



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL- HIDRÁULICA**

## **EVALUACIÓN DE LA OPRESIÓN COSTERA EN MAZATLÁN, SINALOA**

**TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTOR EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:  
PEDRO ALFONSO AGUILAR CALDERÓN**

**TUTOR PRINCIPAL:  
DR. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN  
INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



---

## **JURADO ASIGNADO**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>DR. RODOLFO SILVA CASARÍN</b>
<b>PRIMER VOCAL</b>	<b>DR. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN</b>
<b>SEGUNDO VOCAL</b>	<b>DRA. LILIA REYES CHÁVEZ</b>
<b>TERCER VOCAL</b>	<b>DRA. MIREILLE DEL CARMEN ESCUDERO CASTILLO</b>

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: **INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM**

## **TUTOR DE TESIS**

---

**DR. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN**

Instituto de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria  
Delegación Coyoacán, C.P. 04510  
Ciudad de México, México.



---

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias al Instituto de Ingeniería (IINGEN) de nuestra casa máxima de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por la oportunidad de ingresar al Programa de Posgrado de Ingeniería.*

*Gracias al tutor de este trabajo de investigación al Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin por su tiempo, dedicación, paciencia y comprensión y al Dr. Rodolfo Silva Casarín por el apoyo, asesoramiento y la pasión que transmite por la investigación en el Grupo de Costas y Puertos.*

*Gracias al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior (PRODEP) por apoyo económico brindado y que motiva a la superación académica.*

*Gracias a mis amigos y compañeros del Grupo: Ernesto, Román, Angel, Anahí, Monse, Cesia, Dea, Erick, Débora, Roberta y Arturo por las experiencias y el tiempo compartido...*

*Gracias a mis padres Pedro Alfonso Aguilar Ortiz e Irma Lorena Calderón Pérez por ser mi soporte durante toda mi vida, por sus enseñanzas, por motivarme siempre a la superación profesional y personal, ya que todo lo que soy es por ustedes. A mis hermanos José, Pablo y Mirna por su apoyo incondicional...*

*Pero en especial GRACIAS a mi esposa Amada Lizette Lara González por su gran apoyo, motivación, ánimos y comprensión para la culminación de mis estudios de doctorado (te amo amor mío ¡¡) y a mi bebe a mi bendición Aranza Lizette Aguilar Lara por esperar a su Papi en sus ausencias...*



---

## DEDICATORIA

*Este proyecto de investigación que culmina con la terminación de mi tesis va con una dedicatoria muy especial a mi Papa Pedro Alfonso Aguilar Ortiz que a pesar de que se nos adelantó sorpresivamente el pasado 1 de abril de 2019, estoy seguro que me está viendo finalizar con gran orgullo mis estudios de Doctorado en Ingeniería, “con mucho cariño y toda mi admiración va dedicada a usted **APA**” ...*



## ÍNDICE

<b><u>RESUMEN</u></b>	6
<b><u>LISTA DE FIGURAS</u></b>	7
<b><u>LISTA DE TABLAS</u></b>	9
<b><u>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</u></b>	10
<u>1.1 Introducción</u>	10
<u>1.2 Objetivo general y específicos</u>	16
<b><u>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE</u></b>	17
<u>2.1 Caracterización de la zona costera</u>	17
<u>2.1.1 Definición de zona costera</u>	17
<u>2.1.2 Caracterización de la zona costera</u>	18
<u>2.1.3 Caracterización de la zona urbana-costera</u>	21
<u>2.2 Manejo Costero en Zonas Turísticas con Urbanización Densa</u>	23
<u>2.2.1 Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC)</u>	23
<u>2.2.2 MIZC. Situación actual en México</u>	27
<u>2.3 El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y el SLR (Sea Level Rise)</u>	28
<u>2.3.1 Escenarios de cambio climático y aumento del nivel del mar</u>	28
<u>2.4 Opresión Costera (coastal squeeze)</u>	31
<u>2.4.1 Definición</u>	31
<u>2.4.2 Evaluación de la opresión costera</u>	32
<u>2.5 Modelación Numérica</u>	35
<u>2.5.1 Modelación numérica de la costa</u>	35
<u>2.5.2 Modelación numérica urbana</u>	37
<u>2.6 Capacidad de Carga Turística</u>	38
<u>2.6.1 Cálculo de Capacidad de Carga Física (CCF)</u>	38
<u>2.6.2 Capacidad de Carga Real (CCR)</u>	39
<u>2.6.3 Capacidad de Manejo (CM)</u>	39
<u>2.6.4 Capacidad de Carga Turística (CCT)</u>	40
<b><u>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</u></b>	41
<b><u>CAPÍTULO 4. ÁREA DE ESTUDIO</u></b>	42
<u>4.1 Localización geográfica</u>	42
<u>4.2 Antecedentes</u>	42
<u>4.3 Fisiografía</u>	53
<u>4.3.1 Geología</u>	54
<u>4.3.2 Geomorfología</u>	56
<u>4.3.3 Clima</u>	57
<u>4.3.3.1 Régimen de vientos</u>	58
<u>4.3.3.2 Régimen térmico</u>	59
<u>4.3.3.3 Precipitación</u>	60
<u>4.3.3.4 Eventos históricos hidrometeorológicos extremos.</u>	60



---

<u>4.3.4 Régimen de marea, oleaje y corrientes</u>	62
<u>4.3.4.1 Marea</u>	62
<u>4.3.4.2 Marea de tormenta</u>	62
<u>4.3.4.3 Oleaje</u>	64
<u>4.3.4.4 Corrientes</u>	65
<u>4.3.5 Hidrología</u>	65
<u>4.3.6 Vegetación</u>	66
<u>4.4 Características demográficas, sociales y urbanas</u>	66
<u>4.4.1 Elementos demográficos generales</u>	66
<u>4.4.2 Características sociales</u>	68
<u>4.4.3 Actividades económicas</u>	69
<u>4.4.4 Uso de suelo urbano</u>	70
<b><u>CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE LA OPRESIÓN COSTERA (CSA) EN MAZATLÁN, SINALOA.</u></b>	72
<u>5.1 Ciclo DES (Drivers, Exchanges, and States of the Environment)</u>	72
<u>5.1.1 Aumento del Nivel del Mar (SLR)</u>	72
<u>5.1.2 Evolución de la Línea de Costa.</u>	75
<u>5.1.3 Urbanización de la Costa</u>	79
<u>5.1.4 Eventos Meteorológicos Extremos.</u>	80
<u>5.1.5 Evaluación de la opresión costera CSA (Coastal Squeeze Assessment)</u>	81
<u>5.1.6 Capacidad de Carga Turística (CCT)</u>	84
<u>5.2 Ciclo de CR (Consecuencias y Respuestas)</u>	86
<b><u>CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</u></b>	89
<u>6.1 Conclusiones</u>	89
<u>6.2 Futuras Líneas de Investigación</u>	91
<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	92
<b><u>ANEXO</u></b>	101

---



---

## RESUMEN

Aunque muchas zonas costeras se ven afectadas por la opresión costera, las estimaciones cuantitativas de este fenómeno siguen siendo limitadas. La ambigüedad sobre el grado de opresión costera, combinada con la falta de conocimiento sobre su interacción con las actividades humanas, puede llevar a respuestas de gestión inadecuadas y sin éxito. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar el grado de opresión costera en la costa altamente urbanizada de Mazatlán, Sinaloa, México, e investigar la relación entre el desarrollo del turismo y la opresión costera desde varias perspectivas temporales. Se aplicó el marco DESCR (Drivers, Exchanges, States of the environment, Consequences and Responses) Impulsores, Intercambios, Estados del Medio Ambiente, Consecuencias y Respuestas para identificar las consecuencias crónicas y negativas del turismo denso en la zona, junto con la evaluación de la opresión costera. Se realizó una estimación de la capacidad de carga turística (TLC) y se correlacionó con los resultados del DESCR, mostrando que la opresión costera está inversamente correlacionada con la carga turística en Mazatlán. La opresión costera de mediana intensidad que se experimenta actualmente en Mazatlán requiere de intervenciones para evitar la degradación severa del ecosistema del que depende la industria turística local, para lo cual se dan recomendaciones inmediatas, de largo plazo y administrativas.

## ABSTRACT

While many coastal areas are affected by coastal squeeze, quantitative estimations of this phenomenon are still limited. Ambiguity concerning the degree of coastal squeeze, combined with a lack of knowledge on its interaction with human activities may lead to inadequate and unsuccessful management responses. The objective of the present research was to quantify the degree of coastal squeeze on the highly urbanized coast of Mazatlán, Mexico, and to investigate the relationship between the development of tourism and coastal squeeze from various time perspectives. The Drivers, Exchanges, States of the environment, Consequences, and Responses (DESCR) framework was applied to identify the chronic, negative consequences of dense tourism in the area, together with the assessment of coastal squeeze. A Tourism Load Capacity (TLC) estimation was made and correlated with the DESCR results, showing that coastal squeeze is inversely correlated with tourism load in Mazatlán. The medium-intensity coastal squeeze currently experienced in Mazatlán requires interventions to avoid severe degradation of the ecosystem on which the local tourism industry relies, for which immediate, long-term, and administrative recommendations are given.

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los factores que influyen en la opresión costera.	11
Figura 2. Localización geográfica de Mazatlán, Sinaloa, México	13
Figura 3. Ubicación de áreas con problemas en la costa de Mazatlán Sinaloa.	14
Figura 4. Esquema de los ambientes de la zona litoral.	18
Figura 5. Zonificación propuesta de la zona costera mexicana.	19
Figura 6. Esquema para la identificación de ambientes costeros característicos de México.	20
Figura 7. Características propias de las ciudades y aglomeraciones costeras que permiten la caracterización de su emplazamiento.	22
Figura 8. Pasos del ciclo de desarrollo de políticas públicas.	25
Figura 9. Proyecciones de la elevación media mundial del nivel del mar durante el siglo XXI.	28
Figura 10. Aumento proyectado del nivel del mar (SLR) hasta el año 2300.	30
Figura 11. Esquema de factores que influyen en la opresión de costera.	32
Figura 12. Marco DESCR	
Figura 13. Aplicación de los modelos de evolución costera según sus escalas.	36
Figura 14. Plano de Mazatlán 1828.	42
Figura 15. Bahía del Fondeadero (archivo municipal de Mazatlán)	43
Figura 16. Avenida del Mar en 1958 (archivo municipal de Mazatlán)	44
Figura 17. Imagen aérea de zona dorada Mazatlán	44
Figura 18. Playas de la Isla de la Piedra	45
Figura 19. Segmento Faro del Crestón-Punta Tiburón que incluye playa Olas Altas y playa Pinitos	46
Figura 20. Segmento Punta Tiburón-Punta Camarón (playas del malecón), Bahía de Puerto Viejo	46
Figura 21. Enramadas (palapas) de restaurantes construidos sobre la playa en el tramo Punta Tiburón-Punta Camarón	47
Figura 22. Localización tramo Punta Camarón-Punta Sábalo, donde se localiza la llamada Zona Dorada	48
Figuras 23. Ubicación de espigones construidos frente hotel Las Flores	49
Figuras 24. Ubicación de espigones construidos frente a hoteles Ocean Palace y Caravelle	49
Figura 25. Segmento Marina Mazatlán- Cerritos (Google Earth Pro, 2019).	49
Figura 26. Canal de acceso a Marina Mazatlán	50
Figura 27. Localización del segmento Cerritos-Punta Gruesa (Mármol).	51
Figura 28. Zonas inundables de Mazatlán.	52
Figura 29. Mapa fisiográfico del municipio de Mazatlán	53
Figura 30. Mapa Geológico del Municipio de Mazatlán	55
Figura 31. Mapa Geomorfológico del municipio de Mazatlán.	57
Figura 32. Mapa climático del municipio de Mazatlán	58
Figura 33. Rosa de vientos medios anuales de Mazatlán	59



---

Figura 34. Gráfica de temperaturas registradas en el Observatorio de Mazatlán durante 1951-1998.	59
Figura 35. Gráfica de la media anual de precipitación, datos de Observatorio Mazatlán durante 1950-2004	60
Figura 36. Valores máximos anuales de la marea de tormenta	64
Figura 37. Diagramas de altura de ola significativa y de período medio anual para Mazatlán (1979-2019).	65
Figura 38. Mapa general de vegetación y uso de suelo en Mazatlán	66
Figura 39. Tasa de crecimiento media anual de 1930 a 2030	67
Figura 40. Tasa de crecimiento poblacional en Mazatlán 1990-2010.	67
Figura 41. Digitalización y procesamiento de levantamiento topo-batimétrico	73
Figura 42. Interpolación con espaciado de 50x50 de levantamiento topo-batimétrico	73
Figura 43. Resultados de modelaciones. Pleamares máximas alcanzados por escenarios	74
Figura 44. Vista en planta de trazo de líneas de costa 2004 y 2019 y transectos	76
Figura 45. Ubicación de transectos con mayor erosión en playa de zona dorada	77
Figura 46. Ubicación de transectos con mayor acreción en playa de zona dorada	78
Figura 51. Evolución de la costa entre 2004 y 2019. NSM	78
Figura 52. Evolución de la costa entre 2004 y 2019. EPR	79
Figura 53. Digitalización de imágenes satelitales 2004-2019	80
Figura 54. No de eventos meteorológicos extremos en Mazatlán Sinaloa de 1950 al 2019	81



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Acciones esenciales de los pasos del ciclo de manejo costero	26
Tabla 2. Cronología de los principales ciclones tropicales en Mazatlán (1950-2019).	61
Tabla 3. Registro de mareas de Mazatlán, Sinaloa	62
Tabla 4. Valores de los coeficientes para la estimación de marea de tormenta en Mazatlán.	63
Tabla 5. Volumen y valor de la producción pesquera de Mazatlán 2014	69
Tabla 6. Indicadores de la actividad turística de Mazatlán	70
Tabla 7. Información por escenario de simulación numérica	74
Tabla 8. Elevación máxima frente a la costa para los escenarios previstos de SLR.	75
Tabla 9. Mareas de tormenta para los años 1999-2100	75
Tabla 10. Máximo ascenso del nivel del mar para Mazatlán.	75
Tabla 11. Tasa anual de evolución de línea de costa.	79
Tabla 12. Valores obtenidos de la cuantificación de zona urbana-costera de Mazatlán	80
Tabla 13. Escala comparativa de relevancia (Saaty, 1998)	81
Tabla 14. Resultados de Análisis jerárquico y de ponderación de variables que ocasionan la opresión costera	83
Tabla 15. Resultados de cuantificación de grado de opresión costera por escenario.	83
Tabla 16. Grado de opresión costera.	84
Tabla 17. Resultados de Capacidad de Carga Turística para Mazatlán Sinaloa.	84
Tabla 18. Comparativa de opresión costera y Capacidad de Carga Turística (CCT)	85
Tabla 19. Resultados de encuesta de satisfacción del turista en Mazatlán Sinaloa	104
Tabla 20. Resultados de encuesta de satisfacción del residente en Mazatlán Sinaloa	105
Tabla 21. Resultados de encuesta percepción de gasto del turista/visitante	105
Tabla 22. Resultados de encuesta percepción de ingreso del residente	106
Tabla 23. Resultados de Análisis jerárquico Categoría Ambiental.	107
Tabla 24. Resultados de Análisis jerárquico Categoría Social	107
Tabla 25. Resultados de Análisis jerárquico Categoría Económica	107
Tabla 26. Resultados de Análisis de Capacidad de Manejo	108



---

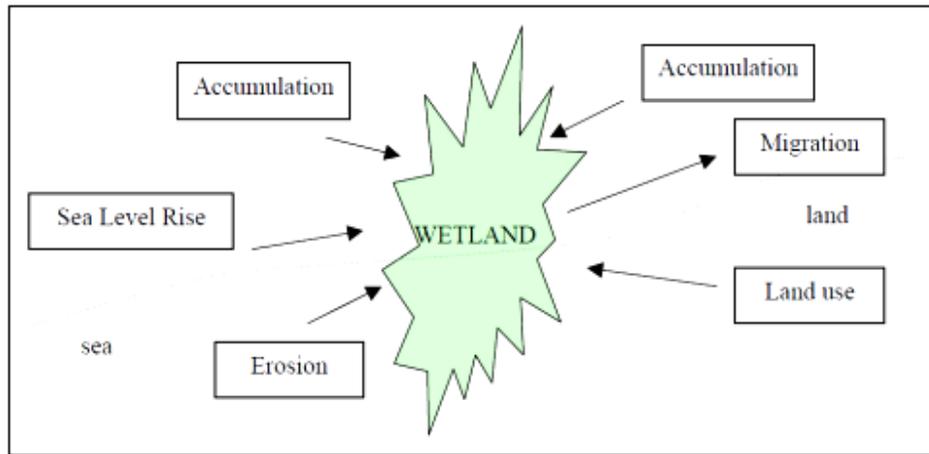
## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

Uno de los principales fenómenos que afectan a la mayoría de los países costeros es la pérdida de territorio a consecuencia de eventos naturales o inducidos por el hombre. Esto sucede principalmente en la zona costera, la cual es una zona de transición entre el ambiente marino y terrestre, directamente bajo la influencia de los procesos hidrodinámicos marinos o lagunares que se extiende desde la plataforma continental en el límite oceánico, hasta el primer cambio topográfico importante (cuya altura es definida arbitrariamente en cada país) por encima del alcance del máximo oleaje de tormenta (CERC, 2000). En este sentido, es el ambiente más dinámico de la tierra y la única región a lo largo de todos los continentes donde interactúan la tierra, la atmósfera, el mar y el agua dulce. Su adaptabilidad le permite amortiguar la energía del oleaje, del viento y de las corrientes. Por ello, uno de los principales beneficios que brinda a la sociedad es la protección de sus habitantes, sus posesiones, su riqueza ecológica y sus medios de vida (Silva et al. 2017).

En las zonas costeras de Europa siempre han luchado contra la pérdida de territorio, particularmente en Inglaterra, en donde se acuñó el término *coastal squeeze* (opresión costera). En un inicio este término se utilizaba para describir la pérdida de la costa y hábitats frente a defensas marítimas (Pontee 2013). En general, el término *coastal squeeze* es el proceso en el cual los ecosistemas costeros son amenazados por la combinación del aumento del nivel del mar (SLR) y la presencia de una barrera física, tal como infraestructura humana. Esta situación impide la migración terrestre de ecosistemas y especies, a medida que la costa se desplaza hacia el interior, y por lo tanto están expuestos a una extinción local (Martínez et al. 2014).

Los procesos naturales que influyen en la opresión costera incluyen la variabilidad natural en el nivel del mar, los eventos cíclicos extremos (por ejemplo, mareas de tormenta e inundaciones) y la morfología del paisaje interior, que puede funcionar como una barrera ecológica estática para la migración de especies (Doody 2013). Los factores antrópicos que causan la opresión costera incluyen los efectos del cambio climático global y local (aumento del nivel del mar y aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas) y los efectos locales de la infraestructura costera mal planificada (Doody 2004, 2013; Pontee 2013). La Figura 1 muestra un esquema resumen de los factores que inducen opresión costera.



**Figura 1. Esquema de los factores que influyen en la *opresión costera* (Schleupner 2008).**

Diversos autores han realizado estudios de opresión costera, por ejemplo, Jackson y McIlvenny (2011), Mazaris, Giannis y Pantis (2009) y Schleupner (2008) desarrollaron metodologías y modelos espaciales, para cuantificar la pérdida de hábitats. Explicaron la respuesta de los ecosistemas costeros en sus sitios de estudio (humedales, manglares, población de tortugas marinas y organismos intermareales). Otro ejemplo relacionado con la evaluación de la opresión costera es el trabajo publicado por Dante D. Torio and Gail L. Chmura (2013) en el que desarrollan un índice de opresión costera un modelo espacial que puede utilizarse para evaluar el potencial de la compresión costera a lo largo de las fronteras de un solo humedal y para clasificar las amenazas que enfrentan múltiples humedales. Martínez et al. (2014) investigaron la opresión costera en el estado de Veracruz, México, a través del estudio de la expansión urbana en la costa, un análisis de la geodinámica costera, y una proyección de los efectos potenciales del aumento del nivel del mar y de la distribución de dos especies de plantas focales que son endémicas de las dunas costeras de México. Morena et al. (2015) utilizaron la planificación espacial sistemática para evaluar la configuración óptima y los compromisos involucrados en la adaptación SLR, incorporando modelos espaciales de inundación por SLR, crecimiento urbano y migración de ecosistemas. En la investigación de Hildinger et al. (2016) proponen una metodología que toma en cuenta tres aspectos principales que determinan la dinámica de la opresión costera: la geósfera, la biósfera y el impacto antropogénico y realizaron un análisis del riesgo a pequeña y gran escala para el uso de la tierra. Luo et al. (2018) adaptaron el Coastal Squeeze Index (CSI) y el método de evaluación propuesto en Torio y Chmura (2013) para evaluar el potencial de opresión costera de los humedales costeros en el Yellow River Delta en escenarios futuros de SLR. Se enfocan en los efectos de la pendiente y las superficies impermeables en las tierras altas adyacentes para la posible migración de humedales. Ramírez et al. (2019) al igual que Luo et al. (2018) desarrollaron un índice con un enfoque de lógica difusa que facilita la cuantificación del grado de opresión costera en diferentes regiones costeras de Campeche, México, caracterizadas por distintas condiciones ecológicas, geomorfológicas y

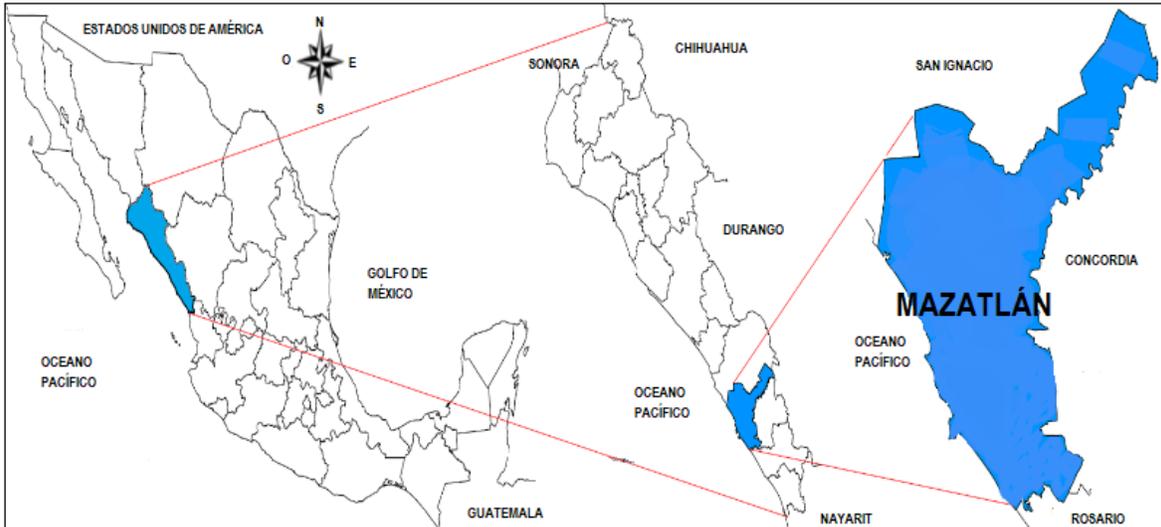


socioeconómicas. De los anteriores trabajos expuestos ninguno ha desarrollado una metodología que además de tomar en cuenta las variables que producen opresión costera, incluya un estudio de capacidad de carga turística (Cifuentes, 1992). La relevancia de integrar esta variable como tema de investigación se basa en la hipótesis que, en principio, el turismo es un detonador de opresión costera, pero a largo plazo, la opresión limita la capacidad turística, lo cual suma un deterioro social al deterioro ecológico.

Por otra parte, el continuo crecimiento de asentamientos humanos en la zona costera, particularmente sobre el litoral, la falta de conocimiento del comportamiento de la línea de playa a corto y mediano plazo, el inadecuado control sobre la regulación de los asentamientos y construcción de obras de protección costera (espigones, rompeolas, amuramientos etc.) incrementan la susceptibilidad de riesgo por erosión con efectos potenciales de suma importancia para comunidades cuyo desarrollo socio-económico depende de las playas (Silva et al. 2014).

En México, el gobierno federal ha manifestado interés en desarrollar una estrategia global para el manejo de la zona costera y toda su problemática, lamentablemente no se ha planificado su manejo, por lo que los problemas se han afrontado de manera individual, es decir, en respuesta a necesidades y/o emergencias específicas de propietarios o concesionarios. La costa mexicana, en particular el Caribe y el Pacífico Central, han sido objeto de un gran desarrollo turístico, residencial e industrial los últimos 50 años. Durante este tiempo se han construido innumerables estructuras con diseños inapropiados y con graves impactos en la dinámica costera debido a la falta de criterios de regulación específicos, que permitan detener o mejorar desarrollos mal planeados (Silva et al. 2014).

En los últimos años, se ha incrementado la problemática de erosión y se han provocado cambios irreversibles en la configuración y alteración de la morfología de las playas del Océano Pacífico en México. Un caso particular es la zona costera del estado de Sinaloa en el municipio de Mazatlán, el cual se localiza en la parte sur del mismo entre los meridianos  $105^{\circ}46'23''$  y  $106^{\circ}30'51''$  al oeste del meridiano de Greenwich, y entre los paralelos  $23^{\circ}04'25''$  y  $23^{\circ}50'22''$  de latitud norte. Mazatlán, limita al norte con el municipio de San Ignacio (Sinaloa) y el estado de Durango; al este con el municipio de Concordia; al sur con el municipio de Rosario y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico (figura 2).



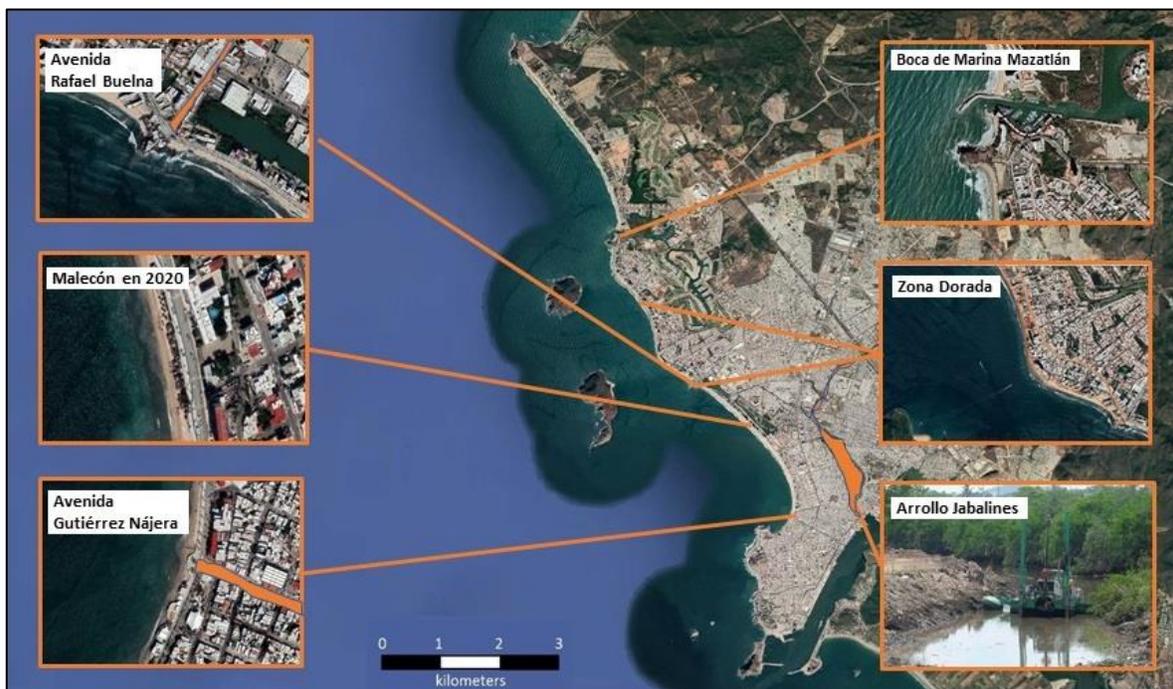
**Figura 2. Localización geográfica de Mazatlán, Sinaloa, México**

Mazatlán es uno de los puertos más importantes del pacífico mexicano debido a su riqueza marítima, su gran actividad pesquera y su desarrollo turístico. En este contexto el turismo costero es uno de los segmentos más grandes de la industria del turismo y el de más rápido crecimiento en términos de oportunidades laborales e importancia económica (Papageorgiou, 2016). La expansión de este sector es una estrategia económica muy relevante para muchas zonas costeras. Ha desencadenado una migración sustancial hacia la costa, con un aumento concomitante en el desarrollo de las regiones litorales, a través del crecimiento urbano e industrial y el acompañamiento de instalaciones recreativas y de transporte (Onofri y Nunes 2013). Sin embargo, las consecuencias negativas también pueden estar asociadas con la expansión económica y el desarrollo de las zonas costeras. El desarrollo costero y los cambios en el medio ambiente pueden ser contraproducentes para el turismo (Chen y Bau 2016; Semeoshenkova et al. 2017), ya que los turistas a menudo buscan entornos prístinos donde los aspectos estéticos no se ven afectados por el desarrollo turístico excesivo.

