para atender el desastre por lluvias. CNN México sitio web <http://mexico.cnn.com/nacional/2013/09/28/empresarios-de-acapulco-reciben-apoyos-para-recuperar-economia-del-puerto>
- Rosengaus Moshisky, M., M., Jiménez Espinosa y M. T., Vázquez Conde, 2002. Atlas climatológico de ciclones tropicales en México. CENAPRED, IMTA. México, D. F., 106 p.

- Ruiz Massieu, J. F., 1992. La saga del sol, La renovación turística en Guerrero. Acapulco, Taxco y Zihuatanejo. Gobierno de Guerrero, México, 344 p.
- Russell, J. y W., Russell, 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Ed. Aguilar, España, 800 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2011. Panorama agroalimentario y pesquero del estado de Guerrero 2011. SAGARPA y Gobierno del estado de Guerrero, México, D. F., 51 p.
- Sallie, I and O. J., Furuseth, 1988. Community response to coastal erosion: The view from two North Carolina beach area. *Ocean and Shoreline Management*, 11:177-193.
- Schwartz, M. (ed.), 2005. Encyclopedia of coastal science. Springer, Netherlands, 1211 p.
- Secretaría de Marina (SEMAR), 1980. Geomorfología y procesos sedimentarios en la región costera de la bahía de Acapulco, Guerrero. SEMAR, México, D. F., 73 p.
- SEPLAP, 1985. Geografía física del estado de Guerrero. Gobierno de Guerrero, México, 155 p.
- Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta geológico-minera Acapulco e14-11, Guerrero y Oaxaca, a escala 1:250,000.
- Servicio Mareográfico Nacional, UNAM, sitio web. Datos de planos de marea de la estación Acapulco, Guerrero. <http://www.mareografico.unam.mx/Mareografico/> (Consultado el 21 de marzo de 2013).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN), sitio web. Resumen de la temporada de ciclones, varios años. www.smn.cna.gob.mx/ciclones. (Consultado el 5 de febrero de 2013).
- Datos de la estación climatológica (12223) “Laguna 3 Palos, Acapulco” de 1981 a 2010.
- Datos de la estación climatológica (12142) “Acapulco”, de 1973 a 2008.
- Datos del Observatorio sinóptico (76805), Acapulco Guerrero, de 1990 a 2010.
- Servín, M., 1998. Sobre medio ambiente, turismo y desarrollo. El caso de Acapulco. Ed. Limusa, México, D. F., 76 p.
- Short, A. (ed.), 1999. Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Wiley, New York, 380 p.
- Smithson, A. and K., Atkinson, 2008. Fundamentals of the physical environment. Abingdon, Routledge, 775 p.
- Snoussi, M., T., Ouchani y S., Niazi, 2007. Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 77:206-213.

Texas A & M University, Division of Nearshore Research.
<http://lighthouse.tamucc.edu/Waves/NextPage1> (Consultado el 12 de enero de 2013).

Torres Rodríguez, V., A., Márquez García, Bolóngaro Crevenna, Chavarría Hernández, E., Díaz y E., Márquez García, 2010. Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debido a efectos del cambio climático, pp. 325-344. En: A.V., Botello, S., Villanueva-Fragoso, J., Gutiérrez y J. L., Rojas Galaviz (eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. SEMARNAT-INE, UNAM-ICCMYL, Universidad Autónoma de Campeche, 514 p.

Trasviña, A., D. Llucha Cota, A. E. Filinov y A. Gallegos, 1999. Oceanografía y el Niño. El pacífico Mexicano. En Rueda, V. (ed.) *Los impactos de El Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Secretaría de Gobernación, México, D. F., 229 p.