Mazatlán, como destino turístico, ocupó el 6° lugar nacional como destino de sol y playa en 2014 (DATATUR, 2015). Además, por la reciente conclusión de la carretera Mazatlán-Durango, que conectó y redujo considerablemente el recorrido Mazatlán-Matamoros, la afluencia turística aumento considerablemente. Al finalizar el año 2015, se logró un crecimiento en el arribo de visitantes de 8.53%, se recibieron más de 2177000 personas. La derrama económica también tuvo un repunte importante al aumentar en un 9% respecto al año 2014 al captar más de 18 000 millones de pesos del flujo del turismo nacional e internacional, así como el segmento del turismo de cruceros (DATATUR, 2015). En este contexto, es importante resaltar que, entre los beneficios directos que ofrece la costa de Mazatlán, además de las actividades lúdico-recreativas y turísticas, se encuentran las

portuarias y de transporte, de obtención de recursos (pesca y acuicultura), así como de educación e investigación científica (que se puede traducir directamente en beneficios económicos) entre otras.

Desafortunadamente, la mayoría de las actividades antrópicas afectan directamente e indirectamente a la costa provocando impactos negativos sobre ésta. En Mazatlán, dos actuaciones clave han detonado consecuencias negativas: la ampliación del malecón y algunos sectores de la llamada Zona Dorada. La primera, se realizó en la avenida del mar, en el tramo que comprende de Av. Rafael Buelna hasta Av. Gutiérrez Nájera, que ocasionó la alteración del perfil estable de la playa, originando la desaparición, si no del total de un 80% de las dunas en la playa en la zona de amortiguamiento. La segunda, en la Zona Dorada (Av. Camarón Sábalo) que comprende desde el Hotel Emporio hasta la playa Cerritos, el desarrollo de la Marina Mazatlán en la zona del estero del Sábalo y sus alrededores, la cual requiere obras de dragado y construcción de escolleras para mantener la boca de la marina abierta y navegable de manera permanente (ver figura 3), lo que ocasionó la interrupción del aporte sedimentario que alimentaba a otros tramos de playa. Además, el relleno y construcción de departamentos y centro comercial sobre la laguna del camarón (humedal) y el dragado y expansión del arroyo Jabalines, que ocasionó el corte de manglar a las orillas y sobre el arroyo.



**Figura 3. Ubicación de áreas con problemas en la costa de Mazatlán Sinaloa.**



En algunos fragmentos de esta zona de Mazatlán (Zona Dorada), la construcción de edificios en franjas muy próximas al mar (sin respetar la Zona Federal Marítimo Terrestre) ha alterado también la dinámica natural de las playas y ha provocado un estrechamiento de las mismas. Para tratar de solucionar esto, los dueños de las propiedades dañadas han tenido que construir estructuras de protección sobre las playas (espigones y muros) sin haber realizado estudios previos para su diseño y construcción, afectando el paisaje y provocando erosión en zonas aledañas. La trascendencia del fenómeno obliga a prestar particular atención, debido a que esta problemática deriva de la falta de políticas públicas y programas específicos para la protección y manejo sostenible de la zona costera. En este sentido, la estandarización de los métodos de estudio y manejo de los recursos costeros no es una tarea fácil, debido a la complejidad de los procesos costeros, que dependen, en buena medida, de la forma de la costa y de las condiciones hidro-morfodinámicas locales, así como de las actividades antrópicas citadas anteriormente. En consecuencia, surge la necesidad de establecer programas de control, monitoreo y predicción del comportamiento de las playas para minimizar las consecuencias físicas, ecológicas y socio-económicas derivadas de su deterioro bajo distintos escenarios (naturales y antrópicas).

En el municipio de Mazatlán no existe un marco legal que regule y proteja el uso de las playas, así como algún programa de regeneración y restauración de las mismas, por lo que se requiere el planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable, para diseñar y ejecutar proyectos de regeneración y restauración de playas. Para poder realizar esto, hace falta disponibilidad de datos experimentales obtenidos en campo y de modelos numéricos calibrados con dichos datos.

Por lo anterior, la finalidad de este trabajo de investigación es analizar la relevancia y jerarquizar los agentes que intervienen en la dinámica costera de Mazatlán, Sinaloa a nivel local (marinos, ecológicos y humanos) con el fin de elaborar una metodología para evaluar la opresión costera. Para lograrlo, se requiere primero, una caracterización completa de la zona costera para posteriormente, efectuar la evaluación de la opresión (ver figuras 4 y 5) que afecta a la zona urbana-costera del municipio y que sitúa en riesgo de perturbar a su principal fuente de ingreso, el turismo. Después se ejecutará un estudio de capacidad de carga turística para validar los resultados obtenidos. Finalmente, se pretende que los productos resultantes de este trabajo de investigación puedan ser aplicados en otras playas con características similares.



## 1.2 Objetivos general y Específicos

El objetivo general del presente proyecto de investigación es analizar la relevancia y jerarquizar los diferentes agentes marinos, ecológicos y humanos que intervienen en la dinámica costera, a fin de facilitar el desarrollo de herramientas de toma de decisiones, la definición de políticas de manejo y el diseño de programas de recuperación de playas con alta ocupación.

Como objetivos particulares se plantean los siguientes puntos:

- Describir y caracterizar los agentes que intervienen en la dinámica costera (marinos, ecológicos y humanos) a nivel local en la zona costera de Mazatlán.
- Presentar un estado del arte sobre las diferentes metodologías para evaluar la opresión costera (*Coastal Squeeze*) y su afectación en las costas a nivel internacional.
- Comprender el funcionamiento de las herramientas de modelaciones numéricas, para analizar modelos actuales de manejo costero en zonas turísticas con urbanización densa.
- Recrear con diferentes escenarios (pasado, presente y futuro) del comportamiento de la zona costera de Mazatlán a partir de la realización de la evaluación de la opresión costera.
- Desarrollar una metodología para la evaluación de la opresión costera en zonas turísticas con urbanización densa para facilitar al tomador de decisiones la selección de una solución a la problemática planteada.

El trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presenta el estado del arte que sustenta la investigación. Ahí definimos zona costera y urbana además de cómo se caracteriza, hablamos también de manejo integrado de zonas costeras IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y el SLR (Sea Level Rise) y todos sus posibles escenarios, se define opresión costera y cómo se evalúa y se presentan algunos casos, también se muestran conceptualizaciones de modelación numérica de la costa y urbana y la metodología de cálculo de capacidad de carga turística. En el capítulo 3 se describe a detalle la metodología en sus dos etapas, la primera histórica-descriptiva-experimental y la segunda evaluación-propuestas-recomendaciones considerando el aspecto social, ambiental y urbano. El capítulo 4 presenta la descripción minuciosa del área de estudio: localización geográfica, antecedentes históricos, fisiografía y características demográficas, sociales y urbanas. En el capítulo 5 se presenta la evaluación de la opresión costera de la unidad costera de Mazatlán Sinaloa, se presentan resultados obtenidos con gráficos y tablas que describen a detalle la metodología aplicada. El capítulo 6 contiene las conclusiones y futuras líneas de investigación. Por último, se presentan las referencias bibliográficas y un anexo que contiene la metodología desarrollada del cálculo de capacidad de carga turística.



---

## CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Caracterización de la zona costera

La zona costera es el ambiente más dinámico de la tierra y la única región a lo largo de todos los continentes donde interactúan la tierra, la atmósfera, el mar y el agua dulce. Su adaptabilidad le permite amortiguar la energía del oleaje, del viento y de las corrientes. Por ello, uno de los principales beneficios que brinda a la sociedad es la protección de sus habitantes, sus posesiones, su riqueza ecológica y sus medios de vida (Silva et al. 2017).

La zona costera constituye una delgada franja continua que no ocupa grandes superficies, pero bordea toda la interfaz mar-tierra del planeta. Las costas constituyen paisajes sumamente diversos, resultantes de una gran heterogeneidad geomorfológica, climática, ecológica y socioeconómica. Son regiones altamente productivas, por lo que numerosas culturas se han desarrollado en base a la riqueza natural de sus ecosistemas. Hoy en día, las costas son zonas de gran importancia económica por sus recursos pesqueros, energéticos, turísticos, industriales y urbanos. Para evitar daños irreversibles en las costas ocasionados desde tierra adentro o desde sitios contiguos, es fundamental realizar ejercicios de planeación y manejo de la zona costera (Silva et al. 2017).

#### 2.1.1 Definición de Zona Costera

Existen numerosas definiciones de zona costera, dependiendo del énfasis o intención, las hay administrativas, geográficas, ecológicas y geológicas, entre otras. Una definición funcional describe a la zona costera como la frontera o transición donde interactúan tres grandes sistemas que ejercen influencia sobre esta frágil franja (Cotler 2010). Ortiz-Pérez y De la Lanza (2006) proponen una definición que busca balancear los criterios funcionales con los operativos y define a la zona costera como “la porción de territorio desde el límite marino de la plataforma continental y mar territorial, hacia el mar, hasta los límites geopolíticos de los municipios que tienen frente litoral o están contiguos, tierra adentro”.

Por su ubicación y características, la zona costera constituye una región amplia y heterogénea que mantiene intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, donde ocurre un intercambio dinámico de energía y materiales entre ecosistemas terrestres, marinos y la atmósfera (Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2010). De manera general, se puede decir que la costa es un dominio geológico, ecológico, biológico y socioeconómico único y de gran importancia para numerosas formas de vida, incluyendo la humana, y que presenta una gran fragilidad al ser la región más dinámica y cambiante del planeta.

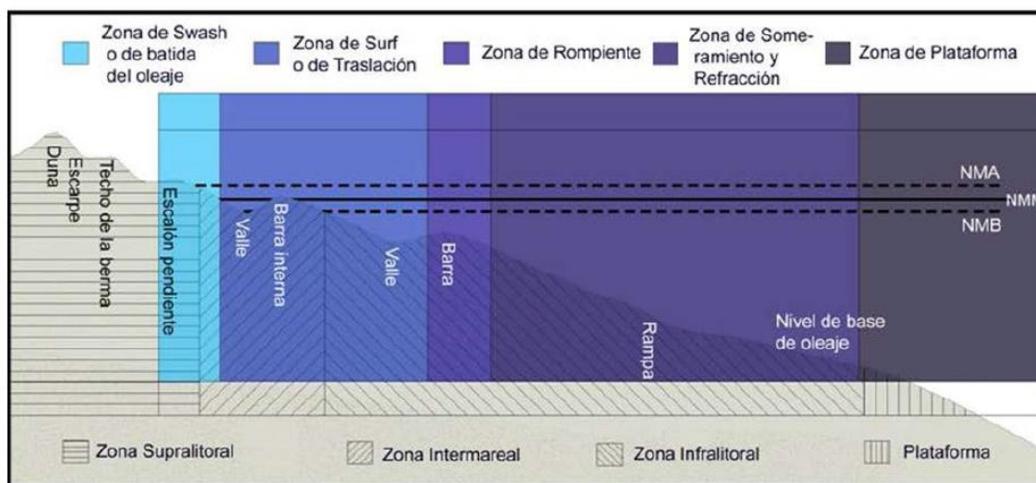
La zona costera es la zona de transición entre el ambiente marino y terrestre, directamente bajo la influencia de los procesos hidrodinámicos marinos o lagunares, extendiéndose desde la plataforma continental en el límite oceánico, hasta el primer cambio topográfico importante (cuya altura es definida arbitrariamente en cada país) por encima del alcance del máximo oleaje de tormenta (CERC, 2000).

La zona costera es la franja localizada entre el mar abierto y la superficie terrestre, de constante transformación originada por la gran actividad entre los procesos terrestres, marinos y atmosféricos como las corrientes marinas, las mareas, el oleaje, la abrasión, el viento, flujo de ríos en cuerpos semi-cerrados y las fluctuaciones del nivel del mar. Su alcance comprende la ribera hasta la transición física entre la tierra y el mar, los ecosistemas terrestres y adyacentes que afectan el mar a través de los procesos biológicos como el flujo de nutrientes o energía y los ecosistemas marinos afectados por su proximidad. Por lo tanto, su extensión está en función de las características de las cuencas hidrográficas y del mar territorial en el que están inmersas, así como de los recursos naturales y condiciones socioeconómicas y políticas de los asentamientos humanos que en ellas influyen. (Silva et al, 2014).

Para la presente investigación se considera la definición de Silva et al. (2017) donde, zona costera es la superficie terrestre que ocupan los ecosistemas costeros de lagunas, playas, dunas, manglares y humedales que toleran cambios de salinidad y se consideró que cubre cinco kilómetros tierra adentro desde la orilla del mar. En ese espacio se ubican las áreas bajo administración federal y de interés de la Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros (DGZOFEMATAC): la zona federal marítimo terrestre, las playas marítimas y los terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito natural de aguas marítimas.

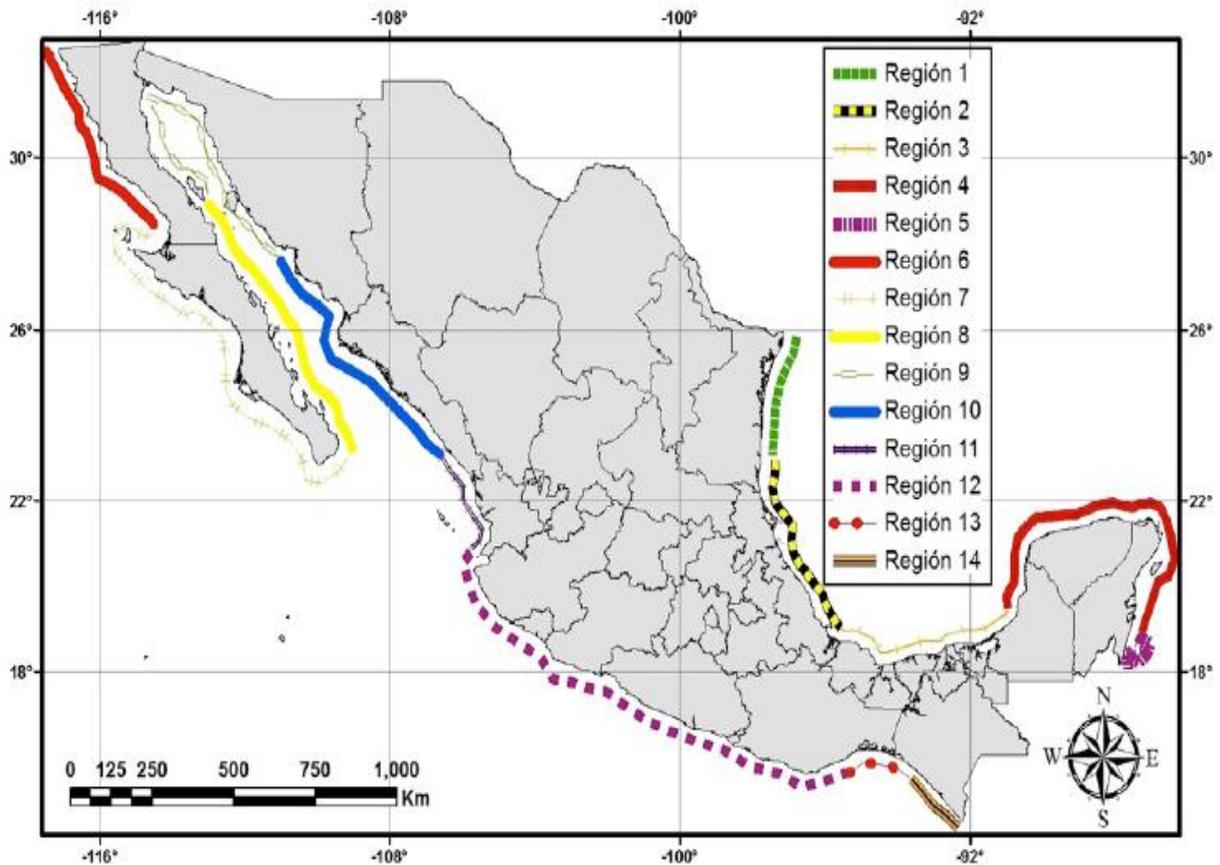
### 2.1.2 Caracterización de la zona costera

Para su estudio y manejo, la zona costera frecuentemente se divide en tres sub-ambientes (ver figura 4), con base en su hidromorfología: zona supralitoral, zona intermareal y zona infralitoral (Silva et al, 2014).

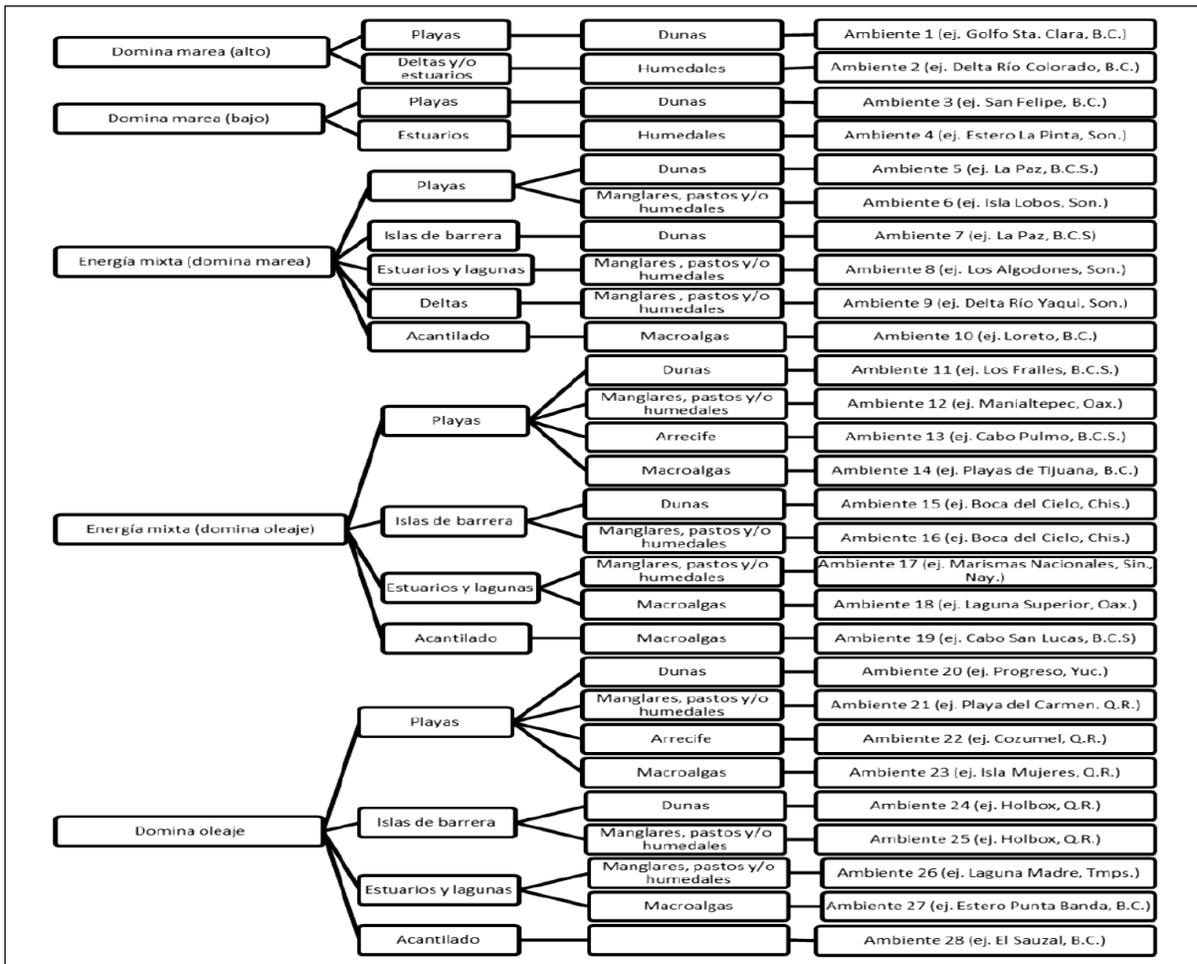


**Figura 4. Esquema de los ambientes de la zona litoral, donde NMA, NMM y NMB son el Nivel Medio Alto, Medio y Medio Bajo de marea, respectivamente (Silva et al, 2014).**

Silva et al. 2014 presenta una caracterización y clasificación de los principales ambientes costeros del país. La caracterización propuesta es geomorfológica, hidrodinámica y ecológica y permitió generar una clasificación y zonificación de la costa, que consta de 14 mega regiones costeras (ver figura 5) cuyos límites son coincidentes con zonificaciones propuestas previamente (Ortiz Pérez y de la Lanza 2006), así como la identificación de 28 tipos de ambientes costeros (figura 6) representativos del litoral mexicano (Silva et al. 2014).



**Figura 5. Zonificación propuesta de la zona costera mexicana (tomado de Silva et al. 2014)**



**Figura 6. Esquema propuesto para la identificación de ambientes costeros característicos de México (Silva et al. 2014)**

Seguando un modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), Silva et al. (2014) realizaron un análisis de los principales impactos que se pueden presentar por ambiente costero. Algunos de los problemas más relevantes de las zonas costeras de México son la pérdida del hábitat en zonas intermareales, dunas o acantilados, debida al cambio de uso de suelo para desarrollos urbanos, portuarios y turísticos, la minería o la extracción de materiales utilizados como relleno en la construcción; la desaparición de humedales por cambios en el uso de suelo, relleno, desecación o el azolvamiento o sedimentación de estos, resultado de cambios cuenca arriba; entre otros. A partir del análisis PER realizado, se plantearon lineamientos y criterios dirigidos a regular las actividades y obras que se desarrollan en cada uno de los ambientes costeros identificados, fundamentados en experiencias y regulaciones internacionales de manejo (ver figura 6). Como complemento a lo anterior se aplicó un modelo Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia (SPRC, por sus siglas en inglés) que

permitió: (a) identificar las áreas de mayor riesgo de inundación por eventos hidrometeorológicos; y (b) resaltar que las medidas de mitigación más eficientes son la protección de dunas y manglar, así como la regulación del desarrollo urbano en la zona costera (Silva et al, 2014). Por lo que en este trabajo de investigación nos basaremos en la caracterización propuesta por Silva et al. 2014 para caracterizar y clasificar la costa de Mazatlán, Sinaloa

### **2.1.3 Caracterización de la zona urbana-costera**

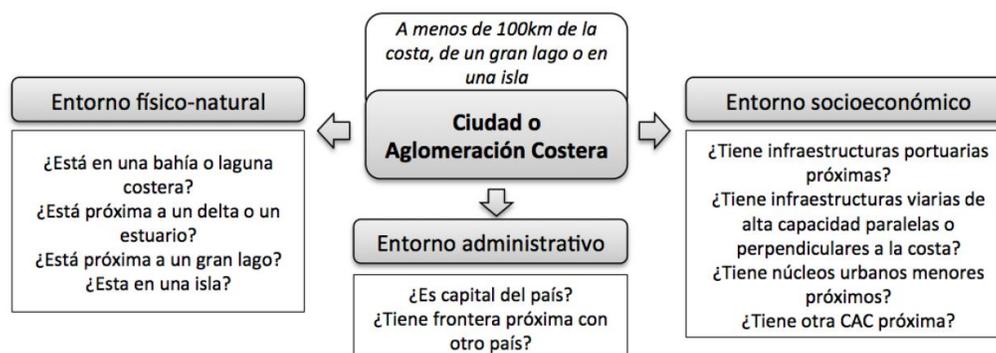
De acuerdo con UNICEF (2012) la definición de “urbano” cambia de un país a otro y, con las reclasificaciones periódicas, también puede variar a lo largo del tiempo dentro de un mismo país, lo que dificulta las comparaciones directas. Una zona urbana se puede definir por medio de uno o más de los siguientes factores: criterios administrativos o fronteras políticas (como formar parte de la jurisdicción de un municipio o comité de la ciudad); el tamaño de la población (cuando el número mínimo de habitantes en los asentamientos urbanos de la región es de 2000, aunque puede oscilar entre 200 y 50000); la densidad demográfica; la función económica (por ejemplo, cuando la actividad primordial de una gran mayoría de los habitantes no es la agricultura, o cuando existe empleo de sobra); y la existencia de características urbanas (como calles pavimentadas, alumbrado público o alcantarillado). En 2010 vivían en zonas clasificadas como urbanas 3500 millones de personas.

La urbanización es un proceso que implica un determinado modelo de ocupación del espacio geográfico. Suele provocar un aumento en la presión sobre los ecosistemas y sus servicios. Además, las ciudades organizan el territorio, y se convierten en lugares centrales de un espacio mucho más amplio. En el caso de las ciudades y aglomeraciones costeras, el área de influencia es terrestre, pero también, intermareal y marina (de Andrés y Barragán 2016). Las áreas costeras favorecen la concentración de la población. Entre otras razones, por las facilidades del medio marino para ciertas actividades como la pesca, la industria, el turismo o el transporte. Muchos autores e instituciones internacionales subrayan un proceso de concentración en las áreas costeras (Burke et al. 2001; Creel 2003; Hinrichsen 1998; Vallega 1999). Esta elevada concentración de la población mundial provoca graves deterioros en los ecosistemas costero marinos que son muy dinámicos y frágiles.