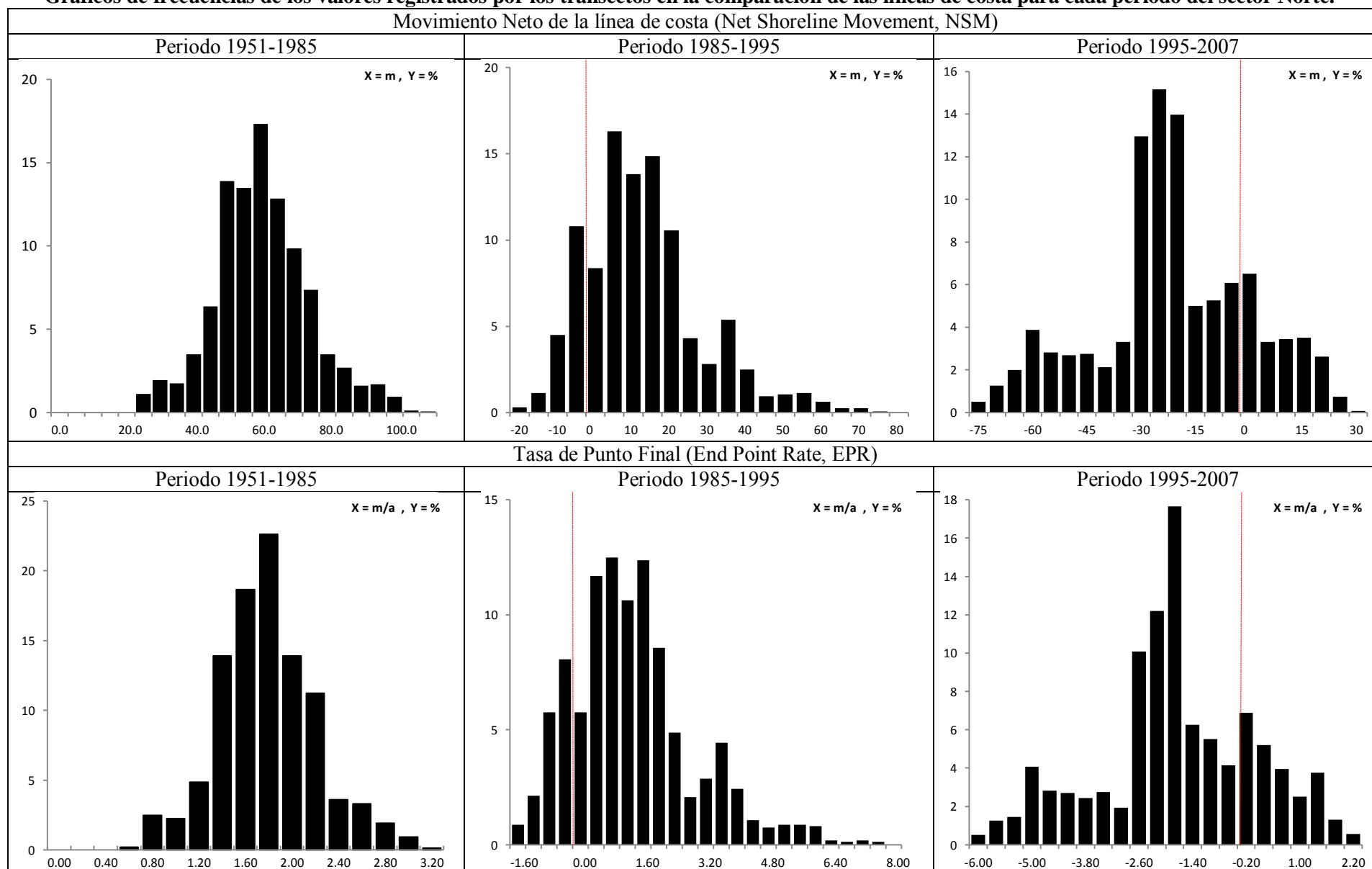
Vázquez Domínguez, E., L., Arriaga, J., González Cano, V., Aguilar, R.M., Olvera, H., Beraldi, J., Alarcón (comps.), 1998. La regionalización. Provincias costeras y oceánicas. En L., Arriaga Cabrera, E., Vázquez Domínguez, J., González Cano, R., Jiménez Rosenberg, E., Muñoz López, V., Aguilar Sierra (coords.). *Regiones prioritarias marinas de México*. CONABIO, México, D. F., 198 p.

Vernberg, J., 2001. *The coastal zone: past, present and future*. University of South California, Columbia, 191 p.

Vidal Zepeda, R., 2005. *Las regiones climáticas de México*. UNAM, México, D. F., 213 p.