De Andrés y Barragán (2016) proponen un método de estudio concreto que permite la cuantificación del desarrollo urbano costero a escala global. A partir de este método es posible cuantificar el desarrollo urbano en las ciudades litorales de todo el mundo. Además, permite relacionar el desarrollo poblacional con determinadas características de interés para la gestión integrada de áreas litorales: ambientes marinos vulnerables como deltas o estuarios, así como grandes infraestructuras como las viarias y portuarias, entre otras. Para desarrollar el método de trabajo empleado, en primer lugar, se recurre a dos fuentes de información de diferente naturaleza. La primera de ellas hace referencia a los censos de población proporcionados por las bases de datos de las Naciones Unidas (UN-DESA 1955, 1964, 1974, 1984, 1995, 2008, 2013). Estas bases de datos recogen la información de la población

mundial desde 1945, para las ciudades y aglomeraciones urbanas mayores a 100000 habitantes. De ahí se obtiene información a escala global de todas las ciudades a partir de este tamaño. Esta primera fuente, por tanto, permite la realización de una primera base de datos en la que se especifica la población de cada una de las ciudades del mundo entre 1945 y 2012. Los datos son archivados cada diez años porque es en este periodo en el que Naciones Unidas publica una actualización de los censos nacionales.

Para que los resultados puedan ser comparados con otros, las ciudades se clasifican, según su número de habitantes, en cinco grupos diferentes. Por eso se tienen en cuenta los intervalos de UN-DESA, 2013: ciudades pequeñas (entre 100000 y 500000 habitantes), ciudades medianas (entre 500000 y 1000000 habitantes), ciudades grandes (entre 1000000 y 5000000 habitantes), ciudades muy grandes (entre 5000000 y 10000000 habitantes) y megaciudades (mayores a 10000000 habitantes). La base de datos realizada con la primera fuente de información permite la obtención de resultados estadísticos importantes sobre que se detallan en los resultados. Sin embargo, para determinar la evolución urbana en el litoral es necesario conocer además el emplazamiento de las ciudades. Es por ello que el segundo tipo de fuente de información tiene un carácter geográfico. El principal soporte utilizado es Google Earth, aunque éste se ha combinado con el análisis de capas en un sistema de información geográfica, concretamente análisis en ArcGIS, para determinados factores de estudio. La utilización de Google Earth permite la observación de las ciudades y su desarrollo, así como de infraestructuras asociadas a ellas, y su relación con la zona costera. En primer lugar, se determina si la ciudad es costera o de interior. Para aquellas que son costeras, a continuación, se analizan diferentes características sobre su emplazamiento. La selección de estas características debe cumplir dos requisitos clave: a) escala global, y b) relación ciudad y litoral. Las características seleccionadas para el estudio se describen en la figura 7 y son agrupadas según pertenezcan al entorno físico-natural, socioeconómico y administrativo.



**Figura 7. Características propias de las ciudades y aglomeraciones costeras que permiten la caracterización de su emplazamiento (Andrés et al., 2016).**

## 2.2 Manejo Costero en Zonas Turísticas con Urbanización Densa

### 2.2.1 Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC)

Las zonas costeras constituyen espacios de una importancia social extraordinaria. Más de un tercio de la población mundial vive en las zonas costeras, donde componentes económicos y sociales trascendentales de garantía de vida juegan un papel elemental. Sin embargo, estos ecosistemas extremadamente frágiles y complejos han sido expuestos al uso excesivo, lo que ha provocado el detrimento social, económico y ambiental ampliamente conocido. En este contexto surge el enfoque de Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC), principio que es referido en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo y que toma legitimación como principio programático esencial de la Agenda 21. A partir de ese momento, el MIZC se asentó como el enfoque idóneo para el manejo de las zonas costeras y sus recursos naturales, pues se concibió como el proceso de planificación completo e integrador que tiende a armonizar los valores culturales, económicos y ambientales; y a equilibrar la protección ambiental y el desarrollo económico que coadyuva a la equidad social y al mejoramiento de la calidad de vida y del medio ambiente a corto, mediano y largo plazo (Justafre 2012).

Las metas del Manejo Integrado de la Zona Costera son (Silva et al. 2014):

- Reducir la vulnerabilidad de la zona costera a riesgos naturales (erosión, inundaciones, salinización de acuíferos).
- Mantener la conservación de la biodiversidad costero-marina y los procesos ecológicos esenciales, como son el flujo de nutrientes y de energía.
- Sostener los servicios ambientales provistos por los ecosistemas costero-marinos, tales como el mantenimiento de la calidad gaseosa de la atmósfera, mejoramiento de la calidad del agua, control de ciclos hidrológicos (incluyendo inundaciones), alimento, etc.
- Resguardar la calidad de vida de las comunidades litorales, favoreciendo el desarrollo sustentable de las áreas marino-costeras
- Recuperar y rehabilitar zonas que han sido afectadas
- Procurar un aprovechamiento correcto de los recursos costeros evitando conflictos entre usos y procesos naturales.

Para que un MIZC pueda ser llevado con éxito a la práctica es necesario contar con:

- Una sólida base (datos y mediciones de procesos naturales, sociales y económicos) que pueda ser fuente de indicadores.
- Establecer metas y delinear políticas basadas en procesos participativos.
- Contar con medios (legales, institucionales, técnicos, financieros y humanos) para llevar adelante las metas y políticas establecidas.

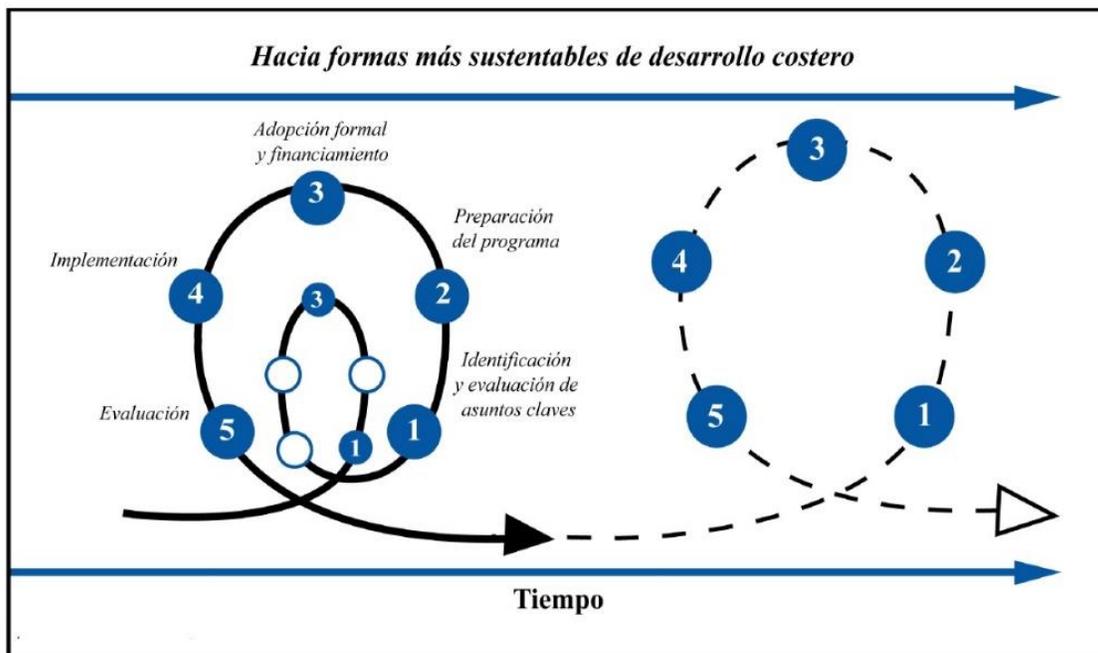


Bajo el concepto de MIZC, Canadá y Estados Unidos presentan cada uno sus experiencias a nivel nacional en Clark (1996). Canadá inicialmente tenía un conflicto jurisdiccional entre la federación y las provincias quienes a través de la experiencia finalmente trabajaron juntos y optaron por un MIZC para resolver la inadecuada estructura administrativa que permitió la contaminación de aguas costeras, pérdida de humedales, conflicto de usos por el recurso y colapso de algunas pesquerías. Administrativamente, demostró que los casos de estudio a pequeña escala son un éxito si trabajan todos juntos, además muchas de las provincias desarrollaron estrategias locales, mientras que el gobierno federal tenía un rol importante a través de su Comité Interdepartamental sobre los Océanos, que coordinaba y guiaba los programas y políticas marinas a nivel federal. Por otra parte, Estados Unidos operó el MIZC utilizando una combinación de concesiones e incentivos organizacionales en la mayoría de la línea de costa con una red efectiva de manejo intergubernamental costero; además consideró el diseño de dos programas, uno nacional centrado en la normatividad para proteger el ambiente y otro programa descentralizado y basado en incentivos para que los estados voluntariamente participen e implementen un MIZC (González et al. 2012).

Para la implementación exitosa de un Manejo Integrado de Zona Costera, Cortes (Cortes et al. 2010) propone crear una entidad con las capacidades técnicas (una alta capacitación de los especialistas en temas costeros o de sus componentes), jurídicas (ser reconocido legalmente y con personalidad jurídica propia) y financieras (aprobación de las tasas impositivas a cobrar). Estas actuaciones son la que pueden permitir desarrollar una buena gestión en el territorio, sobre todo, para la eliminación paulatina de problemas ambientales que inciden negativamente sobre los componentes naturales, económicos y sociales.

El manejo costero integrado es un proceso continuo y dinámico que guía el uso, el desarrollo sustentable y la protección de las áreas costeras. Una de sus funciones es unificar gobierno y comunidad, ciencia y experiencia local, intereses privados e intereses públicos, acciones sectoriales y visiones integrales. El punto focal de éxito del MCI es establecer en cada caso de manejo un proceso y unos mecanismos de gobierno aceptables para la comunidad, los cuales deben ser equitativos, transparentes y dinámicos. (Ochoa et al. 2001). El Proyecto Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA) está conformado por Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Guatemala, Honduras, El Salvador y Belice, es una de las primeras iniciativas que surgen de la voluntad conjunta proclamada en ALIDES (Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible) y CONCAUSA (Declaración Conjunta Centroamérica-USA) para avanzar en el manejo de los asuntos ambientales y del desarrollo sostenible. PROARCA/Costas, fue implementado por The Nature Conservancy (TNC), World Wide Found (WWF) y el Centro de Recursos Costeros de la Universidad de Rhode Island (CRC-URI). PROARCA/Costas fue originalmente concebido como un proyecto de manejo sectorial orientado a fortalecer el sector de áreas protegidas; pero esa concepción evolucionó y se orientó hacia manejo costero integrado, asumiendo las áreas protegidas como uno de los elementos de conservación y desarrollo en la región.

Ochoa et al. (2001), postulan que en la medida en que el manejo de recursos costeros es una política gubernamental, el desarrollo de los programas oficiales de manejo sigue el mismo ciclo que las otras grandes políticas públicas. El ciclo característico del desarrollo de una política tiene cinco pasos universales: identificación y evaluación de los asuntos claves a manejar, preparación del programa, adopción formal y financiamiento, implementación, y evaluación (ver figura 8). Usualmente el establecimiento de un programa gubernamental de manejo resulta de un mandato del ejecutivo o del legislativo, dicho mandato es representado en este estudio como un ciclo semilla, inscrito dentro del primero.



**Figura 8. Pasos del ciclo de desarrollo de políticas públicas (Ochoa et al. 2001)**

El cambio desde usos predominantemente no sustentables, hacia otros que sí lo sean, requiere de continuidad en el esfuerzo y en las políticas. Requiere también acumular éxitos a escala local y a escalas más amplias, de alcance nacional y regional. Un esfuerzo que produzca calidad sustentable en la vida de las comunidades costeras y bienestar sustentable en los ecosistemas costeros, forzosamente requerirá de varias generaciones de ciclos. La experiencia prueba consistentemente que los pasos a través de los cuales se desarrollan los ciclos son indispensables y que cada uno tiene acciones esenciales que deben ser ejecutadas con la participación de los actores claves del proyecto (Ochoa et al. 2001). Las acciones de la tabla 1 corresponden por igual tanto a los programas gubernamentales como a las iniciativas comunitarias. Exponen Ochoa et al. (2001), que la realización de los cinco pasos del ciclo ha requerido usualmente de un período entre ocho y diez años, tiempo que es superior a la duración de los períodos gubernamentales y también a la duración de la mayor

parte de convenios y proyectos de asistencia técnica y de cooperación. Conforme se desarrolle la institucionalidad para manejo y se aprecien los beneficios socioeconómicos y ambientales de las iniciativas, la duración del ciclo será cada vez menor.

**Tabla 1. Acciones esenciales de los pasos del ciclo de manejo costero (Ochoa et al. 2001)**

Pasos	Acciones esenciales
<b>Paso 1</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Identificar y evaluar los principales asuntos ambientales, sociales e institucionales y sus implicaciones.</li><li>2. Identificar los principales actores y sus intereses.</li><li>3. Verificar la factibilidad y el liderazgo gubernamental y no gubernamental sobre los asuntos seleccionados.</li><li>4. Seleccionar con los actores claves los asuntos sobre los cuales enfocará sus esfuerzos la iniciativa de manejo.</li><li>5. Definir con los actores claves las metas de la iniciativa de MC.</li></ol>
<b>Paso 2</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Documentar las condiciones de la línea de base.</li><li>2. Realizar la investigación identificada como prioritaria.</li><li>3. Seleccionar los límites de las áreas de manejo.</li><li>4. Preparar el plan de manejo y la propuesta de estructura institucional para su implementación del plan.</li><li>5. Iniciar el desarrollo de la capacidad técnica local.</li><li>6. Planificar el sostenimiento financiero.</li><li>7. Probar acciones de manejo a escala piloto (ejercicio local o prueba piloto de manejo).</li><li>8. Realizar un programa de educación pública y concientización</li></ol>
<b>Paso 3</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Obtener la aprobación gubernamental del Plan y de la estructura institucional.</li><li>2. Implementar el marco institucional básico del MC y los diversos arreglos institucionales.</li><li>3. Proveer los fondos requeridos para la implementación del programa</li></ol>
<b>Paso 4</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Modificar las estrategias del programa conforme sea necesario</li><li>2. Promover el cumplimiento de las políticas y estrategias del programa.</li><li>3. Fortalecer el marco institucional y desarrollar los aspectos normativos del programa.</li><li>4. Fortalecer el compromiso de la administración y del personal con la estrategia y los resultados.</li><li>5. Fortalecer la capacidad gerencial, técnica y de manejo financiero del programa.</li><li>6. Asegurar la construcción y mantenimiento de la infraestructura física.</li><li>7. Alimentar la participación abierta de quienes respaldan el programa.</li><li>8. Implementar los procedimientos de la resolución de conflictos.</li><li>9. Alimentar el apoyo político y la presencia del programa en la agenda de grandes temas nacionales.</li><li>10. Monitorear el desempeño del programa y las tendencias del ecosistema</li></ol>
<b>Paso 5</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Determinar los propósitos e impactos de la evaluación.</li><li>2. Adaptar el programa a su propia experiencia y a las nuevas y cambiantes condiciones ambientales, políticas y sociales.</li></ol>

En lo que respecta a Europa, actualmente existe un gran proyecto denominado Corepoint3 (COastal REsearch and POLicy INTegration) con 12 países integrantes que utilizan sus experiencias para desarrollar e implementar el MIZC (Ballinger et al. 2008). Ejemplo de este proyecto es la evaluación de la actividad recreativa en el puerto de Cork, Irlanda (O'Mahony et al. 2009).



El Plan de Manejo Costero de Queensland, Australia (PMCQ 1999), describe cómo gestionar eficazmente estas áreas para asegurar el disfrute de la costa y garantizar su desarrollo sostenible. El cual se sintetiza en los siguientes puntos:

- Solidaridad intergeneracional: Los recursos deberán ser conservados y restaurados sin comprometer su uso para las futuras generaciones.
- Interdependencia: En un plan de MCI deben ser tenidos en cuenta la interdependencia existente entre los recursos, los ecosistemas y los actores que coexisten en el área.
- Mejorar la calidad de vida: El MCI debe propiciar la mejora en la calidad de vida de los residentes y visitantes del área.
- Principio precautorio: Este principio debe ser tenido en cuenta en la toma de decisiones, aunque no exista certeza técnica sobre los eventuales o posibles daños.
- Paisaje cultural y patrimonio cultural: Estos deben ser considerados como un elemento importante para el desarrollo económico y turístico y la cohesión social, debiendo ser identificados, valorados y conservados.
- Protección de la biodiversidad, de los procesos ecológicos y su equilibrio: Esta protección es esencial para la existencia, conservación y mantenimiento de los ecosistemas tanto marinos como terrestres.
- Gobernanza: El MCI debe ser coordinado e integrado a través de todos los niveles de gobierno y de la comunidad.

### **2.2.2 Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC). Situación actual en México.**

Se han realizado esfuerzos por avanzar en temas del Manejo Integrado de la Zona Costera en México, por mencionar algunos esta la Propuesta del INE (2000): Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera en México, la cual, está basada solamente en la problemática identificada (ecológica y socioeconómica) y no en una caracterización más amplia (morfológica, hidrodinámica, ecológica, de riesgo, etc.). Lo mismo sucede con la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México (SEMARNAT 2006). Hasta el 2009, México había suscrito 62 tratados internacionales en materia de medioambiente (ASF 2011c; Medina Estrada 2011). Algunos de los tratados más relevantes son:

- Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) Agenda 21, Cap. 17
- PAM: Programa de Acción Mundial-PNUMA
- FAO
- Convención sobre Humedales de Importancia Internacional como hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR)
- Declaratoria de Montreal
- Comisión de Cooperación Ambiental para América del Norte (CCA) – Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN)
- Comisión Centroamericana de Medio Ambiente y Desarrollo (CCAD)

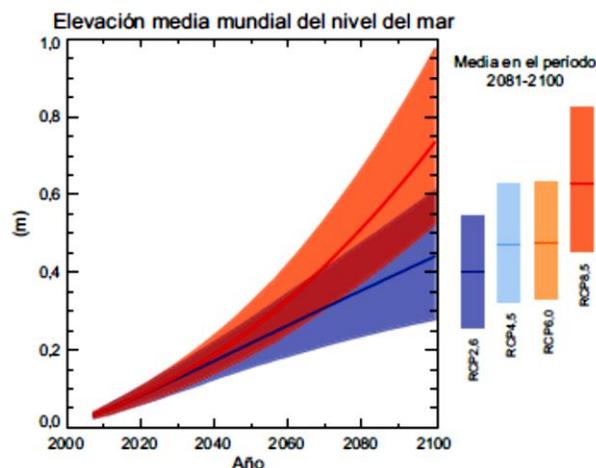
- Convenio para la Protección y el Ordenamiento Sostenible del Medio Ambiente Costero del Pacífico Nordeste
- Mecanismo de Cooperación Económica Asia – Pacífico (APEC)
- Acuerdos binacionales con Japón, Estados Unidos (Programa Frontera Norte, EPA, USAID) y Canadá.

A pesar de haber hecho esfuerzos importantes a nivel local y de estar suscritos a importantes acuerdos a nivel internacional, la situación del MIZC en México es aún incipiente, debido a que todavía no existe un programa de gestión integrada para las zonas costeras. La mayor debilidad detectada está relacionada a la falta de coordinación entre instituciones, la cual es el resultado de una amplia gama de competencias en diversas materias conferidas a las instituciones que inciden dentro del espacio marino y costero. Es necesario el desarrollo de una estrategia Nacional para el MIZC que incluya regulaciones claras para las actividades costeras y que a la vez delimite los métodos de aplicación y evaluación de éstas por parte de las diferentes instancias involucradas (Silva et al. 2014).

## 2.3 El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y el SLR (Sea Level Rise)

### 2.3.1 Escenarios de cambio climático y aumento del nivel del mar

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y ratificado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, a fin de que facilitase a los responsables de las políticas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus impactos y riesgos, y las opciones de adaptación y mitigación.



**Figura 9. Proyecciones de la elevación media mundial del nivel del mar durante el siglo XXI (IPCC 2014).**

Una de las consecuencias más evidentes del cambio climático es el incremento del nivel del mar. Aunque se considera generalmente como un proceso lento a escala humana, tiene una importancia significativa a medio y largo plazo, influenciando la dinámica erosiva de la costa y la alteración en los ecosistemas litorales (Nicholls y Cazenave 2010). El nivel medio global del mar ha aumentado 19 cm aproximadamente desde 1901 y se ha acelerado a un ritmo de 3.2 cm por década en los últimos 20 años, casi el doble de la tasa de aumento durante el siglo XX (ver figura 9). Así mismo, se estima que el nivel del mar ha aumentado a un ritmo del orden de  $1.8 \pm 0.5$  mm por año durante el período 1961-2003 (IPCC, 2007), aunque en el Mediterráneo ese aumento ha sido significativamente inferior:  $0.3 \pm 0.2$  cm por década, algo más de 2 cm durante los últimos 50 años (IMEDEA-UIB-CSIC, 2010), muy inferior a la subida media global de 7.5 cm. Las predicciones para el siglo XXI elaboradas por el IPCC (2014), advierten que el nivel medio del mar podría subir de 0.52 a 0.98 m para el año 2100. Considerando este escenario, son varios los efectos que puede generar sobre las playas con previsión para el año 2050 (Medina 2004):

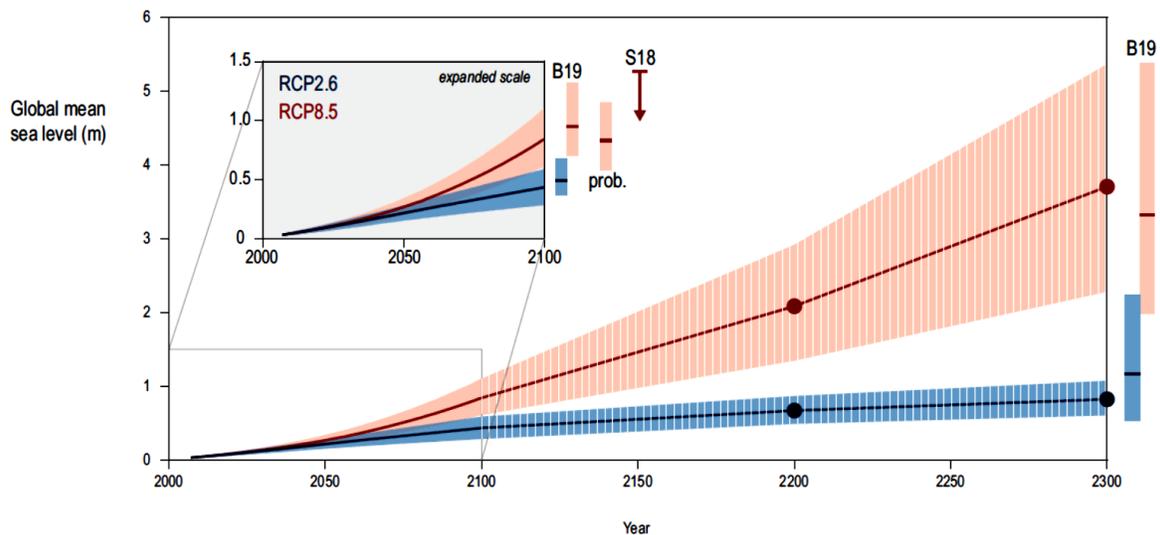
- El primero de ellos será una variación en la cota de inundación. Este parámetro, viene determinado por la probabilidad conjunta de la marea astronómica, de la marea meteorológica, del run-up en la playa y del posible aumento del nivel medio del mar.
- El segundo parámetro es el posible retroceso de la línea de costa. Este puede ser inducido por un aumento en el nivel medio, que hace que el perfil activo de la playa tenga que ascender para llegar al equilibrio dinámico con esta nueva condición de nivel medio. Para ello, es necesario cubrir el déficit de arena que se produce en el perfil activo y este se hará a expensas de la arena de la playa seca y de la berma, produciendo un retroceso de la línea de pleamar. Las playas constituidas por arenas más finas y mayores profundidades de corte, es decir, las más disipativas, serán aquellas que experimenten el mayor retroceso.

En el Informe especial IPCC (2019) indica que para comprender las respuestas a la SLR inducida por el cambio climático, es importante tener en cuenta inicialmente dos aspectos del nivel del mar:

1. El aumento de GMSL (nivel medio del mar global) inducido por el cambio climático es causado por la expansión térmica del agua del océano y la ganancia de masa del océano, este último principalmente debido a una disminución en la masa de hielo terrestre. Sin embargo, las respuestas a SLR (aumento del nivel del mar) son locales y, por lo tanto, siempre se basan en RSL (aumento relativo del nivel del mar por sus siglas en inglés) experimentadas en una ubicación particular. El GMSL se modifica regionalmente por los procesos climáticos y localmente por una variedad de factores, algunos impulsados o influenciados por la actividad humana. De particular relevancia para responder a SLR es el hundimiento antropogénico, que puede conducir a tasas de aumento de RSL que exceden las de SLR inducidas por el clima en un orden de magnitud, específicamente en regiones delta y cerca de ciudades. En

estas regiones en hundimiento, una respuesta disponible para prepararse para el futuro SLR inducido por el clima es gestionar y reducir el hundimiento antropogénico.

2. La combinación del cambio gradual del nivel medio del mar con eventos de ESL (nivel del mar extremo) como mareas, marejadas y olas causa impactos costeros. Los eventos de ESL en la costa, que son raros en la actualidad, se volverán más frecuentes en el futuro, lo que significa que, para muchos lugares, el principal punto de partida para la planificación costera y la toma de decisiones es la información sobre los eventos de ESL actuales y futuros. Una respuesta importante para prepararse para las futuras SLR es mejorar los sistemas de observación (mareógrafos, boyas de olas y técnicas de detección remota), porque en muchos lugares del mundo las frecuencias e intensidades actuales de los eventos de ESL no se comprenden bien debido a la falta de datos de observación.



**Figura 10. Aumento proyectado del nivel del mar (SLR) hasta el año 2300. El recuadro muestra una evaluación del rango probable de las proyecciones. Para el contexto, se muestran los resultados de otros enfoques de estimación en 2100 y 2300 (IPCC, 2019).**

Combinando estudios basados en modelos de proceso en los que hay una confianza media, se encuentra que se proyecta que GMSL se elevará entre 0.43 m (0.29–0.59 m, rango probable) y 0.84 m (0.61–1.10 m, rango probable para 2100 (Figura 10). El rango que debe considerarse para la planificación e implementación de las respuestas costeras depende de la tolerancia al riesgo de las partes interesadas. Los estudios basados en modelos de proceso aún no pueden proporcionar esta información, pero los estudios de elicitación de expertos muestran que no se puede descartar un GMSL de 2 m en 2100.

---

## 2.4 Opresión Costera (Coastal Squeeze)

### 2.4.1 Definición

El origen del término opresión costera (coastal squeeze) fue acuñado por Doody (2004), debido a observaciones que hizo de la pérdida de la marisma en la zona de lavado y la recuperación de porciones hacia el mar de marismas en Essex, debido a la erosión. A finales de 1980 y principios de 1990, se utilizaba el término opresión costera como parte de un argumento en contra de la conservación, más aún la recuperación de marismas en la zona de lavado. En ese entonces, el término opresión costera era un intento de describir un proceso para los no especialistas y no fue definido con precisión. Doody señaló que donde hay un aumento en el nivel del mar en relación con la tierra, una opresión costera se lleva a cabo (Doody, 2004); agravado por el calentamiento global, que no sólo incrementa el nivel del mar, sino también aumenta la frecuencia de las tormentas y como consecuencia origina erosión costera (la erosión de acantilados, retroceso de las playas, la pérdida de marismas, dunas etc.) (Coastal Wiki 2015).

Pontee (2013), propone la siguiente definición de compresión del litoral: "opresión costera es una forma de pérdida de hábitat costero, donde el hábitat intermareal se pierde debido a la alta marca de agua que se fija mediante una defensa o estructura (es decir, la marca de agua que reside contra una estructura dura, como una pared de mar) y la línea de bajamar migra hacia tierra en respuesta al aumento del nivel del mar"

En Doody (2013) se ilustra cómo la opresión costera ha llegado a ser utilizada en algunos casos: "El término opresión costera describe el proceso en el aumento del nivel del mar y otros factores, como el aumento de las tormentas, que empujan los hábitats costeros hacia tierra". Al mismo tiempo, en las zonas donde la demanda de la tierra o de las defensas costeras ha creado una estática, el margen artificial entre la tierra y el mar o en la tierra se eleva con respecto a la llanura costera, los hábitats se vuelven oprimidos en una zona de estrechamiento. La manifestación de este proceso es más evidente a lo largo de los márgenes hacia el mar de los hábitats costeros, especialmente en las marismas, cuando la erosión se lleva a cabo.

La opresión costera es el proceso por el cual los ecosistemas costeros son amenazados por la combinación del SLR y la presencia de una barrera física, tal como infraestructura humana. Esta situación impide la migración terrestre de ecosistemas y especies, a medida que la costa se desplaza hacia el interior, y por lo tanto están expuestos a la extinción local (Martínez et al. 2014).

La opresión costera es el proceso de pérdida y/o disminución de la calidad de la zona intermareal. Dicha disminución puede ser causada por factores naturales y antrópicos tanto marinos como terrestres (Doody 2004; Black y Veatch 2006; Pontee 2013). Dentro de los procesos naturales están incluidos los procesos geomorfológicos. Por otra parte, los principales factores antropogénicos son los relacionados con la intervención humana. Las playas son atrapadas entre el incremento del nivel del mar, la erosión y el aumento del

desarrollo costero. Las playas estrechas resultantes no dejan lugar a la migración de los ecosistemas costeros hacia tierra adentro (Dugan et al. 2010) provocando su degradación y disminución de los servicios que proveen, y el de mayor importancia, de protección contra embates meteorológicos (Ramírez 2018). La figura 11, muestra un esquema que representa los factores que influyen en la compresión del litoral.



Figura 11. Esquema de factores que influyen en la opresión de costera (Tomado de Martínez et al. 2014)

#### 2.4.2 Evaluación de la opresión costera

Actualmente, es de suma importancia evaluar la opresión costera, por ejemplo, Schleupner (2008), aplicó una metodología para evaluar las consecuencias de dicho fenómeno. Se centra en el desarrollo costero en el contexto de la infraestructura turística en Martinica eligiendo una perspectiva futura. El análisis se realiza a través de un modelo digital de terreno (DTM) en el que se implementan escenarios de nivel de mar y erosión. El índice de compresión costera aplicado tiene en cuenta las oportunidades de migración relacionadas con la elevación e infraestructura costera, el aumento del nivel del mar basado en los escenarios de ascenso del nivel del mar e incluyendo la erosión y la acumulación, así como el tipo de humedal costero (playa, manglar). Los resultados sugieren que casi la mitad de las costas de Martinica son sensibles a opresión costera suponiendo un aumento del nivel del mar de 25 cm.

Jackson et al. (2011) utilizan la tecnología SIG y los datos existentes para probar predicciones sobre cómo las secciones de las costas rocosas podrían cambiar a más de decenas de kilómetros, predice que el aumento del nivel del mar reducirá el área entre la media de los manantiales de aguas altas (MHWS) y la media de los manantiales de aguas bajas (MLWS) y maneja los datos utilizando ArcView versión 9.0 GIS. Las extensiones de ArcMap se



utilizaron para ampliar la funcionalidad del software. Estos fueron Hawth's Herramientas (Beyer 2004), ET Geowizards 9.9 (Shareware) y motor EV8 (Shareware).

Un trabajo relacionado con la evaluación de la opresión costera es Torio y Chmura (2013) en el que desarrollan un Índice de Aprehensión Costera con el fin de identificar los lugares donde probablemente ocurrirá la opresión como primer paso. Luego clasifican las amenazas que enfrentan los humedales a lo largo de una costa particular. Tal información es necesaria para una gestión costera permita la migración de los humedales y evite su desaparición o degradación (opresión costera). Su enfoque se centra en los ecosistemas de pantanos en el Golfo de Maine (EE.UU.) y el Golfo de San Lorenzo (Canadá). Sugieren derivar la topografía del área de estudio de los conjuntos de datos LIDAR y ASTER para establecer un modelo digital de elevación (DEM). Las fotografías aéreas sirven para acercarse a sitios de estudio particulares. El límite de elevación y la información de los datos de las mareas se tienen en cuenta. Sobre la base del DEM y un escenario de ascenso del nivel del mar de 2.5 m determinan la altiplanicie inundada. El índice, es decir, el potencial de compresión costera, se obtiene a partir de las clasificaciones de pendiente e impermeabilidad de la futura superficie inundada, a partir de un análisis de incertidumbres. Ambos atributos determinan el potencial de migración de los pantanos y, por lo tanto, son indispensables para ser tenidos en cuenta al estudiar los ecosistemas de pantanos.

Martínez et al. (2014) definen a la opresión costera como el proceso en el que los ecosistemas costeros están amenazados por la combinación del aumento del nivel del mar y la presencia de una barrera física, como la infraestructura humana. Esta situación impide la migración hacia el interior de los ecosistemas y de las especies, como la línea de costa se mueve hacia el interior, son por lo tanto expuestas a la extinción local. El objetivo de su trabajo fue investigar la opresión costera en el estado de Veracruz, México, a través del estudio de la expansión urbana en la costa, un análisis de la geodinámica costera, y una proyección de los efectos potenciales del aumento del nivel del mar y de la distribución de dos especies de plantas focales que son endémicas de las dunas costeras de México la *chamaecristoides Chamaecrista* y *Palafoxia lindeni*. La metodología utilizada consistió en analizar el cambio de uso de la tierra con imágenes aéreas de 1995 y 2006 de alta resolución digitalizadas con el programa ArcView 3.2 con el fin de analizar los cambios a través del tiempo que ha tenido el área de estudio. Después se hizo una proyección del SLR uno de 1 m y el otro de 6 m, con una resolución espacial de 1 km y una resolución vertical de 1 m.

Morena et al. (2015) utilizan la planificación espacial sistemática para evaluar la configuración óptima y los compromisos involucrados en la adaptación SLR, incorporando modelos espaciales de inundación por SLR, crecimiento urbano y migración de ecosistemas. El análisis se basa en los costos de las estrategias de adaptación y sus contribuciones a los objetivos de desarrollo y conservación, traducidos a objetivos cuantitativos basados en el área. Implementa dos estrategias de adaptación: defender y retiro.



Kroon et al. (2015) investiga cómo los datos de imágenes de sensores remotos pueden contribuir al reconocimiento temprano de la compresión costera. Realiza un análisis de teledetección basado en imágenes de LANDSAT para intentar identificar el uso de la tierra y el cambio de la costa. Utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y los mapas compuestos de color (hechos con las bandas Landsat) y una capa vectorial de carretera OpenStreetMaps, se identificaron las regiones de interés y estudio de Evolución de la Costa.

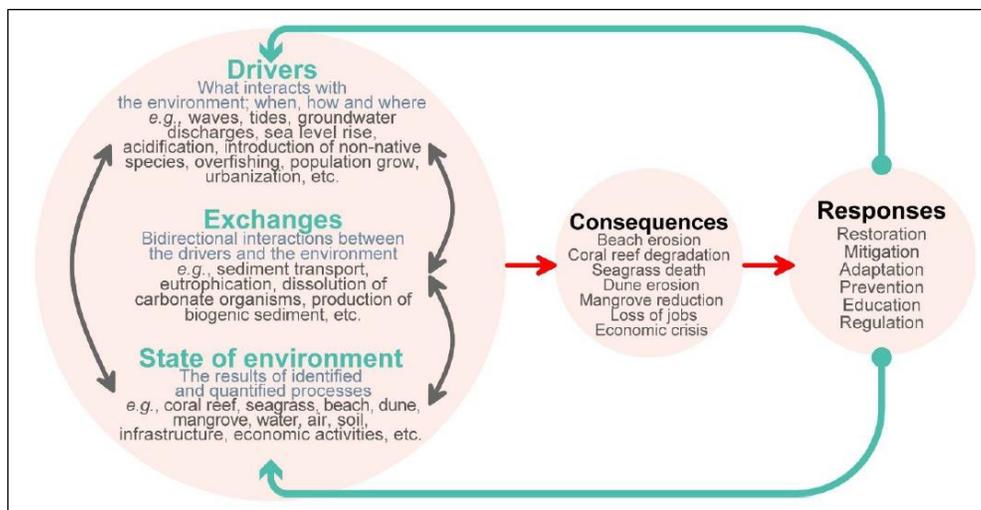
Hildinger et al. (2016) propone una metodología que toma en cuenta tres aspectos principales que determinan la dinámica de la compresión costera: la geósfera, la biósfera y el impacto antropogénico y realiza un análisis del riesgo a pequeña y gran escala para el uso de la tierra el análisis del SIG basado en los datos CORINE y Natura 2000, para los cambios en el nivel del mar utiliza ASTER Global Modelo de Elevación Digital (GDEM) Versión 2 y para escenarios de subida del nivel del mar se utilizará el software de código abierto Delft3D-Flow ([www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)).

Luo et al. (2018) adaptan el CSI y el método de evaluación propuesto en Torio y Chmura (2013) para evaluar el potencial de compresión costera de los humedales costeros en el YRD en escenarios futuros de SLR asumidos. Se enfocan en los efectos de la pendiente y las superficies impermeables en las tierras altas adyacentes para la posible migración de humedales, y desarrollan CSI adecuado para el YRD usando la función sigmoide difusa. Debido a la topografía predominantemente plana en el YRD, se descubrió que la pendiente es un contribuyente insignificante a la compresión costera, mientras que la impermeabilidad de la superficie juega un papel dominante.

Ramirez et al. (2018) realizan una comparación de las variables que inducen opresión costera en específico de aquellas que por su origen afectan con mayor intensidad en un tiempo preciso y corto, con otras variables que se han determinado que afectan en menor o igual intensidad, pero en una mayor permanencia. La identificación de las variables consistió en dos etapas, primero se identificaron aquellos factores que originan el fenómeno de opresión costera y se evaluaron solo las variables que afectan directamente a la zona costera. La metodología tomó en cuenta: incremento en el nivel del mar, oleaje incidencia y duración de tormentas, erosión y acreción, cambio de uso de suelo y desarrollo de infraestructura y obras de protección costera.

Ramirez et al. (2019) desarrollaron un índice con un enfoque de lógica difusa que facilita la cuantificación del grado de opresión costera en diferentes regiones costeras caracterizadas por distintas condiciones ecológicas, geomorfológicas y socioeconómicas. Las variables que influyen en la opresión costera, que toma en cuenta el índice son: evolución de la costa, cambios de uso del suelo, frecuencia e intensidad de tormentas, estimación de elementos de endurecimiento de la costa a lo largo de la costa.

Silva et al. (2020) proponen un marco para gestionar (identificar, analizar, cuantificar y abordar) el efecto de la opresión costera. El marco DESCR (Drivers, Exchanges, States of the environment, Consequences and Responses) (ver figura 12) examina las relaciones entre los conductores, los intercambios y los estados del medio ambiente para evaluar posteriormente las consecuencias crónicas y negativas y determinar las posibles respuestas. Para ilustrar la aplicación del marco del DESCR, se estudió la zona costera de Puerto Morelos, en el Caribe mexicano, utilizando este enfoque. Analizaron las interacciones sistémicas entre los ecosistemas costeros de esta zona, como los arrecifes de coral, los lechos de pastos marinos, la playa, las dunas costeras y los manglares, que se han alterado en los últimos decenios, lo que ha dado lugar a una grave opresión costera.



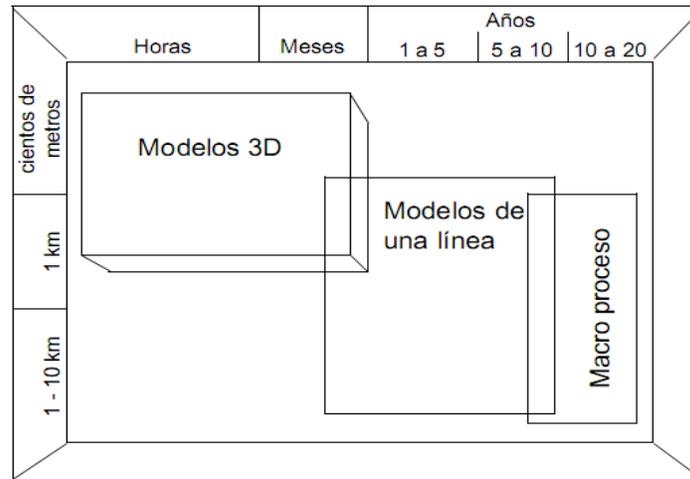
**Figura 12. Marco DESCR (Drivers, Exchanges, State of the environment, Consequences, and Responses) (Silva et al., 2020).**

## 2.5 Modelación Numérica

### 2.5.1 Modelación numérica de la costa

Los modelos numéricos son representaciones matemáticas del sistema real y reflejan el grado de conocimiento del proceso. Se puede afirmar que los modelos morfodinámicos tienen una estructura común, ya que se basan en una descripción de los procesos físicos más relevantes en relación a una batimetría dada. En la evolución de la zona costera participan procesos con distintas escalas de trabajo debidas a la complicada interacción entre la morfología costera y los distintos procesos físicos que tienen lugar en la zona. Esto produce cambios con múltiples escalas espacio-temporales, que hacen necesaria una reducción de la escala a un nivel operativo que integre el fenómeno a menor nivel y rechazar otros fenómenos sin influencia significativa para el sistema. Todo esto da lugar a diversos modelos prácticos, que pueden

ser de corto, medio o largo término, aplicados a las características locales: perfil de playa, línea de costa e incluso a grandes áreas costeras.



**Figura 13. Aplicación de los modelos de evolución costera según sus escalas (Krauss 1989).**

Los modelos numéricos pueden clasificarse en función de sus características de escala tiempo-longitud en diferentes tipos (figura 13). Los más usuales son los siguientes:

- Modelos de una línea (generalmente usados en la predicción a largo término de la línea de orilla).
- Modelos de perfiles de playas, 2DV (para predecir a corto término el perfil en costas longitudinales uniformes).
- Modelos de área, 3D-2DH (indicados para predecir la evolución del fondo a corto término en costas más complejas).
- Modelos de macro proceso (para efectuar análisis a grandes escalas espaciales y temporales).

Desde otro punto de vista, los modelos de evolución de costas, también pueden clasificarse según su concepto de modelización en dos categorías:

- Modelos basados en el proceso.
- Modelos basados en el comportamiento.

Los modelos basados en el proceso tienen una descripción detallada de todos los procesos relevantes mediante la implementación de una cantidad de sub-modelos que representan:



- Propagación de oleaje.
- Corrientes de mareas, viento, olas, gradientes de presión, gradientes de densidad, etc.
- Tasas de transporte de sedimentos.
- Cambios en el nivel del fondo.

Estos sub-modelos se combinan y entrelazan entre sí, creando un sistema dinámico.

Por otro lado, los modelos basados en el comportamiento describen el comportamiento de las características morfológicas usando expresiones relativamente simples que representen el fenómeno en su más amplia escala de interés.

El que se utilizó en esta investigación es Delft3D-Flow ([www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)) entra en el rango de los modelos basados en el proceso, porque está compuesto por diferentes sub-modelos pensados para simular los procesos físicos hipotéticos involucrados en la evolución morfológica de los sistemas laguna-barra-playa. Como se ha mencionado antes, los procesos que intervienen en la simulación constan de distintas escalas de espacio y de tiempo, en este caso, como lo que se quiere obtener es el máximo grado de detalle, es necesario describir el máximo número de estos procesos que tengan un papel importante. Esto se consigue mediante diferentes sub-modelos que interactúan entre sí. Por tanto, la mayoría de modelos morfodinámicos constan de una serie de sub-modelos, que son los de oleaje, de corrientes y de transporte de sedimentos, conectados mediante la evolución de fondo. Al combinar el resultado de estos componentes, se genera un sistema dinámico, donde la evolución del fondo actúa como el elemento que relaciona, mediante información hidrodinámica y de propagación, el resto de componentes.

Según De Vriend (1987), la mayoría de los modelos numéricos en morfología costera siguen un procedimiento computacional que consta de dos pasos ejecutados alternativamente: primer paso en el que, manteniendo la forma del fondo fija, se calcula las corrientes de agua y los movimientos de sedimento y un segundo paso donde se calcula el cambio en el nivel del lecho mientras el resto de variables permanecen invariantes. A pesar de la utilidad de los resultados que dan, es importante también conocer sus limitaciones, de las que depende la fiabilidad del modelo. Los errores y las incertidumbres en este tipo de predicción hidromorfodinámica provienen del uso de expresiones o formulaciones incompletas o imprecisas de los procesos, el uso de métodos inválidos en la situación o errores en las medidas de calibrado y validación.

### **2.5.2 Modelación numérica urbana**

Cifuentes (2009) propone una metodología para el estudio de los factores que han contribuido al crecimiento de la ciudad de Manizales (Colombia) en una regresión de 153 años. La espacialización de la ciudad se ha hecho por medio de Sistemas de Información Geográfica SIG, se han generado mapas asociados a 16 factores incidentes (naturales, sociales, culturales y económicos). Los datos del SIG se han procesado mediante capas tipo raster, obteniendo

matrices numéricas para diferentes factores causales que han sido analizados por medio del método multicriterio de Análisis de Componentes Principales ACP. El crecimiento para cada periodo se considera función de los factores naturales y de distancia, los cuales interactúan entre sí, dando como resultado el patrón de urbanización para cada periodo de tiempo (Variable de urbanización).

Jimenez-Moreno et al. (2011) describen y analizan algunos métodos de detección de cambios en el uso del suelo originado por el crecimiento urbano con la finalidad de mostrar sus ventajas y desventajas; también exponen aquellos métodos que proporcionan resultados favorables fundamentados en la información geográfica y que permiten una correcta toma de decisiones en la planificación del uso del suelo urbano.

Colaninno (2008) presenta diferentes tipologías de ciudades y las relaciones que las vinculan a un ámbito territorial, en una visión de desarrollo contemporáneo; con particular atención a la influencia que ejercita la cercanía al mar sobre los sistemas urbanos. El objetivo es delinear, gráficamente, esquemas de modelos a través de una operación de abstracción hecha sobre polígonos definidos por el proyecto CORINE Land Cover 2000; asignar, a cada esquema, valores numéricos a diferentes escalas, después de clasificar grupos distintos de asentamientos urbanos por medio de análisis estadísticos; reflexionar, finalmente, sobre los perímetros efectivos de interacción territorial entre los modelos definidos, puesto que, a lo largo de la costa mediterránea, los límites municipales se van difuminando a causa de las nuevas dinámicas urbanizadoras. Además, se pretende estudiar conceptos como difusión y fragmentación urbana, dibujando dichos patrones de modelos de urbanización reconocibles sobre el territorio y estableciendo criterios de lectura lógico-conceptual de los fenómenos de desarrollo urbano.

## 2.6 Capacidad de Carga Turística (CCT)

La Capacidad de carga turística es la cantidad máxima de visitantes que un área puede recibir manteniendo pocos impactos negativos sobre los recursos y al mismo tiempo altos niveles de satisfacción para los visitantes (Diaz et al. 2012).

### 2.6.1 Cálculo de Capacidad de Carga Física (CCF)

Es el límite máximo de visitas que se pueden hacer al sitio durante un día.

$$CCF = \frac{S}{sp} * NV \quad (1)$$

donde:

S= Superficie disponible, en metros cuadrados

sp= Superficie usada por persona= 2 a 4 m<sup>2</sup> (para actividades de playa)

NV= Número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona en un día.

### 2.6.2 Capacidad de Carga Real (CCR)

Es el límite máximo de visitas, determinado a partir de la CCF de un sitio, luego de someterla a los factores de corrección definidos en función de las características particulares del sitio (Cifuentes 1992).

$$FCx = \frac{Mlx}{Mtx} \quad (2)$$

donde:

FCx= Factor de corrección por la variable “X”

Mlx= Magnitud limitante de la variable “X”

Mtx= Magnitud total de la variable “X” (Total del área a evaluar)

Para obtener la capacidad de carga real se deben obtener el coeficiente de corrección de la categoría ambiental (potencial erosivo, accesibilidad, precipitación, brillo solar, perturbación a la fauna y flora), categoría social (cierres temporales de los sitios, satisfacción del turista/visitante y satisfacción del residente) y categoría económica (percepción de gasto del turista/visitante y percepción de ingreso del residente)

Una vez que se cuenta con todos los cálculos de los factores de corrección seleccionados en cada categoría, se procede a utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) donde se calcula lo que se denomina prioridad de cada uno de los elementos que se comparan, en este caso de los factores de corrección. Posteriormente, para obtener el factor de corrección total se multiplican los valores de los factores de corrección ajustados de las tres categorías así:

$$\text{Factor de Corrección total} = Fc \text{ ambiental} * Fc \text{ social} * Fc \text{ económico} \quad (3)$$

Para terminar, el valor obtenido se reemplaza en la siguiente ecuación para hallar el valor de la Capacidad de Carga Real:

$$CCR = CCF * \text{Factor de corrección total} \quad (4)$$

### 2.6.3 Capacidad de Manejo (CM)

La capacidad de manejo óptima se define como el mejor estado o condiciones que la administración de un área protegida debe tener para desarrollar sus actividades y alcanzar sus objetivos. Para medirla se utilizan variables como personal, infraestructura y equipamiento (Cifuentes et al. 1999). Para evaluar se tomó el criterio de porcentaje por funcionalidad de acuerdo a experiencias de administradores y matriz FODA de Agenda De Competitividad del Destino Turístico Mazatlán 2014 y al final promediando los porcentajes se obtuvo el resultado de Capacidad de Carga de Manejo.



#### 2.6.4 Capacidad de Carga Turística (CCT)

Se refiere al número máximo de personas que pueden permanecer en las playas. Para el cálculo de la capacidad de carga efectiva se emplea la siguiente ecuación (Cifuentes et al. 1999), este resultado es la Capacidad de Carga Turística:

$$CCT = CCR * CM \quad (5)$$

donde:

CCR= Capacidad de carga real

CM= Capacidad de manejo

---

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En la metodología que se describe a continuación se realizaron labores de investigación de tipo *histórica* (se encarga de describir fenómenos que acontecieron en el pasado basándose en fuentes históricas o documentos, se basa fundamentalmente en describir los hechos), *descriptiva* (expone los fenómenos como aparecen en la actualidad, estos pueden ser cualitativos o cuantitativos) y *experimental* (predice lo que ocurrirá si se produce alguna modificación en la condición actual de un hecho, para lograr esto se aplica el razonamiento hipotético-deductivo y la metodología suele ser cuantitativa, los experimentos pueden realizarse en el laboratorio o pueden ser de campo); en dos etapas que se describen a continuación:

### ETAPA 1

#### 1.1 Investigación histórica-descriptiva

- a) Antecedentes Históricos
- b) Eventos extremos (estadísticos)
- c) Generalidades de la Industria turística
- d) Generalidades de la urbanización
- e) Clima (estadísticos)
- f) Vientos (estadísticos)

#### 1.2 Investigación experimental

Con la información obtenida en el punto anterior se procede de la siguiente manera: se utilizó el ciclo **DES (Drivers, Exchanges, and States of the environment)**, para examinar la unidad costera de Mazatlán y se obtuvieron las variables que ocasionan opresión costera en el área de estudio:

- a) Aumento del Nivel del Mar.
- b) Evolución de la Línea de Costa.
- c) Urbanización de la Costa.
- d) Eventos Meteorológicos Extremos.

Se obtuvo el grado de Opresión Costera para la zona de estudio Mazatlán, Sinaloa, México y se correlacionaron los resultados con un estudio de Capacidad de carga turística (CCT).

### ETAPA 2

Mediante el ciclo **CR (Consecuencias y Respuestas)** se evaluaron las consecuencias crónicas y negativas de los elementos generadores de opresión costera y se determinaron posibles respuestas, propuestas de manejo costero y recomendaciones, considerando el aspecto social-ambiental-urbano.

## CAPÍTULO 4. ÁREA DE ESTUDIO

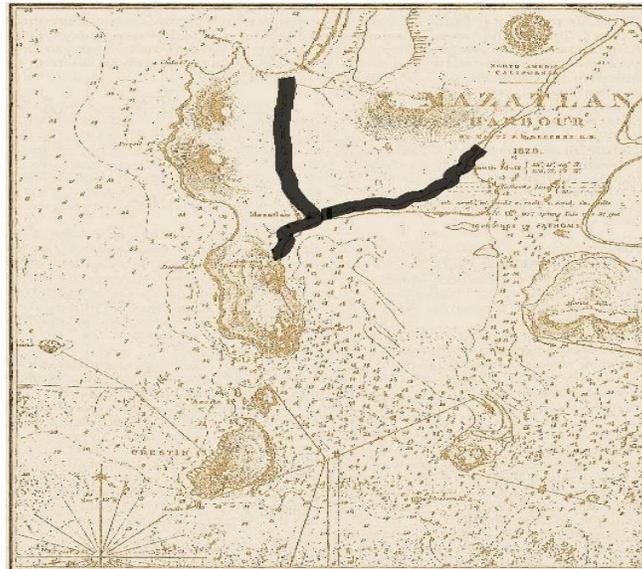
### 4.1 Localización geográfica

Mazatlán es una ciudad del noroeste de la República Mexicana y cabecera del municipio del mismo nombre. Está situada en el estado de Sinaloa entre los meridianos  $105^{\circ}46'23''$  y  $106^{\circ}30'51''$  al oeste del meridiano de Greenwich, y entre los paralelos  $23^{\circ}04'25''$  y  $23^{\circ}50'22''$  de latitud norte.

### 4.2 Antecedentes

Del antiguo idioma náhuatl Mazatlán proviene del vocablo “Mazatl” que significa lugar de ciervos y venados, aunque la historia también registra que del lenguaje Nahoá Mazatlán quiere decir lugar de venados. Durante siglos, Mazatlán estaba habitada por indios, cuya ocupación principal fue la pesca. La ciudad fue fundada en 1531 por un pequeño grupo de conquistadores españoles (25 personas) dirigidos por Nuno de Guzmán (Breve Historia de Mazatlán, Archivo municipal).

A principios del siglo XVII, la ciudad de Mazatlán se fundó en un lugar que era prácticamente inaccesible a causa del número de islotes que quedaban al nivel del mar, excepto los cerros del Vigía, Nevería, Casamata, El Crestón y Loma Atravesada. Ese aislamiento también era ocasionado por las lluvias y las entradas de mar, que lo dejaban incomunicado, debido a los numerosos sistemas lagunares costeros que servían de reservorio natural y que se interconectaban con los sistemas estuarinos denominados El Infiernillo, El Sábalo y Urías-La Sirena. Debido a esas condiciones, Mazatlán (figura 14) carecía de concentración demográfica, importancia política y comercial.