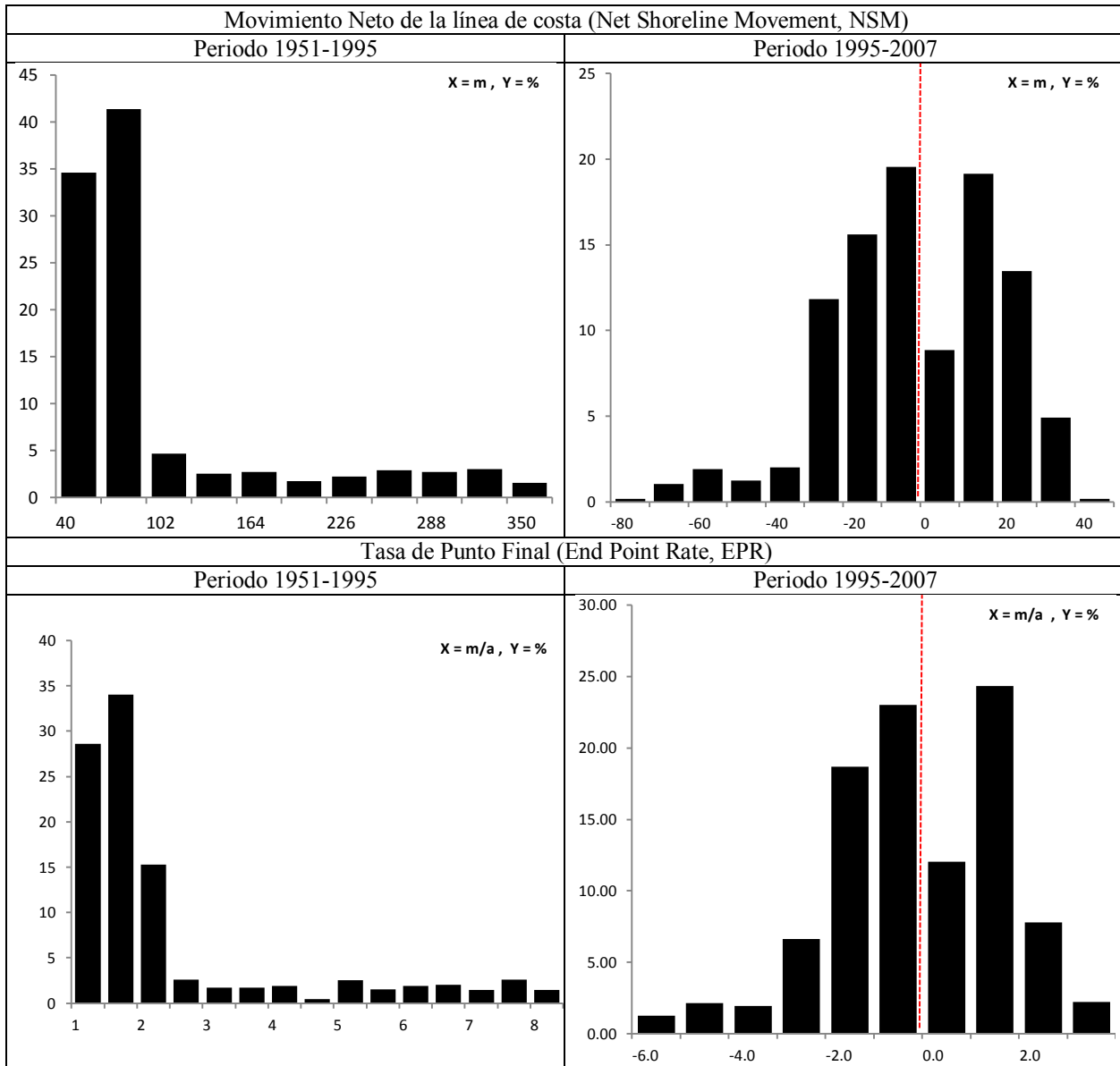
ANEXO

Gráficos de frecuencias de los valores registrados por los transectos en la comparación de las líneas de costa para cada periodo del sector Norte.



Las gráficas superiores muestran el desplazamiento registrado para el total de los datos que corresponden a cada uno de los tres periodos de medición. La línea roja punteada indica el valor 0. Se percibe la forma en que gradualmente las tendencias erosivas comienzan a aparecer en cada periodo. Desde una distribución normal en el primer periodo, hasta mostrar una distribución sesgada hacia los valores negativos en el periodo reciente (1995-2007)

Gráficos de frecuencias de los valores registrados por los transectos generados para la comparación de las líneas de costa para cada periodo del sector Sur



En este caso las tendencias de los valores de los transectos muestran dos casos totalmente diferentes, ya que en el primer periodo los valores, todos positivos, se localizaban desde los 40 hasta los 360 metros de acreción, mostrando un sesgo hacia los valores positivos muy altos debido a la relación directa con el río Papagayo. Sin embargo para el periodo 1995-2007 los valores se invirtieron totalmente y se distribuyen desde los 40 metros positivos, como máximo, hasta los -80 de retroceso de la línea de costa.