**Figura 14. Plano de Mazatlán 1828. La línea remarcada indica la ubicación de los primeros asentamientos de Mazatlán (archivo municipal de Mazatlán).**

Otras de las posibles causas de la escasa población en la zona se debían a la falta de minerales, la escasez de agua dulce y a sus sistemas laguneros costeros intercomunicados con marismas y esteros que limitaban el área para cultivos en este sitio, lo contrario de las localidades aledañas del valle de Mazatlán, donde ocurrían cultivos y actividades ganaderas. Desde el siglo XVII se percataron de las cualidades del puerto, convirtiéndose en un punto de referencia en la ruta marítima hacia California. Las actividades de origen fueron la agricultura, la pesca, y la caza. Durante el siglo XIX, Mazatlán fue un centro comercial de primera magnitud en el occidente del país, por ser, en la región, el principal puerto de salida de metales preciosos y porque desde aquí se distribuían toda clase de mercancías extranjeras hacia el noroeste de México.

En 1930, iniciaron las obras de construcción del puerto debido al gran auge de las actividades comerciales de importación que se recibían por la bahía del Fondeadero (hoy Playa Sur, ver figura 15). Las obras iniciales fueron el "muelle fiscal y el rompeolas", lo que ocasionó la ampliación de la ciudad hacia el sur en un área de 50 hectáreas de "terrenos ganados al mar".



**Figura 15. Bahía del Fondeadero (archivo municipal de Mazatlán).**

La segunda etapa de construcción del puerto se llevó a cabo de 1953 a 1958. En esta etapa se terminaron los rompeolas, se profundizó el puerto (canal, antepuerto y dársenas) por medio de dragados y se construyeron almacenes y accesos terrestres. La tercera etapa se realizó en los años de 1960 a 1967 en la que se prolongaron los muelles fiscales y de cabotaje, se construyeron bodegas y patios, se mejoraron los accesos carreteros ferroviario, asimismo, se terminaron los accesos y oficinas. El canal de navegación, por su parte, se terminó de desarrollar con la construcción del rompeolas de la isla de los Chivos a la Isla de la Piedra y del Cerro El Crestón a tierra firme.

La construcción de la avenida del Mar en 1958 (figura 16) provocó una ruptura entre los intercambios de los sistemas lagunares y las aguas marinas de la bahía. El primer tramo se terminó hasta "Punta Camarón", en 1960 se amplía a "Punta Sábalo" y en 1973 llega a "Los Cerritos", en donde se enlaza a la carretera internacional a través de la carretera "Habal-Cerritos". En su trayecto, la vialidad atravesó sobre lagunas y parte del estero El Sábalo.



**Figura 16. Avenida del Mar en 1958 (archivo municipal de Mazatlán).**

Durante la década de 1960 comenzó el auge del puerto con la construcción de la Zona Dorada y a partir de entonces, el florecimiento de Mazatlán no ha parado, para esta época la infraestructura urbana se había desarrollado de manera detonante.



**Figura 17. En la parte de arriba de la imagen se alcanza a ver la desaparecida laguna Las Gavias hoy conocida como Zona Dorada. En la parte inferior se aprecia ya totalmente desaparecida y transformada.**

En la primera década del siglo XXI, Mazatlán únicamente cuenta con 10.31 km<sup>2</sup> de lagunas costeras y esteros. En lagunas dispone de 0.072 km<sup>2</sup>, que incluyen el Bosque de la Ciudad con 0.005 km<sup>2</sup>, el Acuario con 0.017 km<sup>2</sup> y la del Camarón con 0.050 km<sup>2</sup>. En lo que respecta a esteros, 10.24 km<sup>2</sup>, que comprenden de El Sábalo (1.28 km<sup>2</sup>, totalmente transformado (ver figura 17), Urías (8.0 km<sup>2</sup>) y El Infiernillo (0.96 km<sup>2</sup>, considerando la cuenca del arroyo Jabalines). Lo anterior, significa que han desaparecido 296.536 km<sup>2</sup> de sistemas acuáticos, destruidos y transformados por las condiciones históricas de la producción, la apropiación privada de los recursos y la legalización de ellos por las estructuras del poder político (Beraud 2007).

Las playas del municipio de Mazatlán pueden ser incluidas en los segmentos siguientes: Isla de la Piedra; Faro del Crestón-Punta Tiburón; Punta Tiburón-Punta Camarón; Punta Camarón-Punta Sábalo; Marina Mazatlán-Cerritos. Los límites de los segmentos lo constituyen cabos o promontorios rocosos y cambios en la dirección de línea de costa, los cuales originan cambios en la dirección predominante de la deriva litoral (Peraza 2013). Con base en la clasificación anterior, a continuación, se describen las características más importantes de los segmentos de las playas Isla de la Piedra; Faro del Crestón-Punta Tiburón; Punta Tiburón-Punta Camarón; Punta Camarón-Punta Sábalo; Marina Mazatlán-Cerritos.

La Isla de la Piedra (figura 18). Es una península formada por la barrera que separa del mar al estero de Urías, está delimitado al sur por el cauce del río Presidio al norte por la escollera que la conecta con la isla de los Chivos que forma parte del sistema de rompeolas que protegen al oleaje al puerto. El transporte litoral bruto evaluado es de 524000 m<sup>3</sup>/año con un transporte neto de 46000 m<sup>3</sup>/año (Peraza 2013).



**Figura 18. Playas de la Isla de la Piedra (Google Earth Pro, 2019).**

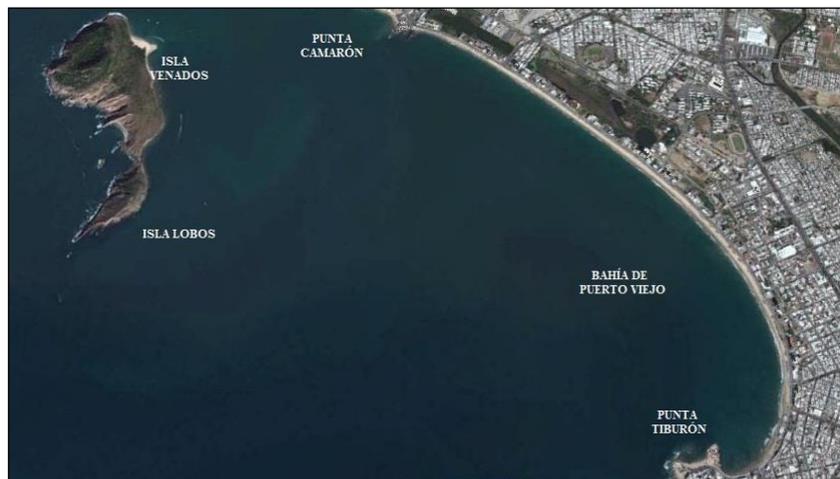
El fragmento que comprende Faro del Crestón-Punta Tiburón (figura 19) en su mayoría es rocoso, con la presencia de acantilados, debido a que está orientado de norte a sur y no tiene

barreras que retengan la fuerte deriva de litoral de la arena, es posible sea causante de que no se formen playas a excepción de Olas Altas y Pinitos. En los meses de verano, caracterizados por poco oleaje de WNW y presencia de oleaje del sur, la playa tiende a formarse en el lado NWN, mientras que, durante el resto del año, al predominar el oleaje del cuarto cuadrante, lo hace en el lado SSE (Peraza 2013).



**Figura 19. Segmento Faro del Crestón-Punta Tiburón que incluye playa Olas Altas y playa Pinitos (Google Earth Pro, 2019).**

Punta Tiburón-Punta Camarón (playas del malecón figura 20), forma parte de la Bahía de Puerto Viejo. Son playas arenosas y aptas para los bañistas, más las ubicadas de Playa Norte a avenida de los Deportes y/o Universidad (Acuario Mazatlán).



**Figura 20. Segmento Punta Tiburón-Punta Camarón (playas del malecón), Bahía de Puerto Viejo (Google Earth Pro, 2019).**

Con la ampliación del malecón (2005) en esta zona, las playas se hicieron más estrechas porque para optimizar espacios, la pendiente del muro del malecón se modificó dejándola casi vertical, originando que el oleaje genere más energía al chocar y el sedimento suspendido lo arrastre en más cantidades acelerando la erosión y el deterioro de la playa, que de por sí, ha ido perdiendo su perfil de equilibrio que un tiempo tuvo, antes que las actividades antropogénicas lo modificaran. Agravando la situación se construyeron sobre las playas de este tramo cuatro baños con vestidores en forma de glorieta circular incluyendo aljibes de concreto, que sobresalen un poco más de un metro sobre la arena, contribuyendo aún más a la pérdida de material sedimentario. Existen además descargas pluviales que erosionan la playa durante la temporada de lluvias. La descarga que tiene un gasto más fuerte es la ubicada frente a las instalaciones de la Universidad de Occidente, la cual drena una laguna (humedal) ubicada a espaldas de la mencionada universidad.

En la parte centro sur del sector se encuentran una serie de pequeños restaurantes sobre la playa (ver figura 21). Son enramadas (palapas) cimentadas en una base de concreto en forma de cajón la cual al funcionar como un muro o paredón vertical contribuyen al cambio constante de la morfología de la playa.



**Figura 21. Enramadas (palapas) de restaurantes construidos sobre la playa en el tramo Punta Tiburón-Punta Camarón.**

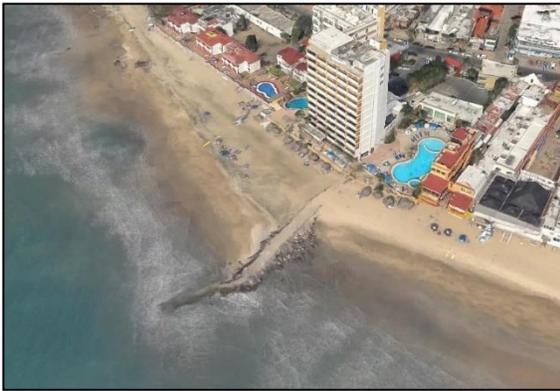
Por su configuración geográfica y topo-batimétrica la línea de costa del malecón remodelado en la Bahía de Puerto Viejo es una zona de dispersión natural de la energía del oleaje, la cual permite la depositación de la arena, pero las modificaciones efectuadas transformaron completamente la morfología de la playa, alterando completamente su perfil de equilibrio, estas alteraciones se evidencian más en los meses de agosto a octubre cuando el nivel del mar en la región aumenta e incide el oleaje distante originado por tormentas y ciclones tropicales.

Otro segmento de playa es el denominado Punta Camarón-Punta Sábalo (figura 22). En frente de esta zona se encuentran la isla Pájaros y la isla Venados que sirven de protección del oleaje proveniente de todas direcciones y periodos a las playas de este tramo. Estas playas durante

mucho tiempo se consideraron como las mejores de Mazatlán, y propiciaron un crecimiento acelerado en la infraestructura hotelera pues a partir de su desarrollo surgió la llamada Zona Dorada. Estas playas, en las últimas décadas, han sufrido una serie de cambios que han provocado su erosión, debido fundamentalmente a la alteración de la dinámica natural de las arenas que la forman. Aunque la mayoría de los principales hoteles de la zona están contruidos cerca del mar, algunos fueron colocados tan próximos, que pronto tuvieron problemas de erosión, a pesar de que las playas en ese sector se encuentran parcialmente protegidas del oleaje por la presencia de las islas Pájaros, Venados y Lobos. Para evitar daños mayores a los edificios y conservar sus playas, los propietarios de los hoteles afectados tuvieron que proteger sus estructuras. Inicialmente en la playa del hotel Las Flores se construyó un espigón de enrocamiento (figura 23) y posteriormente, entre el hotel Caravelle y el Ocean Palace, se construyeron cuatro más (figura 24). Estas estructuras alteraron substancialmente las playas al interferir con el movimiento natural de la arena, lo que afectó a las construcciones aledañas, quienes también se tuvieron que resguardar construyendo diversos tipos de muros, estructuras, enrocamientos, rellenos etc. Todas las estructuras fueron construidas sin una planeación con el total desconocimiento sobre los diferentes fenómenos y estudios que se tienen que tomar en cuenta para su correcto diseño y construcción.



**Figura 22. Localización tramo Punta Camarón-Punta Sábalo, donde se localiza la llamada Zona Dorada (Google Earth Pro, 2019).**



**Figuras 23 y 24. Ubicación de espigones construidos frente hotel Las Flores y frente a hoteles Ocean Palace y Caravelle (Google Earth Pro, 2019).**

Tramo Marina Mazatlán-Cerritos (figura 25). El desarrollo de la Marina en el estero del Sábalo, no solo tuvo como consecuencia una pérdida de la diversidad biológica regional, sino también grandes cantidades de volumen de sedimento que salieron del sistema de circulación litoral. El canal de acceso de la marina requiere de un dragado constante (ver figura 26), por lo que la arena al ser extraída y no ser reintegrada al mar representa una pérdida continua que puede repercutir en el balance de sedimentario y afectar la calidad de las playas corriente debajo de la deriva litoral. La Marina Mazatlán y su área de extracción de arena funcionan como sumidero de arena del sistema litoral regional. Las playas de este segmento son arenosas, abiertas, rectas, de pendiente suave, con presencia de dunas o bermas de tormenta, y están expuestas directamente al oleaje de altamar.



**Figura 25. Segmento Marina Mazatlán- Cerritos (Google Earth Pro, 2019).**

El transporte litoral bruto es del orden de 652000 m<sup>3</sup>/año, con un transporte neto de 112000 m<sup>3</sup>/año hacia el sur (Peraza 2013), lo cual indica un ambiente altamente energético con movimientos intensos de arena en ambas direcciones.

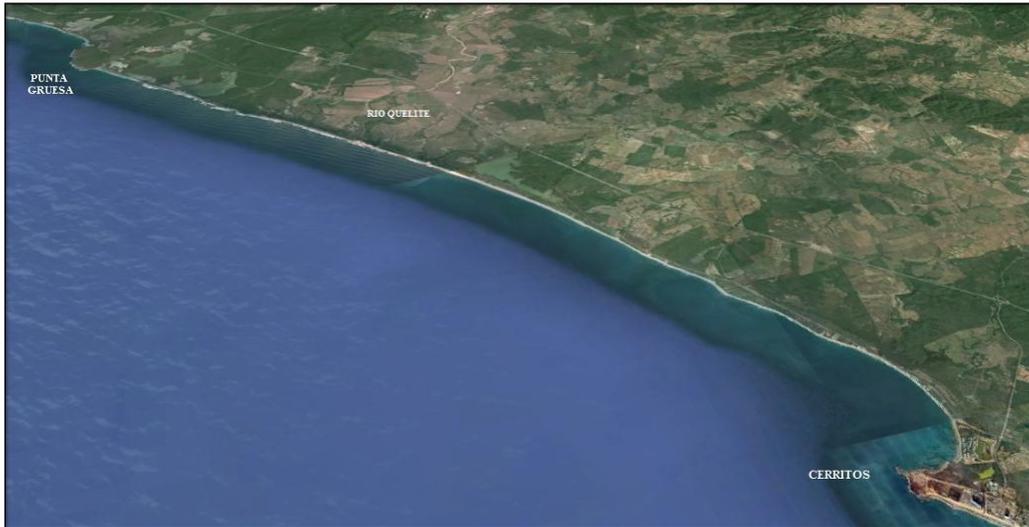
En la actualidad este segmento Marina Mazatlán-Cerritos es el de mayor desarrollo inmobiliario en Mazatlán con la construcción de torres, condominios y hoteles. El primer paso que siguen los constructores en este ambiente de alta energía del oleaje es destruir y nivelar el campo de dunas y bermas estabilizadas y en algunos casos invaden a la playa. La destrucción y remoción de estos amortiguadores naturales de la fuerza del océano por la construcción de edificios y estructuras diversas, dejan expuestas a la costa y a las construcciones costeras a los efectos erosivos de las olas.



**Figura 26. Canal de acceso a Marina Mazatlán donde se aprecia la acumulación de sedimento alrededor del espigón al parecer mal orientado, en la parte superior derecha se aprecia donde se deposita el material producto del dragado constante para poder mantener el calado apropiado para la entrada de las embarcaciones que atracan en el interior de la marina (Google Earth Pro, 2019).**

El segmento Cerritos-Punta Gruesa, Mármol (figura 27) es el tramo de mayor longitud del municipio (más de 20 km). Está ubicado al norte y junto con la Isla de la Piedra forman la mayor reserva de playas vírgenes de Mazatlán. Las playas del segmento en cuestión son también arenosas, abiertas, rectas de pendiente suave, con presencia de dunas o bermas de tormenta y están expuestas directamente al oleaje de altamar. El transporte litoral bruto evaluado al norte del segmento es de 504000 m<sup>3</sup>/año, con un transporte neto de 42000 m<sup>3</sup>/año hacia el norte (Peraza 2013), lo cual indica un ambiente altamente energético con

movimientos de arena en ambas direcciones. En el extremo sur del segmento se ha construido un desarrollo turístico denominado Pueblo Bonito Emerald Bay, y un poco más al norte algunas propiedades, que prácticamente las fincaron sobre la playa.



**Figura 27. Localización del segmento Cerritos-Punta Gruesa (Mármol) (Google Earth Pro, 2019).**

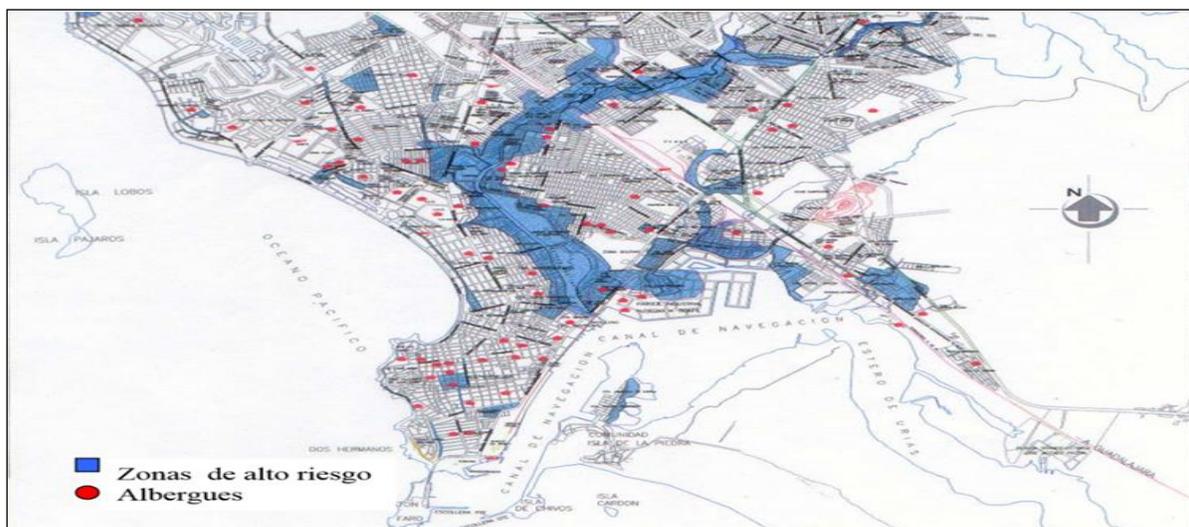
Las playas de Mazatlán se pueden agrupar en dos zonas:

- Tramos de playas vírgenes. Son las que no tienen construcciones costeras, relativamente libres de las actividades antropogénicas, como es el caso de la Isla de la Piedra y la parte central-norte del segmento Cerritos-Punta Gruesa (Mármol);
- Tramos de playas urbanas. Son el resto de playas que están localizadas la mayor parte, en áreas urbanas del municipio. Estas playas han sido alteradas en su equilibrio natural, porque no ha existido un control adecuado en la edificación de estas áreas y tampoco se ha procedido correctamente en la construcción de obras de protección costera (espigones, escolleras, rompeolas, muros, etc.) para remediarlas.

En la primera zona, la mejor protección contra la erosión y los daños estructurales producidos por los cambios de las playas desde y hacia el mar, consiste en la preservación de una franja amplia de playa que esté protegida por una zona de dunas o bermas que reciban el impacto del oleaje (zona de amortiguamiento). En muchos países, esta protección se alcanza estableciendo líneas de preservación que comienzan en el mar y corren paralelas a línea de costa. Dentro de la reserva, el desarrollo deberá controlarse por normas locales, dependiendo de las características particulares de cada tramo de playa, las cuales no existen. En la segunda zona, es imposible establecer las líneas de preservación, pues la mayor parte de los tramos frente a la playa ya están construidos o apropiados. Por lo que debe hacerse una evaluación

de la zona urbana-costera para valorizar y priorizar las medidas que se tienen que tomar, debido a que esta zona está en constante riesgo por su vulnerabilidad a un posible embate meteorológico, por lo que es necesario que las estrategias de mitigación que se pudieran aplicar resulten eficaces y adecuadas para mejorar las acciones preventivas frente a la dinámica antrópica que caracteriza las interacciones de la sociedad-naturaleza.

Es evidente que el desarrollo urbano mal planeado de la ciudad y puerto de Mazatlán expone a la población a sufrir desastres naturales como inundaciones y la desaparición de la mayoría de sus playas. A razón de que, Mazatlán se encuentra asentado en una zona costera que se encuentra casi al nivel del mar, es un puerto vulnerable ante las repercusiones del cambio climático, porque en varias zonas costeras del planeta, incluyendo la costa de Mazatlán, están siendo invadidas por el ascenso del mar debido a este fenómeno.



**Figura 28. Zonas inundables de Mazatlán (Beraud 2007).**

El peligro de inundaciones en el puerto de Mazatlán (ver figura 28) ha aumentado debido a la inexistencia de cuencas hidrológicas artificialmente construidas. En este sentido, es factible reorientar los cauces pluviales de arroyos y ecosistemas lagunarios desaparecidos por la edificación de numerosos asentamientos humanos. Lamentablemente, las acciones más frecuentes que se han emprendido, quedan reducidas a la construcción de canales estrechos, cuya capacidad de conducción es fácilmente rebasada por la corriente de una lluvia de 50 mm (Beraud 2007).

El tipo y manera de explotación turística que se han desarrollado en las playas de Mazatlán, ha ocasionado que las fuentes de aportación de material sedimentario a las mismas sean escasas (desaparición casi total de las dunas y la zona de amortiguamiento), dependiendo casi exclusivamente de material acarreado a lo largo de la costa o proveniente del mar. En el

municipio de Mazatlán no existe un marco legal que regule y proteja el uso de las playas y ningún programa de regeneración y restauración de las mismas, por lo que se requieren de planteamientos de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable. Pero hasta ahora, no se ha hecho esfuerzo alguno y no existe ningún compromiso en todos los actores de la urbanización del puerto. Desafortunadamente, las Direcciones de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Municipio de los anteriores periodos y el actual (2018-2021), han tenido una obsesión del crecimiento urbano con una visión recaudatoria y no le han dado la debida importancia que se requiere para evitar lo anterior expuesto.

### 4.3 Fisiografía

Una región natural (paisaje) con características físicas, climáticas (litología, origen estructural, asociación vegetal, morfología y clima), homogéneas o sin contrastes marcados al interior, se conoce como región fisiográfica. El estado de Sinaloa por su localización al noroeste de la República Mexicana y su proximidad al Golfo de California, presenta dos grandes sistemas naturales, reflejados en el territorio como la zona de costa y la zona serrana, ambas con una orientación noroeste-sureste, paralela a la línea de litoral. Estas provincias, llevan por nombre: Sierra Madre Occidental y Llanura Costera del Pacífico (IMPLAN Mazatlán 2011).



Figura 29. Mapa fisiográfico del municipio de Mazatlán (IMPLAN Mazatlán, 2011).



La Sierra Madre Occidental (SMO) es una de las más grandes provincias fisiográficas, ocupa una superficie de 250000 km<sup>2</sup>. La SMO es un conjunto montañoso emplazado con una orientación nornordeste-sursureste (NNW-SSE), paralelo a la costa del Pacífico. Es una serranía de suma importancia, ya que constituye la divisoria de aguas entre el océano Pacífico y la región de la Mesa Central (López 1980). La Sierra muestra una compleja fisonomía, que, de manera general, puede dividirse de norte a sur en una secuencia de amplios bloques paralelos entre sí, separados por valles longitudinales que incrementan su amplitud y depositan una profusa carga de sedimentos, al oeste del estado, en la Llanura Costera. Toda la Sierra Madre Occidental ha sido dividida de acuerdo a su concentración de rasgos naturales en: Mesetas y cañones de Chihuahua al norte y de Durango al oriente; Mesetas y cañadas del Sur de la Sierra, presente al noreste del Municipio de Mazatlán, y la subprovincia denominada Pie de la Sierra, que funciona como una zona de transición entre la Sierra y la Llanura Costera (figura 29). Dentro del municipio se encuentran las subprovincias de Mesetas y Cañadas del Sur y el Pie de la Sierra, pertenecientes a la provincia Sierra Madre Occidental.

La región de la Llanura Costera del Pacífico (LICP) bordea todo el Estado de Sinaloa. Es una extensa pero delgada provincia que comprende la Costa del Pacífico en el Estado de Sinaloa. La LICP se divide en tres sub-provincias: Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa, Llanura Costera de Mazatlán, y Delta del Río Grande de Santiago, de norte a sur respectivamente. La Llanura Costera de Mazatlán presenta las menores pendientes dentro del municipio y la conforman materiales de arrastre fluvial y de oleaje complejos. Es la provincia que ocupa la mayor cantidad de superficie dentro del municipio, dominada por una llanura irregular con lomeríos bajos muy modelados (por la acción eólica y marina), con grandes llanuras de inundación, lagunas y pantanos, que conforman la interface marino-terrestre fluvial.

#### **4.3.1 Geología**

El Estado de Sinaloa tiene un carácter geológico definido por las provincias fisiográficas que lo ocupan, por lo que su principal litología la constituyen las rocas ígneas, desde las de tipo intrusivo a las extrusivas. La Sierra Madre Occidental es una de las provincias ígneas silíceas más grandes del mundo. El magmatismo silícico sostenido que dio origen a esta provincia es un fenómeno geológico atípico relacionado con la tectónica global. Los productos volcánicos que se presentan son denominados ignimbritas (roca ígnea extrusiva ácida). Gran parte de este volcanismo fue emplazado durante el Eoceno-Oligoceno y fue escaso durante el Mioceno temprano, por debajo de estos productos ocurren rocas ígneas intrusivas del Cretácico-Paleógeno, similares a los batolitos peninsulares en Baja California, al norte y el basamento del bloque Jalisco, al sur (figura 30).

De acuerdo con Ferrari et al. (2005), en el sector que comprende el Municipio de Mazatlán, con dirección a Durango, se exponen cerca de 1500 m de rocas volcánicas riolíticas y andesíticas, con cuerpos subvolcánicos de composición diorítica que cubren un batolito granodiorítico-diorítico del Eoceno. Por encima se encuentran dos grandes paquetes de

ignimbritas del Mioceno, separados por una secuencia fluvio-lacustre con conglomerados, areniscas y lutitas. Toda esta secuencia litológica se ve afectada por una deformación extensional que pudo iniciar durante el Oligoceno. Estos esfuerzos han desarrollado fallas normales que definen estructuras de tipo Basin and Range (nombre en inglés que define una zona de extensión paralela entre sí a manera de crestas y cuencas, esta provincia se propone como el inicio de la extensión al interior de los Estados Unidos y que continua en el centro del país). Se caracteriza por el alargamiento de las estructuras geológicas, con una orientación este nordeste-oeste suroeste (ENE-WSW).

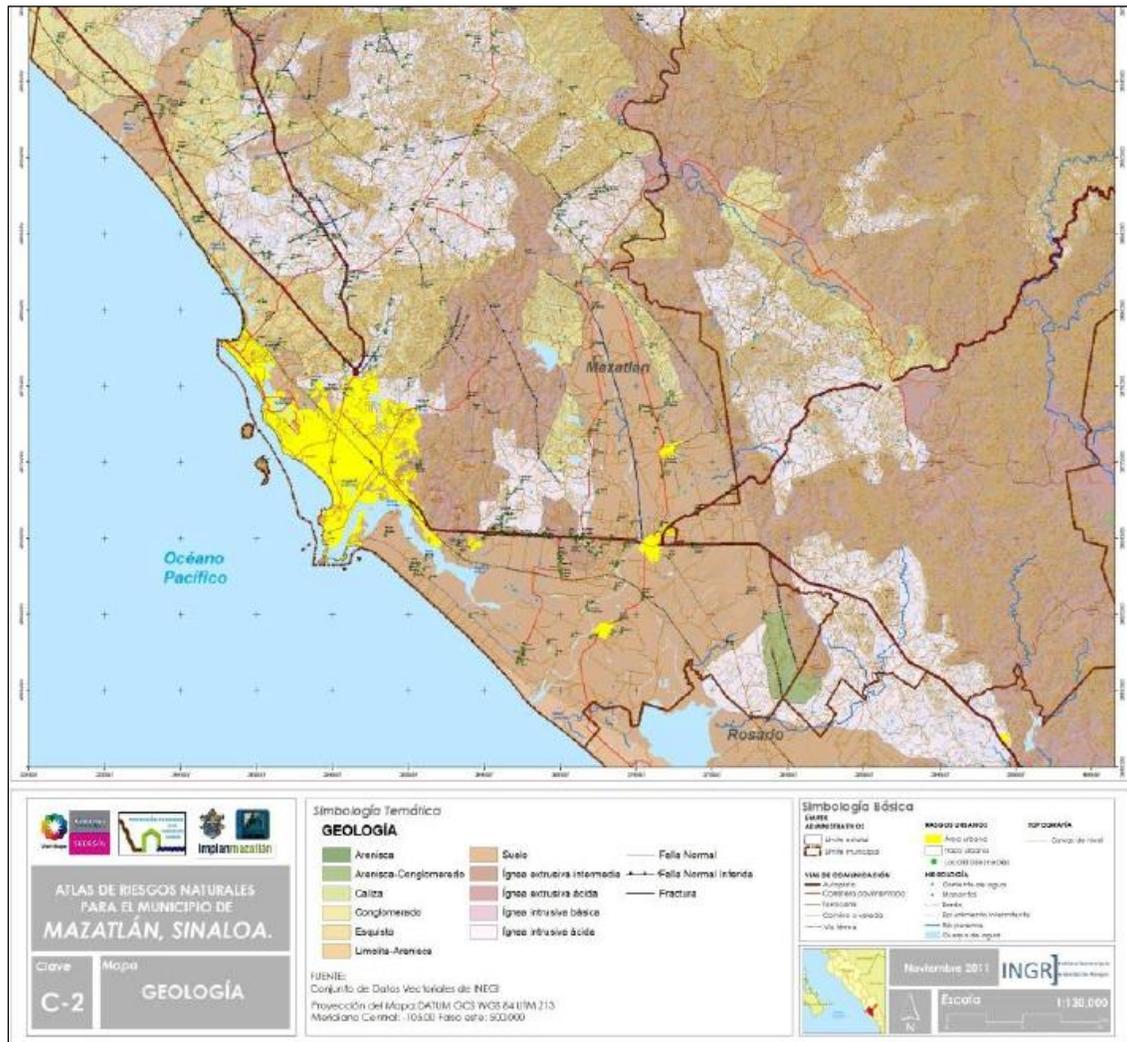


Figura 30. Mapa Geológico del Municipio de Mazatlán (IMPLAN Mazatlán 2011).



En la serranía que ocupa el territorio al noreste (NE) del municipio, el fallamiento extensional muestra una dirección nornoroeste (NNW) con formación de semigrábenes con un amplio desplazamiento, razón por la cual afloran las rocas intrusivas del Cretácico tardío-Paleoceno del batolito de Sinaloa (Ferrari et al. 2005).

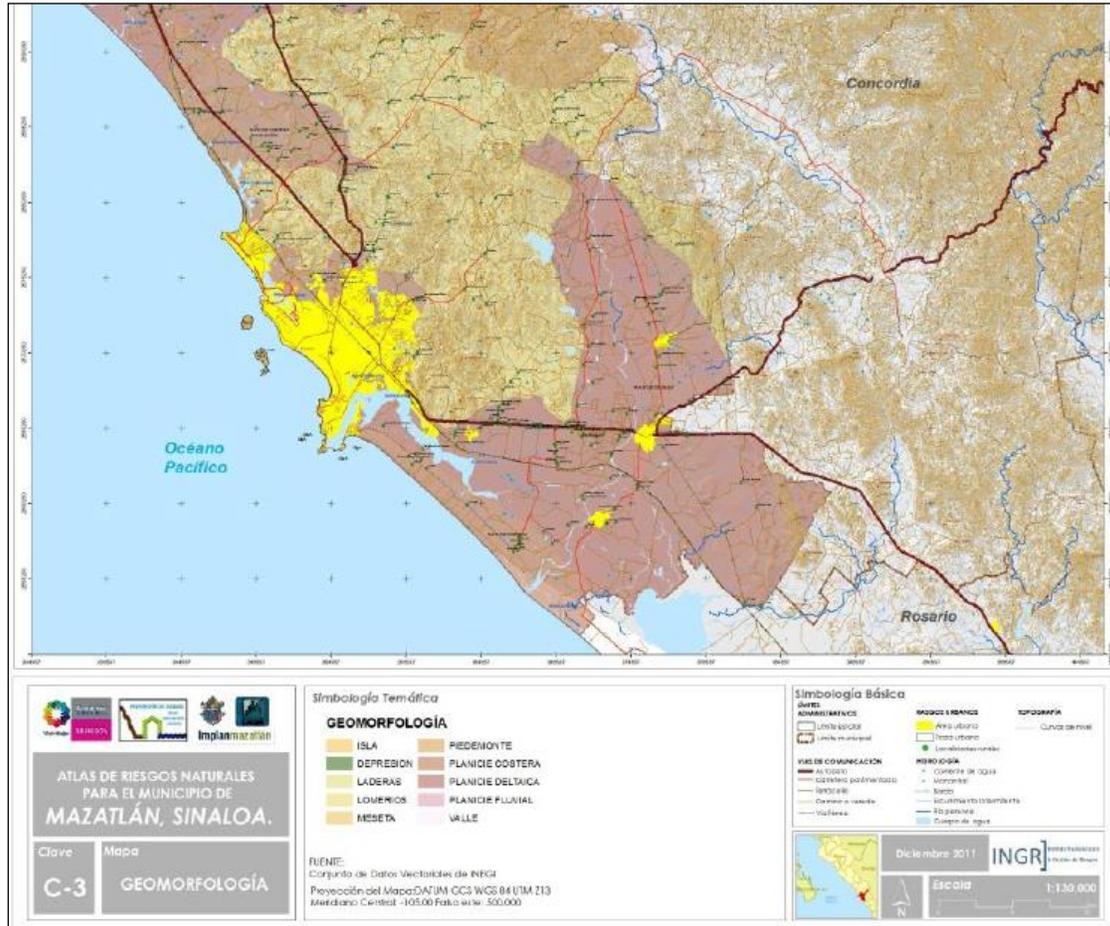
#### 4.3.2 Geomorfología

La geomorfología que ocupa el Municipio de Mazatlán se debe a la confluencia de factores endógenos modelados, con un amplio desarrollo de un piedemonte erosivo que se conecta con el litoral y se ve modificado por la acción del mar (figura 30). Las principales formas del relieve que se disponen en el municipio son de tipo exógenas erosivas y acumulativas de tipo fluvial y marina en forma de planicies, también se presentan relieves endógenos ya modelados y algunos relieves estructurales (laderas y lomeríos).

Debido a la complejidad que representa la Sierra Madre Occidental, las formas que se distinguen en la zona elevada son mesetas constituidas por materiales ígneos extrusivos de tipo ignimbrítico. Bordeando estos elementos presentan elevaciones montañosas menores (mesetas) con respecto a zona serrana al norte del municipio, en donde los procesos fluviales y gravitacionales han ido modelando constantemente el paisaje. Están constituidas por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, así como por algunas metavolcánicas.

Conforme se desciende desde la Sierra Madre Occidental hasta la costa se presentan unidades de transición entre la serranía (pie de monte) y las partes bajas que ya han sido modeladas (lomeríos). Algunas de ellas son las elevaciones montañosas menores plegadas y en bloque. Los elementos que cuentan con mayor distribución en el municipio son los lomeríos erosivos, representados en la figura 31, como elevaciones menores, constituidos por rocas ígneas intrusivas y metamórficas modeladas. Inmerso en esta zona, se observa un amplio piedemonte acumulativo.

Las unidades de relieve que cruzan por el municipio son los valles intermontanos que devienen en valles deltaicos al acercarse al mar amplían su lecho, existen una serie de formas exógenas acumulativas de tipo fluvio-lacustres, de acción marina y eólica. Aquí el relieve cambia sustancialmente su forma, se convierten en una planicie costera con desarrollo de barras y estuarios.



**Figura 31. Mapa Geomorfológico del municipio de Mazatlán (IMPLAN Mazatlán, 2011).**

El área de estudio se encuentra en una zona de llanuras, en su gran mayoría, acumulativas, consolidadas durante el Pleistoceno superior y hasta el Holoceno, donde también existen lomeríos modelados durante el Pleistoceno medio al Holoceno, con alturas menores a los 70 m (González 2011).

#### 4.3.3 Clima

El clima en el Municipio de Mazatlán varía de acuerdo a los rasgos topográficos y su cercanía con respecto a la costa. El municipio presenta una variación altitudinal de hasta los 1900 msnm, en la sierra al norte del mismo. La situación geográfica del Municipio de Mazatlán emplazado sobre la Llanura Costera del Pacífico en su parte oeste y en la Sierra Madre Occidental al nororiente, presenta un régimen de clima de tipo tropical lluvioso en verano, con una temporada de sequía muy marcada, sobre las zonas montañosas se presenta un clima semicálido-subhúmedo, con temperatura media anual de 24 °C y sobre su planicie costera se

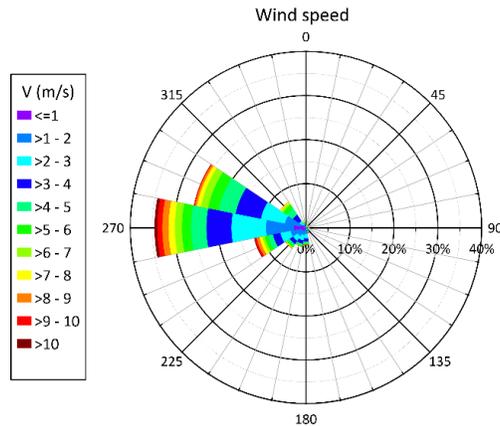
manifiesta un clima semicálido semiseco con temperatura media anual de 25 °C. Los tipos de clima que predominan en el municipio son el cálido subhúmedo y semiseco, mientras que el de clima templado subhúmedo solo se encuentra en las partes altas (figura 32). La temperatura media anual va de 22 °C a 26 °C, aunque en la zona sur llega a 28 °C, la temperatura media del mes más frío es mayor de 18°C (IMPLAN Mazatlán 2011).



Figura 32. Mapa climático del municipio de Mazatlán (IMPLAN Mazatlán, 2011).

#### 4.3.3.1 Régimen de vientos

En Mazatlán, los vientos dominantes, de acuerdo con los registros de la predominancia del viento 1985-1996 (CNA-Estación Mazatlán), en el período de invierno, presentan una dirección WNW, N y NNW; durante la primavera, su dominancia es WSW, O y WNW; en verano dominan con dirección WSW, W y WNW; en otoño la dominancia es con dirección N, NNW y WNW. La velocidad promedio mensual mínima es de 1.4 m/s, máxima de 6.6 m/s y promedio de 3.5 m/s. La Figura 33 muestra la rosa de vientos promedio anual de velocidad y dirección (entrante), obtenida de la base de datos NCEP/NCAR. La serie temporal de la intensidad del viento abarcó desde 1949 hasta 2009.

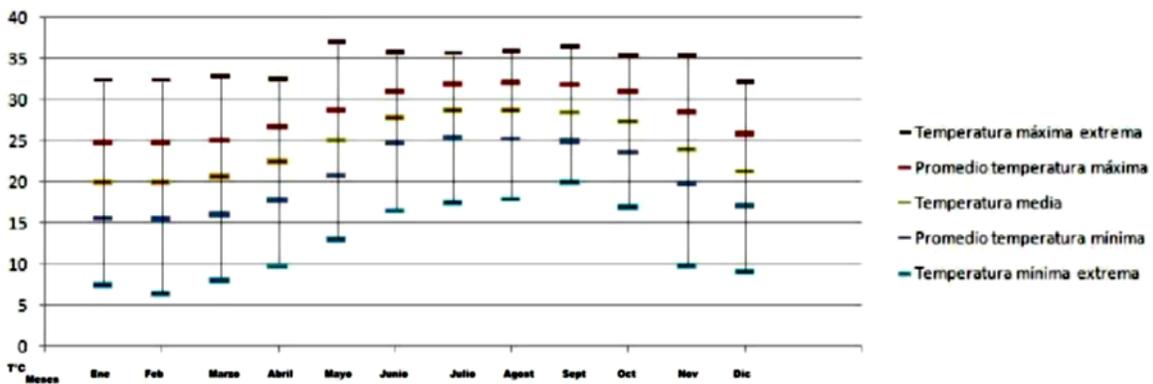


**Figura 33. Rosa de los vientos para Mazatlán de 1949 a 2009 con datos del NCEP/NCAR**

#### 4.3.3.2 Régimen térmico

Para la obtención del régimen térmico, se analizaron los datos de temperaturas del período 1951-1998, en el caso de las temperaturas máximas y mínimas extremas, y de las medias de temperaturas máximas y mínimas; mientras que para el promedio de temperaturas se tomaron datos del período 1951-2000, al ser la información disponible en el SMN (González 2011).

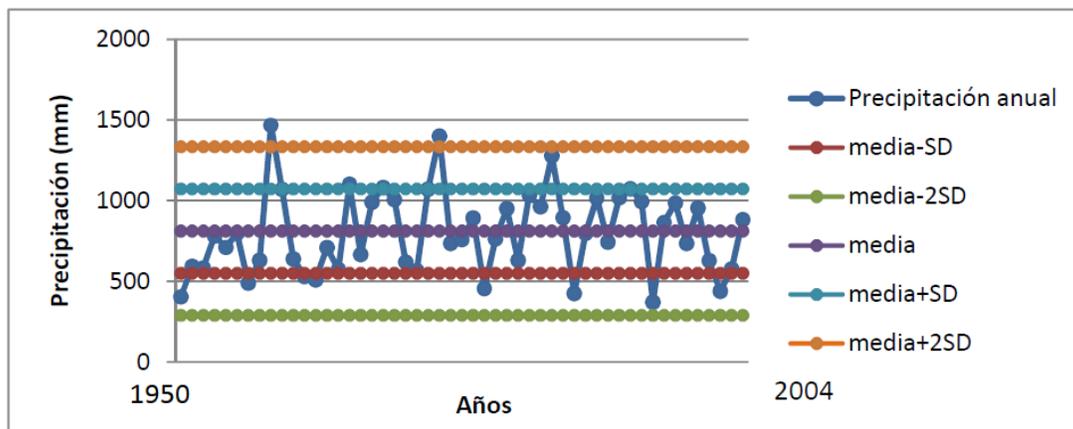
En este período, la temperatura máxima extrema registrada fue de 37.1 °C (mayo) y la mínima extrema de 6.4 °C (febrero). Bajo estos términos, el promedio de los datos de temperatura media resultó de 24.5 °C. Los meses cálidos son de mayo a octubre, siendo julio y agosto (media de 28.7 °C en ambos casos) los que presentan temperaturas más altas, mientras que las más bajas se presentan en enero y marzo (media de 20 °C en ambos casos), figura 34.



**Figura 34. Gráfica de temperaturas registradas en el Observatorio de Mazatlán durante 1951-1998 (González, 2011)**

### 4.3.3.3 Precipitación

La precipitación total anual varía entre 700 y 1000 mm (ver figura 35). Este tipo de clima se presenta en las partes bajas de la Sierra Madre Occidental, siendo el más seco de los cálidos subhúmedos con un régimen de lluvias de verano, con precipitación anual de 750 a 950 mm, además de una temperatura media anual de 23 °C a 24 °C y mínima extrema de 8 °C. Al occidente del municipio, en las partes bajas y cercanas a la costa se localiza el clima semiseco cálido, también a manera de franja al norte de Mazatlán. La temperatura media anual que prevalece es de 24 °C a 26 °C, la precipitación total anual varía entre 600 y 800 mm. Los meses húmedos de julio a octubre y presentándose la mayor precipitación en el mes de septiembre (238 mm), mientras que el mes más seco es abril (0.7 mm).



**Figura 35. Gráfica de la media anual de precipitación, datos de Observatorio Mazatlán durante 1950-2004 (González, 2011).**

### 4.3.3.4 Eventos históricos hidrometeorológicos extremos

Un peligro natural al que está constantemente expuesto Mazatlán es de carácter hidrometeorológico y corresponde a los ciclones tropicales, ya que de acuerdo con Hernández et al. (2001), la frecuencia de entrada a tierra de éstos, en el período 1921-1999 en esta área fue de 21, siendo el número más alto registrado en el Pacífico Mexicano (ver tabla 2). Estos fenómenos naturales, aparte de causar pérdidas humanas y materiales, generalmente ocasionan inundaciones, debido a las lluvias que los acompañan y erosión en las costas por los fuertes vientos e intenso oleaje.

**Tabla 2. Cronología de los principales ciclones tropicales en Mazatlán (1950-2019).**

CRONOLOGÍA DE LOS PRINCIPALES CICLONES TROPICALES, QUE HAN AFECTADO A MAZATLÁN (1950-2019).							
Nombre	Fecha	Vel. máx. vientos sosten (km/h)	Punto de aproximación (km)	Nombre	Fecha	Velocidad máx. vientos sostenidos (km/h)	Punto de aproximación (km)
(Sin nombre)	19-jun-1950	139	106 km (SSE)	Naomi	29-oct-1976	56	7 (S)
(Sin nombre)	04-jul-1950	139	168 km (SW)	Paul	26-sep-1978	61	136 (WNW)
(Sin nombre)	13-sep-1951	83	114 km (SW)	Irwin	29-ago-1981	65	102 (SW)
(Sin nombre)	30-nov-1951	83	137 km (W)	Knut	21-sep-1981	69	24 (NNW)
(Sin nombre)	16-sep-1953	139	95 km (W)	Lidia	07-oct-1981	69	170 (W)
(Sin nombre)	02-oct-1955	83	117 km (WSW)	Norma	12-oct-1981	167	12 (WNW)
(Sin nombre)	21-sep-1957	83	124 km (W)	Otis	30-oct-1981	83	39 (E)
(Sin nombre)	20-oct-1957	139	18 km (E)	Paul	29-sep-1982	176	167 (W)
(Sin nombre)	22-oct-1957	154	17 km (NW)	Adolph	28-may-1983	65	65 (SSE)
(Sin nombre)	15-jun-1958	54	84 km (WNW)	Tico	19-oct-1983	111	17 (ESE)
(Sin nombre)	11-sep-1958	83	158 km (SW)	Waldo	09-oct-1985	56	44 (NNW)
(Sin nombre)	30-oct-1958	46	161 km (SE)	Newton	22-sep-1986	120	101 (SW)
(Sin nombre)	12-jun-1959	83	4 km (SSW)	Paine	02-oct-1986	148	140 (WNW)
(Sin nombre)	09-sep-1959	139	164 km (WSW)	Roslyn	22-oct-1986	78	3 (SSW)
(Sin nombre)	21-oct-1959	83	170 km (SSW)	Eugene	26-jul-1987	37	74 (S)
Bonny	25-jun-1960	83	179 (SSW)	Kiko	25-ago-1989	80	86 (SW)
Diana	19-ago-1960	139	130 (WSW)	Douglas	23-jun-1990	65	265 (SSW)
Hyacinth	23-oct-1960	120	34 (WNW)	Rachel	02-oct-1990	94	160 (NW)
Valerie	25-jun-1962	124	8 (SW)	Calvin	08-jul-1993	89	51 (SW)
Doreen	04-oct-1962	139	152 (WNW)	Lidia	13-sep-1993	157	86 (WNW)
Lillian	28-sep-1963	83	3 (SW)	Rosa	14-oct-1994	144	50 (SE)
Mona	18-oct-1963	70	12 (NNE)	Henrietta	04-sep-1995	139	131 (SW)
Natalie	07-jul-1964	83	19 (W)	Ismael	14-sep-1995	130	135 (W)
Hazel	26-sep-1965	83	12 (SSE)	Isis	02-sep-1998	119	161 (WNW)
Hyacinth	18-ago-1968	83	141 (WSW)	Greg	08-sep-1999	102	138 (SSW)
Naomi	13-sep-1968	139	34 (WNW)	Norman	22-ago-2000	46	25 (ENE)
Glenda	10-sep-1969	117	140 (SW)	Lane	16-sep-2006	185	80 (SW)
Eileen	29-jun-1970	59	53 (ESE)	Norman	28-sep-2012	95	230 (WSW)
Helga	19-jul-1970	56	169 (WSW)	Manuel	17-sep-2013	75	120 (WSW)
Ione l	25-jul-1970	65	146 (SSW)	Vance	05-nov-2014	65	90 (SE)
Katrina	11-ago-1971	91	110 (WSW)	Sandra	28-nov-2015	75	285 (WSW)
Nanette	07-sep-1971	137	138 (SW)	Javier	08-ago-2016	100	270 (SW)
Priscilla	12-oct-1971	93	109 (SE)	Pilar	25-sep-2017	75	75 (WSW)
Orlene	23-sep-1974	135	39 (WNW)	Willa	23-oct-2018	240	80 (SW)
Olivia	25-oct-1975	185	15 (SSE)	Lorena	19-sep-2019	140	165 (SW)
Liza	30-sep-1976	222	142 (W)	Narda	30-sep-2019	95	25 (WNW)

### 4.3.4 Régimen de marea, oleaje y corrientes

#### 4.3.4.1 Marea

El tipo de mareas para la costa de Mazatlán es mixta semidiurna. Este tipo de mareas se caracteriza por la existencia de dos pleamares y dos bajamares cada día, una mayor que la otra. Las mareas en este sistema tienen una amplitud media de hasta 1.14 metros. Tiene un nivel de pleamar media de 0.455 m y un nivel de bajamar media de -0.444 m, mientras que su nivel de marea media es de 0.012 m. Es de tipo micro mareal, con un rango de 0.44 m durante marea muerta y 0.55 m durante marea viva. Las mareas vivas se registran generalmente durante los meses de julio a octubre (fluctuaciones hasta de 1.65 m en pleamar y -0.21 m en bajamar), mientras que durante el resto del año (noviembre a junio) se presentan mareas de amplitud relativamente estable, es decir, con fluctuaciones poco marcadas (variaciones de 0.45 m entre n.p.m. y n.b.m.m.); cabe destacar que el nivel de pleamar media superior (n.p.m.s.) es del orden de 0.528 m para Mazatlán. Estos valores y los niveles de marea mostrados en la tabla 3 fueron tomados del Servicio Mareográfico Nacional de México (SMN, 2019).

**Tabla 3. Registro de mareas de Mazatlán.**

NIVEL DEL MAR	VALOR REGISTRADO (m)
Altura máxima registrada	1.462
Pleamar máxima registrada	1.127
Nivel de pleamar media superior	0.528
Nivel de pleamar media	0.455
Nivel medio del mar	0.000
Nivel de media marea	0.012
Nivel de baja mar media	-0.444
Nivel de baja mar media inferior	-0.616
Bajamar mínima registrada	-1.250
Altura mínima registrada	-1.342

#### 4.3.4.2 Marea de Tormenta (Storm Surge)

La marea de tormenta es el ascenso del nivel medio del mar debido a la acción de los vientos de los ciclones tropicales sobre una región del océano. Este levantamiento tiene la apariencia de un domo de agua, agregado a la superficie habitual del mar. Esta marea dura de 12 horas a 3 días puede causar inundaciones en las zonas bajas del continente, colindantes a la costa y

oleaje que impacte sobre las estructuras y construcciones cercanas al mar, así como la remoción de la arena de las playas por las corrientes de agua que inducen las olas. Cuando al ascenso del nivel del mar (pleamar), correspondiente a la marea ordinaria (astronómica) se combina con la marea de tormenta, provoca una sobreelevación más alta.

La elevación del agua debida a la marea de tormenta se calculó siguiendo a Villatoro et al. (2014), quienes desarrollaron un modelo paramétrico de elevación de la superficie del mar frente a la costa en función de los campos de viento (intensidad y dirección), dado por la ecuación 6

$$\eta_s = \alpha V + \beta V$$

Con (6)

$$\alpha = a + b\theta + c\theta^2$$
$$\beta = d + e\theta + f\theta^2$$

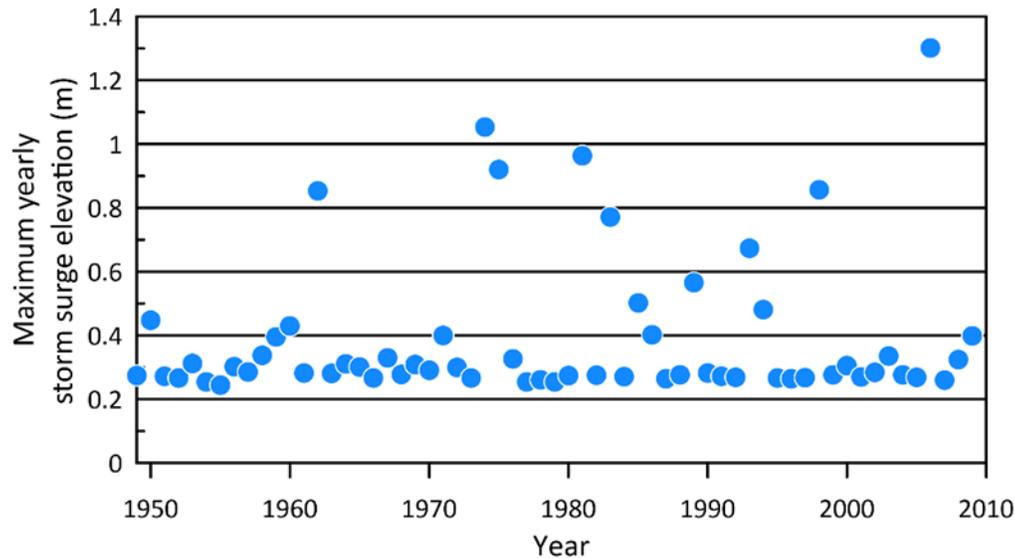
donde  $\eta_s$  es la marea de tormenta máxima,  $V$  es la velocidad del viento en km/h,  $\theta$  es la dirección del viento ( $0^\circ$  viniendo del oeste y aumentando positivamente, en sentido contrario a las agujas del reloj), y  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de mejor ajuste, para los cuales los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  y  $f$  fueron obtenidos y validados por Villatoro et al. (2014) a partir de la modelación hidrodinámica con MATO (Posada et al., 2008). Los valores de los coeficientes a-f para Mazatlán se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Valores de los coeficientes para la estimación de marea de tormenta en Mazatlán.**

a	b	c	d	e	f
-0.027	0.00025	-0.00000049	-0.00037	0.0000035	-0.000000007

Los datos de viento para el cálculo de la marea de tormenta se obtuvieron de la base de datos NCEP/NCAR. La serie temporal de la intensidad del viento abarcó desde 1949 hasta 2009.

La figura 36 muestra los valores máximos anuales de la marea de tormenta (elevación del agua frente a la costa) obtenidos a partir de la ecuación (6).



**Figura 36. Valores máximos anuales de la marea de tormenta obtenidos a partir de la ecuación (6).**

Como muestran los datos de la figura 36, la media de los valores máximos anuales fue de 0,39 m y la desviación estándar de 0,23 m. La distribución de probabilidad de Gumbel para una muestra de datos de 61 puntos es:

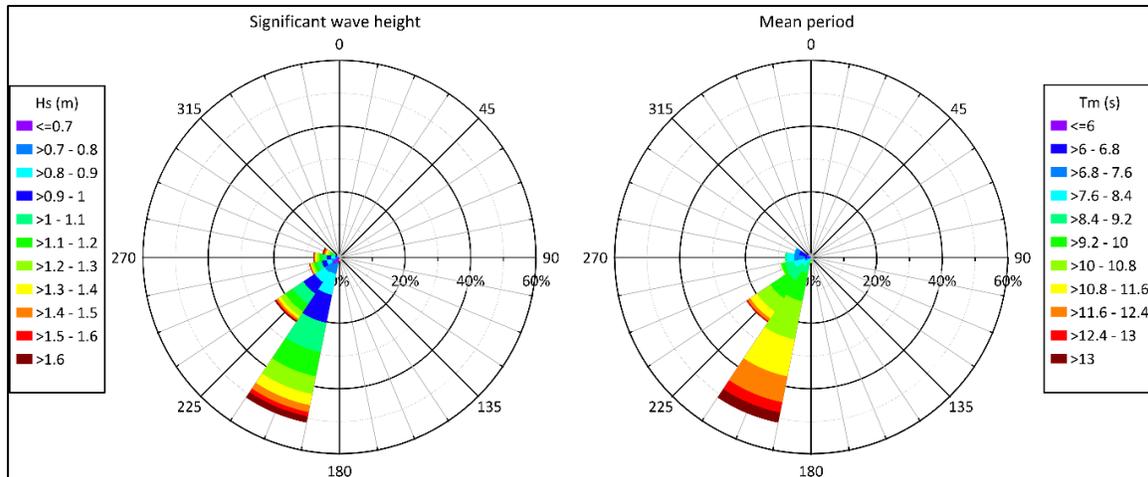
$$\begin{aligned}x &= -\ln(-\ln(f(x))) \times \alpha + \mu \\ \alpha &= S_x / 1.1759 \\ \mu &= \bar{x} - (0.5524 \times \alpha)\end{aligned}\tag{7}$$

donde  $x$  es el valor a superar,  $f(x)$  la probabilidad (inversa del periodo de retorno),  $S_x$  la desviación estándar y  $\bar{x}$  la media de la muestra. A partir de la ecuación (7), los valores de la marea de tormenta para periodos de retorno de 50 y 91 años (es decir, las elevaciones de la marea de tormenta para 2059 y 2100) arrojaron 1,04 m y 1,16 m, respectivamente.

#### 4.3.4.3 Oleaje.

De acuerdo a Montaña-Ley (1986), Mazatlán está situado en una zona de dispersión de energía. El oleaje que recibe es predominantemente de dirección SW y W; las de mayor energía son del SO y del O provocadas por tormentas tropicales. Los datos usados para el análisis y caracterización del oleaje se obtuvieron del módulo de reanálisis ERA5 (ECMCF, 2019). La salida del modelo contiene datos horarios de altura de ola significativa ( $H_s$ ), el periodo medio ( $T_m$ ) y dirección de 1979 a 2019. Los datos se descargaron para el punto situado a 23° N 106,5° W (aproximadamente 120 m de profundidad). La figura 3 muestra los

diagramas de la rosa media anual para la altura significativa de las olas y el periodo medio. Las olas del SSW gobiernan claramente el clima marino (ver figura 37).



**Figura 37. Diagramas de altura de ola significativa y de período medio anual para Mazatlán (1979-2019).**

#### 4.3.4.4 Corrientes

La zona de estudio está influenciada por la corriente de California y por contracorriente nor-ecuatorial del Pacífico, lo que ocasiona que a lo largo del año se presenten amplias variaciones en las condiciones hidrológicas de la bahía. Durante el invierno, predominan los vientos del oeste y noroeste y durante el verano principalmente los vientos del suroeste. El cambio en la predominancia de los vientos durante las distintas épocas del año ocasiona que la corriente litoral cambie de dirección, en el invierno se dirige hacia el sur y en el verano hacia el norte. Normalmente la velocidad de la corriente litoral varía de 0.05 a 0.9 m/s durante el año, incrementándose en la época de tormentas (Poli, 1983).

#### 4.3.5 Hidrología

El río principal de esa zona, nace en la Sierra Madre Occidental, cerca de la ciudad de Durango, con el nombre de Jaral, posteriormente cambia a Ventanas y ya en la zona es denominado río Presidio. Sigue una dirección SW que cambia a S hasta descargar sus aguas a 20 km al SE del puerto de Mazatlán. Presenta una pendiente fuerte en sus partes altas, que se va suavizando en la llanura costera, determinando grandes acumulaciones aluviales y delineando la morfología fluvial típica de grandes ríos de planicie, tales como isletas, barras laterales y meandrosidad. Los principales usos que se le dan al recurso hídrico superficial son, en orden de importancia: pecuario, agrícola y doméstico. Cabe mencionar que en las lagunas costeras se desarrollan actividades pesqueras y de acuicultura. El acuífero más importante se encuentra en el Valle de Villa Unión; es de tipo libre y su recarga es causada

por la infiltración del agua en sedimentos de tipo aluvial y conglomerados, que rellenan fosas de origen tectónico, de donde se extrae agua dulce y tolerable para el riego y el uso doméstico (INEGI 2008). Aproximadamente a 15 km al norte de Punta Cerritos, se localiza el Río El Quelite, que cuenta con tan solo 110 km de extensión.

#### 4.3.6 Vegetación

La vegetación en el área de estudio consiste principalmente de selva baja espinosa, que se encuentran al NW del área de estudio, en las Islas Pájaros, Venados y Lobos, así como en el Cerro del Crestón; manglar, que se encuentra distribuido alrededor de las lagunas costeras y esteros; y sabana, al NE de la mancha urbana (González 2011). Ver figura 38.

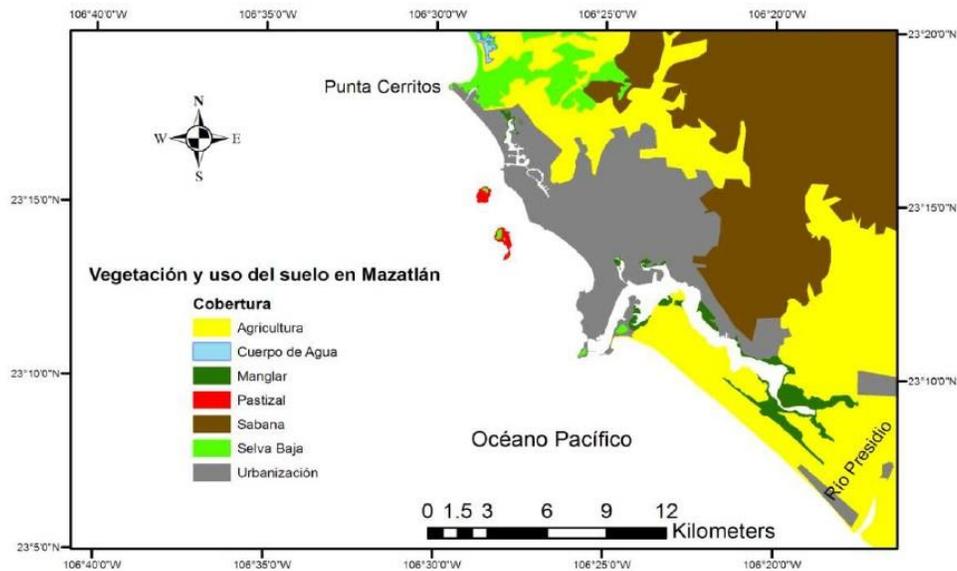


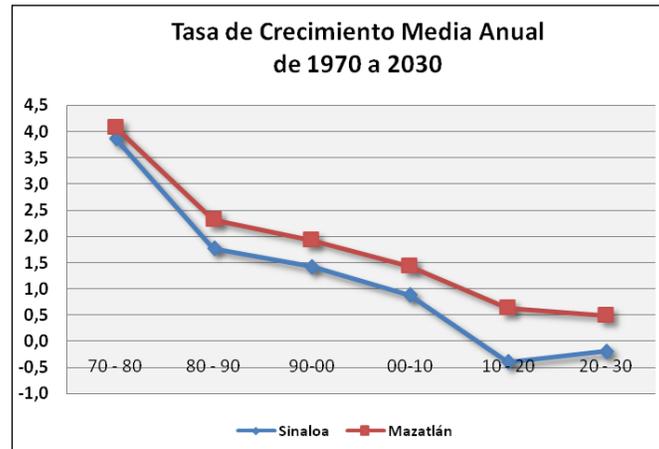
Figura 38. Mapa general de vegetación y uso de suelo en Mazatlán (González, 2011).

#### 4.4 Características demográficas, sociales y urbanas

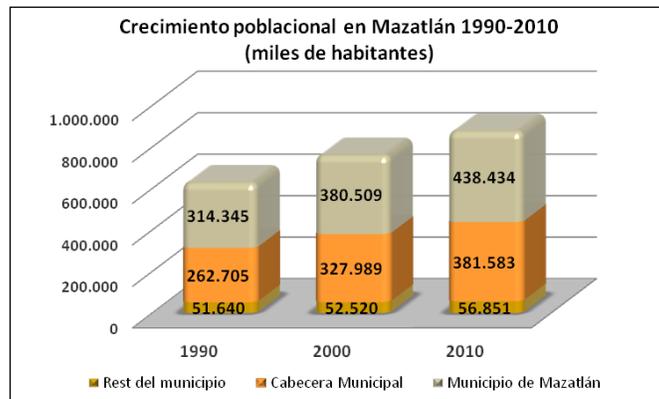
##### 4.4.1 Elementos demográficos generales

El Municipio de Mazatlán contaba, para el año 2010, con 438434 habitantes representando el 15.8 % de la población del Estado de Sinaloa. Su cabecera municipal concentra el 80 % de la población de dicha región con un total de 381583 habitantes. Este crecimiento es relativamente bajo, antes de 1980 y en los años 90 su población comenzó a incrementar solo en un 0.7 %. Para las décadas 1990, 2000 y 2010 se observó una tendencia a la baja en la Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA), sin llegar a presentar números negativos, donde

el aumento en el número de habitantes fue proporcional al número de nacimientos en el municipio, el crecimiento de habitantes promedio fue de 6,000 al año (figuras 39 y 40).



**Figuras 39. Tasa de crecimiento media anual de 1930 a 2030.**



**Figuras 40. Tasa de crecimiento poblacional en Mazatlán 1990-2010.**

Resalta el hecho de que la población en la Cabecera Municipal únicamente creció un 0,5% más que la década anterior; tendencia que se refleja también a nivel estatal, con lo que para el año 2030, la Ciudad de Mazatlán alcanzará una población superior a los 467 mil habitantes, representando el 18 % de la población total del Estado de Sinaloa y el Municipio alcanzará 490414 habitantes.

Cabe señalar que datos anteriores contemplan únicamente la población residente sin tomar en cuenta el número significativo de población flotante, es decir a los visitantes, ya que se



trata de un centro turístico de importancia internacional, según datos del municipio, en las temporadas altas puede llegar a sumarse a la población residente de 100, 000 o más turistas.

#### 4.4.2 Características sociales

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

En cuanto a servicios para dichas viviendas, los de agua potable se realizan en alto porcentaje, aproximadamente el 97 % a base de tomas domiciliarias. Por lo que este servicio coloca al municipio en un primer plano de importancia con relación al resto del estado. El servicio de drenaje, presenta una cobertura de 86.8 % (el más alto en Sinaloa). Mientras que, en electrificación, se tiene una alta cobertura, gracias al sistema de potencia Noroeste que se produce en la Planta Termoeléctrica José Aceves Pozos. En cuanto al alumbrado público, la ciudad cuenta con más de un 98 % de cobertura. En referencia a vialidad y transporte, se tiene que el 42% de las vialidades en la ciudad están pavimentadas, lo que beneficia al 82 % de la población total. Se tienen 40 km de vialidades primarias, de los cuales el 7 % es de menos de 4 carriles y el 2 % es de 4 carriles o más. Las vialidades secundarias abarcan 75 km.

En cuanto al nivel de analfabetismo, la mayoría de la población en el municipio sabe leer y escribir. Para el año 2010 se registraron 8450 habitantes mayores de 15 años que no saben leer ni escribir, concentrados en la cabecera municipal correspondiendo al 2.6 % de la población total del municipio. El sistema educativo municipal propicia que el 33.4 % de la población total asista actualmente a algún centro educativo, con ello Mazatlán supera el 32.1 % de la población estudiantil del estado y se encuentra en segundo lugar, en cuanto al grado de calificación de la población, con un 19.4 %. No obstante, se tiene un problema de analfabetismo en un 4.5 % de la población de 15 años y más, aunque está considerado como el municipio de más bajo índice en Sinaloa.

Un factor importante de las condiciones generales de vida en el Municipio de Mazatlán es la cobertura en cuanto a los servicios de salud ofrecidos por el gobierno. Lo cual significa que, en el año 2010, según cifras de INEGI, tanto en el Estado de Sinaloa como nuestra zona de estudio, toda la población está cubierta o cuenta con algún tipo de seguridad social, ya sea derechohabiente en el Instituto Mexicano del Seguro Social, en el Instituto de la Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado o en el Seguro Popular dando como resultado una cobertura del 100%. El 74% de la población municipal de Mazatlán, es decir 325,805 habitantes, son derechohabientes, asimismo el 67% de estos derechohabientes están cubiertos por los servicios de salud que otorga el IMSS, el 14% por el ISSSTE local, el 3% por el ISSSTE estatal y el 14% restante se encuentra inscrito por Seguro Popular

#### 4.4.3 Actividades económicas

El turismo y la pesca son las principales industrias de Mazatlán. La ciudad alberga los principales centros turísticos de playa y tiene la segunda mayor flota pesquera de México. La mayoría de los productos del mar procesados en la ciudad son el camarón y el atún. El primer hotel en Mazatlán con un restaurante en su interior fue nombrado Cantón de La Fonda y fue operativo en 1850. Era propiedad de un inmigrante chino, Luen-Sing, que se refieren al establecimiento como el Hotel Luen-Sing. En 1864 había tres hoteles de Mazatlán y tres restaurantes, con más apertura a finales del siglo XIX. Hoy en día, más de veinte kilómetros de playas son la atracción principal, y la ciudad contiene un gran número de hoteles, restaurantes, bares y tiendas. La ciudad es también el hogar de una cervecería, una fábrica de café y dos plantas de energía eléctrica.

Sinaloa cuenta con un sector manufacturero poco desarrollado, que limita la diversificación de la estructura productiva. En Mazatlán se encuentra el 16.2 % de las plantas industriales de Sinaloa. Principalmente plantas empacadoras de camarón, atún y sardina, plantas empacadoras y procesadoras de frutas tropicales, además las relacionadas al procesamiento de bebidas como la cerveza y el café, astilleros y otras industrias relacionadas con la pesca. Sin embargo, se espera un impulso para el sector industrial y logístico derivado de la ampliación del puerto y de la llegada del gas natural a la entidad.

La pesca es una de las principales actividades económicas de Mazatlán, la cual concentra el 70 % de la actividad pesquera del estado de Sinaloa y el 14 % del país, registrando un volumen de producción de poco más de 223 mil toneladas en 2014. El puerto de Mazatlán tiene la 2da. flota pesquera más grande del país. Asimismo, es el 1er. lugar nacional en industria atunera y camaronesa. En materia de pesca deportiva, Mazatlán es de los pocos destinos a nivel mundial donde se pueden capturar 6 de las 7 especies consideradas como exclusivas para la pesca deportiva como el marlín, pez vela, pez espada, atún, dorado y wahoo (ver tabla 5).

**Tabla 5. Volumen y valor de la producción pesquera de Mazatlán 2014 (fuente: CONAPESCA).**

ESPECIE	VOLUMEN PRODUCCIÓN (TONELADAS)	VALOR PRODUCCIÓN (MILES DE PESOS)	PART. NAC.	RANKING NAL.
Atún (Captura)	92,065.99	\$787,297.80	58%	1er.Lugar
Camarón (Captura)	10,863.85	\$719,285.78	20%	1er.Lugar
Sardina	97,529.17	\$94,133.76	19%	2do. Lugar
Barrilete	7,979.01	\$58,030.80	53%	1er. Lugar
Tiburón	2,824.69	\$41,797.91	14%	2do. Lugar
Todas las Especies	223,486.42	\$1,913,958.39	8%	1er. Lugar



Mazatlán también figura entre los 14 principales puertos de altura y cabotaje, localizados en el litoral del Pacífico y entre los seis más importantes por su infraestructura que comprende 3075 m de protección, 6945 m de atraque y 82432 m cuadrados de áreas de almacenamiento.

El turismo de sol y playa nacional e internacional es una de las actividades económicas más importantes para Mazatlán, además, es considerado como el Destino Familiar de Playa más importante de México. Con alrededor de 120 hoteles entre 1 y 5 estrellas y más de 9450 habitaciones, además de representar 46.5 % de todos los cuartos a nivel estatal, estas cifras lo colocan como el sexto destino centro de playa con mayor número de habitaciones. Solo superado por Riviera Maya, Cancún, Acapulco, Los Cabos y Puerto Vallarta. Con la inauguración en 2013, de la Autopista Durango–Mazatlán creció de forma importante la ocupación hotelera. En 2016 la ocupación hotelera en Mazatlán registró un máximo histórico del 61.4 %. Otro récord histórico en 2016 lo registró el movimiento de pasajeros en vuelos, al sumar 973, 440 personas en llegadas y salidas, rebasando la cifra de 905, 000 viajeros en 2007. 15 aerolíneas operan en el aeropuerto de Mazatlán, 19 rutas nacionales e internacionales que conectan con Mazatlán (ver tabla 6).

**Tabla 6. Indicadores de la actividad turística de Mazatlán (fuente: DATATUR, Aeropuertos y Servicios Auxiliares y SCT).**

INDICADOR	2013	2014	2015	2016
Cuartos disponibles promedio, No	9,086	9,099	9,152	9,278
Ocupación hotelera promedio, %	49.73	55.1	59	61.4
Pasajeros Totales, No	731,297	789,234	853,409	973,440
Pasajeros en cruceros, No.	8,734	83,981	195,033	212,518
Arribos en cruceros, No.	6	35	77	83

Este municipio es importante para la agricultura del sur del estado, de acuerdo a datos del INEGI, integra una superficie abierta de cultivo de 55448 ha, de las cuales 7876 son de riego y 47572 de temporal. Los principales cultivos son el frijol, maíz, sorgo, chile, pastos, mango y cocotero, entre otros. En Mazatlán se concentra el 7.6 % de los terrenos de agostadero del estado y es el quinto municipio en importancia por su población ganadera. De igual manera, es fuente de explotación de corrales de engorda, granjas para la producción de huevo y granjas de pollo de engorda.

#### 4.4.4 Uso de suelo urbano.

El Municipio de Mazatlán se comunica por vía terrestre hacia el norte con la Ciudad de Culiacán mediante la carretera Federal 15 y la autopista correspondiente 15D, hacia el este se comunica con el Estado de Durango a través de la Carretera Federal 40.

Por ser una zona litoral cuenta con comunicación marítima, con instalaciones para atender las necesidades de la flota pesquera, turística y logística, además de un amplio servicio de



transporte urbano local y foráneo. Por vía aérea se cuenta con el Aeropuerto internacional de Mazatlán “Rafael Buelna Tenorio”, donde operan varias líneas aéreas nacionales y extranjeras lo cual atiende la demanda de transporte aéreo en la entidad.

La Ciudad de Mazatlán, está dividida en 4 sectores marcados por dos ejes que cruzan de norte a sur y de oriente a poniente. El eje de Norte a Sur inicia como Calle Aquiles Serdán y continúa con los nombres de Av. Juan Carrasco, Av. Ejército Mexicano y Carretera Internacional al Norte. De Oriente a Poniente la vía del Ferrocarril fracciona la entidad. El ferrocarril cuenta con 53.5 km de vías, interconectando cuatro estaciones de carga y pasaje.

La ciudad se encuentra establecida principalmente en la parte sur, sin embargo, nuevos asentamientos están ubicándose hacia el norte donde la división de sectores es menor, pero resulta abundante su territorio. Los estratos populares están localizados en las zonas norte y noreste. Los servicios urbanos se ramifican al área central y a partir de ella se conforman desarrollos autosuficientes con el surgimiento de actividades económicas sobre los ejes viales existentes.

En la Ciudad de Mazatlán, las actividades industriales se ubican desde la Av. Gabriel Leyva hasta Villa Unión sobre el Estero de Urías. Las actividades turísticas y comerciales se han extendido, a lo largo de la playa, alcanzando el litoral más allá de Punta Cerritos, en el Estero del Escopama.



---

## CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE LA OPRESIÓN COSTERA (CSA) EN MAZATLÁN, SINALOA.

Como se mencionó en el capítulo 3 que describe la metodología que se utilizó en este proyecto de investigación, primero se utiliza el ciclo DES (Drivers, Exchanges, and States of the environment) y se obtiene el grado de opresión costera mediante el CSA (Coastal Squeeze Assessment) para posteriormente con el ciclo CR (Consecuencias y Respuestas) evaluar las consecuencias crónicas negativas y determinar posibles respuestas. Finalmente se presenta el análisis de Capacidad de Carga Turística (CCT) para comparar los resultados y verificar que existe una correlación entre la opresión costera y la capacidad de carga turística.

### 5.1 Ciclo DES (Drivers, Exchanges, and States of the environment)

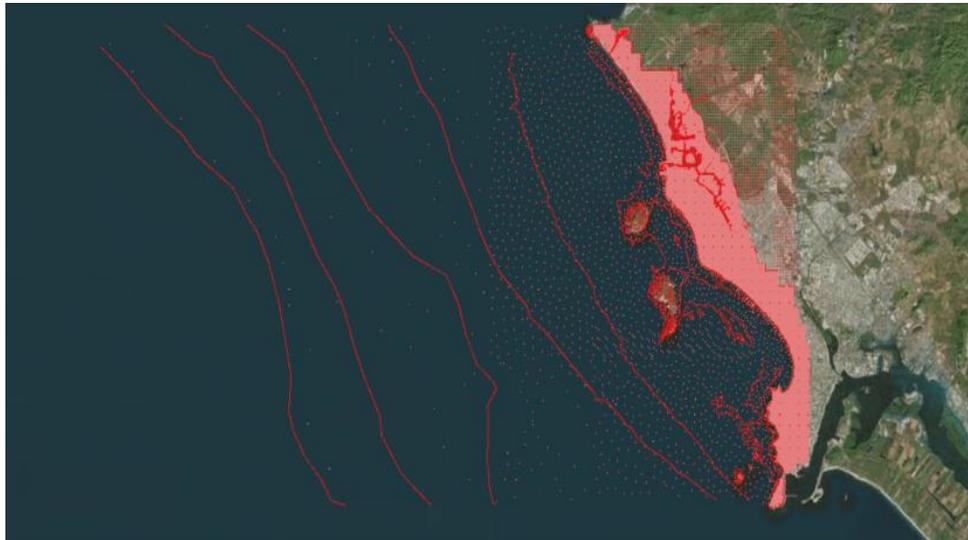
El sitio de estudio es la unidad costera de Mazatlán, Sinaloa cuya localización y descripción completa se detalla en el Capítulo 4 de este proyecto de investigación.

#### 5.1.1 Aumento del Nivel del Mar (SLR)

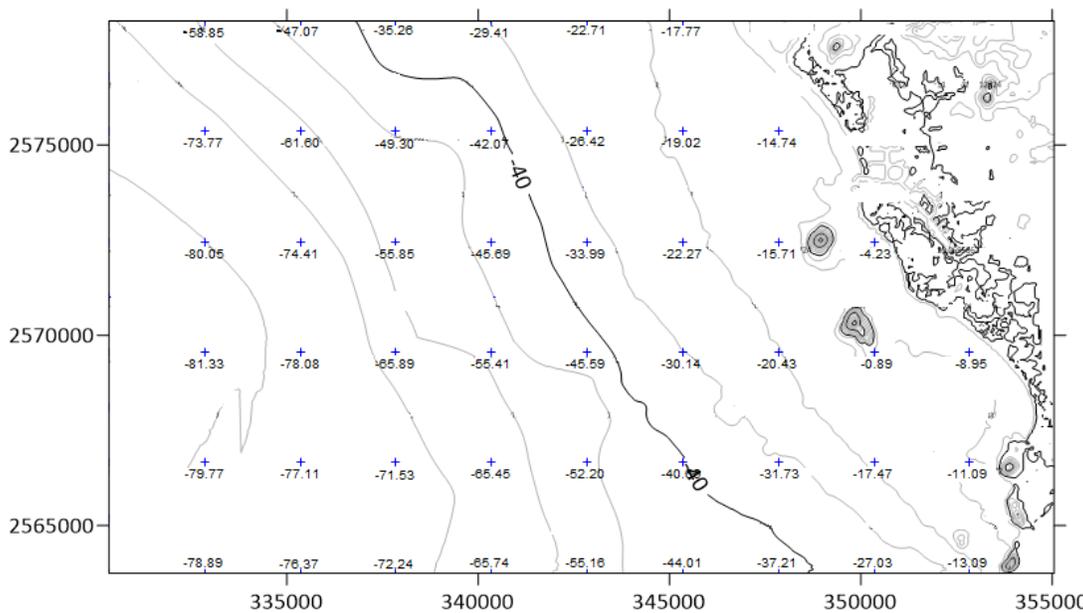
Para ilustrar la problemática del aumento del nivel del mar SLR (Sea Level Rise) se consideraron cuatro escenarios 1999, 2019, 2059 y 2100. Los niveles medios del mar pasados y futuros se estimaron ajustando linealmente la predicción del IPCC 2014 de un aumento de 0,98 m para 2100. Para estimar las mayores elevaciones de agua frente a la costa, se ejecutó el modelo de código abierto Delft3D-Flow y Wave ([www.deltares.nl](http://www.deltares.nl), 2016). El dominio numérico se generó combinando un Modelo Digital de Elevación (MDE) de 20 m de resolución, la Carta Náutica 363.3 de la Secretaría de Marina de México y un levantamiento topo-batimétrico de 2019. La digitalización se realizó con el software Civil 3D de Autodesk, y el procesamiento e interpolación se realizó con el software Surfer® (Golden Software <https://www.goldensoftware.com/>) hasta una profundidad máxima de 85 m (ve figura 41 y 42). Se estableció una malla regular de  $272 \times 227$  nodos en las direcciones X e Y. La malla contenía 61.744 celdas cuadradas de 36 m de longitud.

La figura 42 muestra la batimetría obtenida para la bahía de Mazatlán, donde se observa un fondo marino muy regular, a excepción de algunas islas.

Los datos de entrada para cada escenario numérico se resumen en la Tabla 7. Los datos de oleaje tomados del ERA5 no mostraron ninguna tendencia al alza, por lo que se utilizaron las mismas condiciones para todos los escenarios. Dado que el único estudio batimétrico disponible correspondía a 2019, se tomó como referencia el nivel medio del mar para este año, es decir, NMM = 0. Las condiciones seleccionadas coincidían con las que producían los niveles de agua más altos (marea de primavera y grandes períodos de oleaje) a lo largo del año.



**Figura 41. Digitalización y procesamiento de levantamiento topo-batimétrico y Cartas Náuticas de la Secretaría de Marina con el software Civil 3D 2017 de Autodesk.**

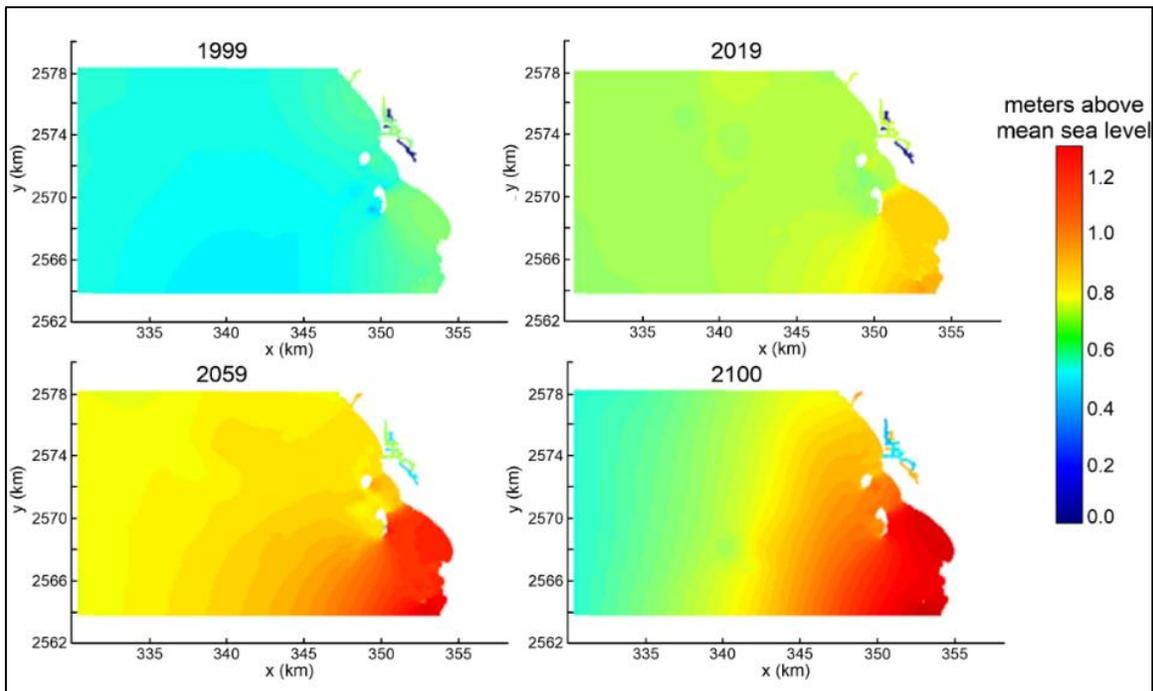


**Figura 42. Interpolación con espaciado de 50x50 de levantamiento topo-batimétrico realizada con Surfer 15 (Golden Software <https://www.goldensoftware.com/>).**

La figura 43 muestra los resultados de elevación de la superficie libre de la modelización numérica bidimensional (promediada verticalmente). El tiempo modelado para la simulación acoplada marea-oleaje-viento fue de 7 días para cada escenario, con un paso de tiempo de cálculo de 1 minuto y resultados registrados cada 15 minutos.

**Tabla 7. Información (inputs) por escenario de simulación numérica.**

	1999	2019	2059	2100
	NMM = -0.064 m	NMM = 0.0 m	NMM = 0.45 m	NMM = 0.98 m
<b>Marea astronómica</b>	Octubre 18 to 25			
<b>Viento</b>	Velocidad: 4.72 m/s	Velocidad: 4.72 m/s	Velocidad: 4.72 m/s	Velocidad: 4.72 m/s
	Dirección: 315°	Dirección: 315°	Dirección: 315°	Dirección: 315°
<b>Oleaje</b>	Hs: 0.92 m	Hs: 0.92 m	Hs: 0.92 m	Hs: 0.92 m
	Tp: 14.3 s	Tp: 14.3 s	Tp: 14.3 s	Tp: 14.3 s
	Dirección: 225°	Dirección: 225°	Dirección: 225°	Dirección: 225°



**Figura 43. Resultados numéricos de las elevaciones de la superficie libre en marea alta para 1999 (arriba a la izquierda), 2019 (arriba a la derecha), 2059 (abajo a la izquierda) y 2100 (abajo a la derecha).**

La Tabla 8 resume las elevaciones en marea alta y las elevaciones máximas de agua para cada escenario, obtenidas a partir de la modelización numérica (Figura 43).

**Tabla 8. Elevación máxima frente a la costa para los escenarios previstos de SLR.**

	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
<b>NMM (m)</b>	-0.064	-0.048	-0.029	-0.013	0.000	0.450	0.980
<b>Pleamar (m)</b>	0.97	1.09	1.05	1.01	0.82	1.07	1.19
<b>Elevación máxima (m)</b>	1.034	1.138	1.079	1.022	0.820	1.520	2.170

Las elevaciones de la marea de tormenta para los años de interés en este estudio se resumen en la Tabla 9. Los años posteriores a 2009 se estimaron mediante un ajuste de Gumbel (figura 37) a los valores máximos anuales de marea de tormenta, lo que da una predicción del peor caso (cálculos en apartado 4.3.4.1.1).

**Tabla 9. Mareas de tormenta para los años 1999-2100**

	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
<b>Marea de tormenta (m)</b>	0.28	0.28	0.39	0.61	0.72	1.04	1.15

El máximo ascenso del nivel del mar considera el peor caso posible: es decir, la ocurrencia simultánea de una tormenta y una marea alta durante las mareas vivas más altas del año. Esto se resume en la tabla 10.

**Tabla 10. Máximo ascenso del nivel del mar.**

	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
<b>Máx. ascenso del nivel del mar (m)</b>	1.314	1.418	1.469	1.632	1.54	2.56	3.32

### 5.1.2 Evolución de la Línea de Costa.

La línea de costa para Mazatlán, Sinaloa se ha ido desplazando hacia tierra muy rápidamente en los últimos años (Oyedotun et al., 2018). El análisis que se realizó para calcular su evolución para un periodo de 15 años del 2004 al 2019 (periodo seleccionado debido a que en 2004 se modificó la zona geográfica del área de estudio) demostró que tuvo un retroceso (erosión) en promedio de 23.52 m y en algunas partes como en los transectos (líneas perpendiculares a lo largo de la línea base de costa de igual separación que nos permiten medir las diferencias de distancia registradas en las intersecciones con las diferentes líneas de costa) 177 y 179 ubicados en la playa de zona dorada hasta de 40 m de pérdida a una velocidad en estos transectos de 2.5 m por año (figuras 44, 45 y 46).



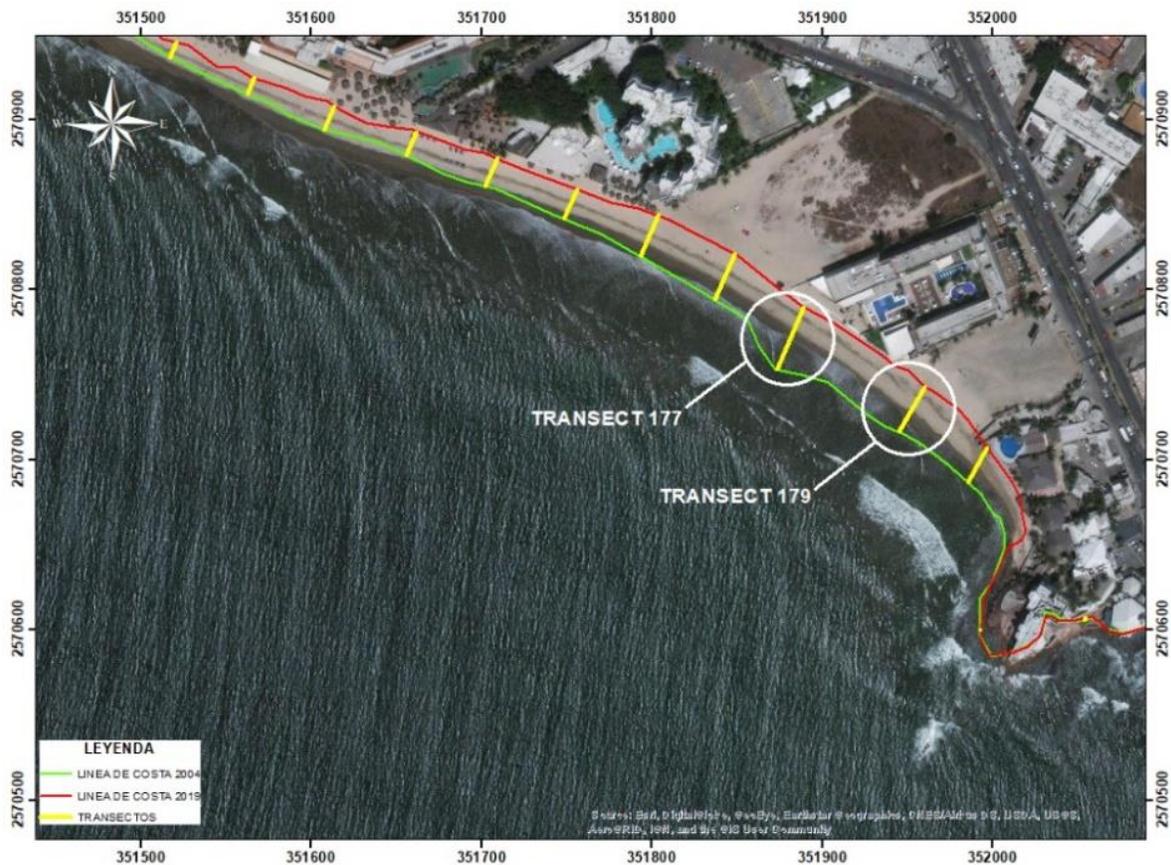
**Figura 44. Vista en planta de trazo de líneas de costa 2004 y 2019. Ubicaciones de transectos 1 y 278.**

El análisis se realizó mediante el programa de cómputo ARCGIS 10.5, Digital Shoreline Analysis System DSAS versión 4.3 desarrollado por el United States Geological Survey (USGS) (Thieler et al. 2009). El proceso de geo-rectificación implicó identificar los puntos de control con coordenadas X, Y conocidas y que vinculan localizaciones de los datos ráster con localizaciones referidas espacialmente.

La línea de costa empleada para la digitalización ha sido el límite húmedo/seco, ya que marca el límite superior del foreshore y determina el comienzo de la playa alta o playa seca (backshore) y la duna costera (foredune) cuando está presente, la base de acantilados o el contacto con infraestructuras (paseo marítimo). Para definir y digitalizar la línea de costa sobre las imágenes satelitales se trabajó con el límite superior de la acción del swash. El trazo de las líneas de costa inició desde Punta Cerritos hasta Punta Tiburón (ver figura 48).

Una vez digitalizadas las diferentes líneas de costa, todo el conjunto, se analizó con la ayuda del DSAS. Para ello, además de las diferentes líneas de costa se estableció una línea de base (en este caso hacia tierra), a partir de la cual se generaron 278 transectos con una separación

entre ellos de 50 m, ya que debido a la longitud de la playa se consideró una distancia que puede representar con fiabilidad la evolución de la misma. Una vez establecidos estos inputs contiguos a la incerteza, el programa arrojó una serie de cálculos a partir de los cuales se obtienen parámetros estadísticos para el análisis de la zona de estudio (Thieler et al. 1994; Douglas y Crowell 2000) y se consideraron como relevantes para este trabajo Net Shoreline Movement (NSM) y End Point Rate (EPR). NSM muestra la distancia entre las líneas de costa más antigua y más reciente, sin tener en cuenta si coinciden o no con las líneas más distantes entre sí. Al igual que SCE, representa una distancia en metros, no una ratio. EPR, por su parte, muestra el valor del NSM, dividido por el número de años transcurridos en cada periodo. Es una tasa anual de movimiento en metros/año (ver figuras 47 y 48).



**Figura 45. Ubicación de transectos con mayor erosión en playa de zona dorada**



Figura 46. Ubicación de transectos con mayor acreción en playa de zona dorada.

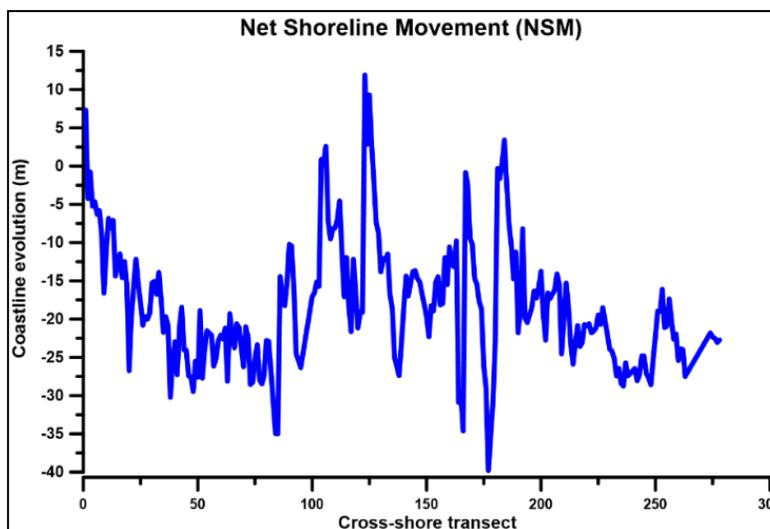
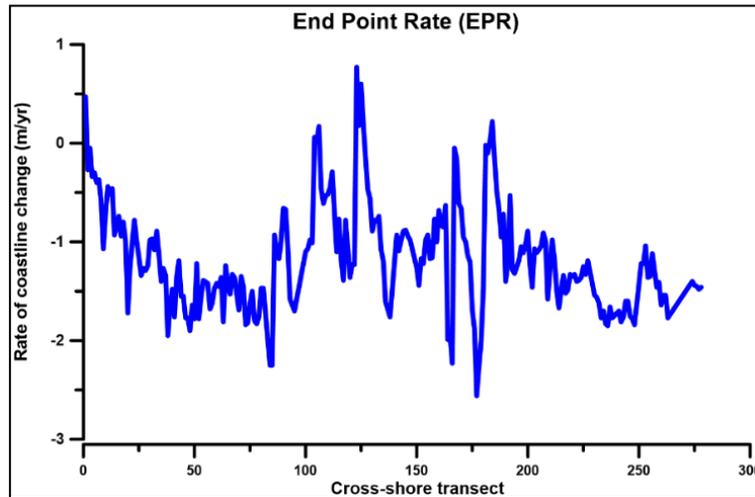


Figura 47. Evolución de la costa entre 2004 y 2019. NSM es el movimiento neto de la costa.



**Figura 48. Evolución de la costa entre 2004 y 2019. EPR es la tasa anual de desplazamiento de la costa.**

En este trabajo se consideró el NSM promedio a lo largo de la costa de Mazatlán como la variable que representa el proceso de opresión costera. A partir de los resultados del DSAS y del ajuste de un modelo lineal para los escenarios futuros, la Tabla 11 muestra los valores del movimiento de la costa para los años considerados.

**Tabla 11. Tasa anual de evolución de línea de costa.**

	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
NSM (movimiento neto promedio de la costa en m)	1.1	6.7	13.4	19.0	23.5	68.3	114.2

### 5.1.3 Urbanización de la Costa

La urbanización de la costa y el desarrollo de la infraestructura hotelera ha sido el principal motor de la pérdida de playa en Mazatlán desde el año 1999. Para caracterizarla y cuantificar su crecimiento en el tiempo, se extrajo el área urbana de Mazatlán a partir de las imágenes de Google Earth PRO de 1999, 2004, 2010, 2015 y 2019. El área se obtuvo utilizando el plugin de clasificación semiautomática para QGIS (Chapa et al., 2019).

La figura 49 muestra el área urbana obtenida a partir de las imágenes de satélite disponibles. Con las cuatro áreas disponibles, se ajustó un modelo lineal para obtener las áreas de 1999, 2059 y 2100. Los resultados se muestran en la Tabla 12, donde se observa que la tasa media de crecimiento urbano es de 1,82 km<sup>2</sup> al año.

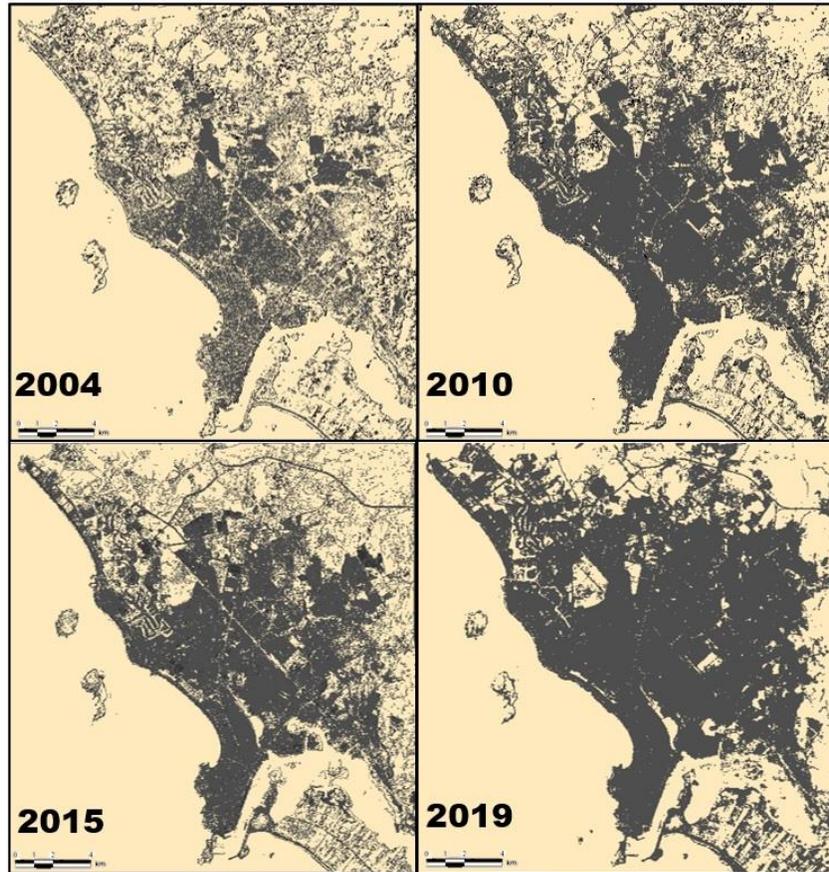


Figura 49. Digitalización de imágenes de satélite para cuantificar la urbanización en Mazatlán, 2004-2019. El gris oscuro indica el área urbana.

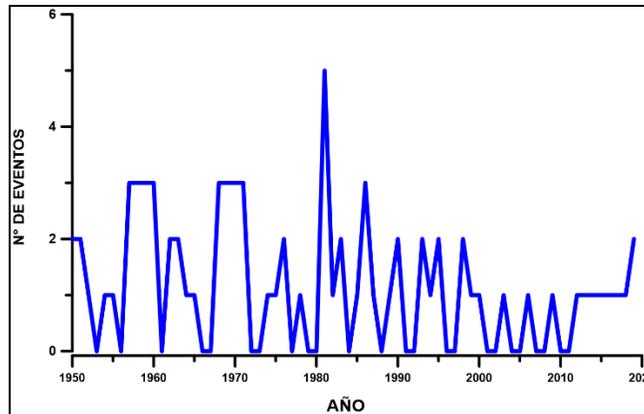
Tabla 12. Valores obtenidos de la cuantificación de zona urbana-costera de Mazatlán

	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
Área urbana (km <sup>2</sup> )	40.4	48.6	58.4	65.1	73.2	133.1	195.5

#### 5.1.4 Eventos Meteorológicos Extremos.

Un peligro natural al que está constantemente expuesto Mazatlán es de carácter hidrometeorológico y corresponde a los ciclones tropicales, ya que de acuerdo con Hernández et al. (2001), el número de éstos, en el período 1921-1999 que entraron a tierra cerca de Mazatlán fue de 21. Estos fenómenos naturales, aparte de causar pérdidas humanas y materiales, generalmente ocasionan inundaciones, debido a las lluvias que los acompañan y erosión en las costas por los fuertes vientos e intenso oleaje. La información de los eventos meteorológicos extremos se obtuvo mediante un análisis de diferentes fuentes de información: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2019), hemeroteca

municipal, IMPLAN (Instituto Municipal de Planeación 2019), del Servicio Meteorológico Nacional y de NOAA. El año con mayor registro de eventos es el año 1981 (ver figura 54). El promedio de ocurrencia es de 1.73 eventos por año. El año de 1975 con el ataque del huracán Olivia con ráfagas de viento de más de 175 km/h es el que más ha afectado (ver tabla 2 en donde se muestra la investigación que se hizo para el registro y consenso de los eventos meteorológicos extremos ocurridos en Mazatlán).



**Figura 54. Número de eventos meteorológicos extremos en Mazatlán Sinaloa de 1950 al 2019.**

### 5.1.5 Evaluación de la opresión costera CSA (Coastal Squeeze Assessment)

El CSA se basó en el método para evaluar la opresión costera presentado por Schlepner et al. (2008). Las variables se clasificaron y organizaron siguiendo el trabajo de Saaty (1998). Esta metodología, conocida como AHP (Analytic Hierarchy Process), resuelve problemas complejos con múltiples criterios de la siguiente manera: el problema se clasifica según sus causas y se resuelve por separado; las soluciones se evalúan y se ordenan en un modelo jerárquico; y finalmente, los valores se homogeneizan para calcular un único valor para cada escenario (pasado, presente y futuro). El proceso de normalización y jerarquización comienza con la construcción de una matriz de comparación paralela, A. Se trata de una matriz cuadrada en la que las variables que inducen la opresión costera se colocan en una fila y en una columna. Los elementos de A corresponden a un valor de relevancia comparativa entre las variables, siguiendo la escala indicada en la tabla 13.

**Tabla 13. Escala comparativa de relevancia (Saaty, 1998)**

Relevancia comparativa	Valor
Igual importancia	1
Importancia moderada	3
Gran importancia	5
Importancia demostrada muy fuerte	7
Importancia extremadamente fuerte	9

Los valores de relevancia comparativa se colocan en las diagonales superiores de A, y las diagonales inferiores se rellenan con los inversos multiplicativos de los valores comparativos, dando lugar a:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ 1/a_{1,2} & 1 & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1,n} & 1/a_{2,n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

El segundo paso es la construcción de una matriz normalizada M, para la cual se suman los elementos de A, columna por columna, y luego se divide cada elemento por la suma de su correspondiente columna, es decir:

$$M = \begin{bmatrix} \frac{1}{s_1} & \frac{a_{1,2}}{s_2} & \dots & \frac{a_{1,n}}{s_n} \\ \frac{1/a_{1,2}}{s_1} & \frac{1}{s_2} & \dots & \frac{a_{2,n}}{s_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1/a_{1,n}}{s_1} & \frac{1/a_{2,n}}{s_2} & \dots & \frac{1}{s_n} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{i,j}$$

El AHP termina con el cálculo del vector de pesos, W, cuyos elementos son la media de las filas de la matriz M como se ve en la ecuación (10).

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{1,j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{2,j} \\ \vdots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{n,j} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dado que los pesos obtenidos del AHP ya están jerarquizados y homogeneizados, la intensidad de la opresión costera (ICS) puede obtenerse como la suma del valor de cada variable particular (en sus unidades nativas), multiplicada por su correspondiente peso AHP, es decir:

$$ICS = \sum_{i=1}^n w_i C_i \quad (11)$$

donde  $w$  es el peso y  $C$  el valor característico de cada variable que induce la opresión costera. El resultado de la ecuación (9) puede dividirse por 100 para obtener el ICS en forma de porcentaje.

La tabla 14 muestra la clasificación jerárquica y la ponderación de los elementos que provocan la opresión costera en Mazatlán. Los valores de relevancia comparativa se obtuvieron utilizando la experiencia del tutor principal y el autor de este trabajo de investigación, así como la consultoría de otros expertos. La matriz normalizada se obtuvo de la ecuación (9) y el vector de pesos de la ecuación (10).

**Tabla 14. Resultados del análisis jerárquico y la ponderación de los factores causantes de la opresión costera**

Drivers	Urbanización de la costa	Max. ascenso del nivel del mar	Evolución de línea de costa	Eventos extremos	Matriz normalizada				W
Urbanización de la costa	1	7	5	9	0.69	0.84	0.45	0.38	0.59
Máx. ascenso del nivel del mar	1/7	1	5	7	0.10	0.12	0.45	0.29	0.24
Evolución de línea de costa	1/5	1/5	1	7	0.14	0.02	0.09	0.29	0.13
Eventos extremos	1/9	1/7	1/7	1	0.08	0.02	0.01	0.04	0.04
<b>Total</b>	1.45	8.34	11.14	24					

El resultado fue un valor total de opresión costera para cada escenario. En la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos para cada driver o impulsor y el valor final de opresión costera para 1999, 2004, 2010, 2015, 2019, 2059 y 2100.

**Tabla 15. Resultados de cuantificación de grado de opresión costera por escenario.**

Drivers	Escenarios						
	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
Urbanización de la costa	40.4	48.6	58.4	65.1	73.2	133.1	195.5
Máx. ascenso del nivel del mar	1.314	1.418	1.469	1.632	1.54	2.56	3.32
Evolución de línea de costa	1.1	6.7	13.4	19.0	23.5	68.3	114.2
Eventos extremos	1	0	0	1	2	1	1
<b>TOTAL DE OPRESIÓN COSTERA</b>	<b>0.24</b>	<b>0.30</b>	<b>0.37</b>	<b>0.41</b>	<b>0.47</b>	<b>0.88</b>	<b>1.31</b>

Los valores indicados en la tabla 15 para la urbanización de la costa se han tomado de la tabla 12. La elevación máxima del agua es la reportada en la tabla 10, y la evolución de la línea de costa es la de la tabla 11. El número de eventos extremos se estableció utilizando el número

medio en el período 1950-2019, un evento cada dos años. Se utilizó este promedio ya que no había evidencia de un aumento o disminución en los datos históricos locales. La intensidad de la opresión costera se obtuvo sustituyendo los valores de las filas superiores en la ecuación (11).

El grado de opresión costera se determinó utilizando la escala de Ramírez-Vargas et al., (2019) modificada por el autor. La escala final se muestra en la tabla 16.

**Tabla 16. Grados de opresión costera.**

GRADO DE OPRESIÓN COSTERA	VALOR
SIN OPRESIÓN	0
MUY BAJA	0.00-0.20
BAJA	0.20-0.40
MEDIA	0.40-0.60
ALTA	0.60-0.80
MUY ALTA	0.80-1.00

Como se puede observar en la tabla 15 y en la tabla 16, hasta 2010 Mazatlán tenía una opresión costera de baja intensidad; desde entonces, hasta el escenario para 2019, el grado de opresión costera ha sido medio, y para 2059 y más allá, se prevé que la intensidad sea muy alta.

### 5.1.6 Capacidad de Carga Turística (CCT)

A continuación, se muestran, en la tabla 17, los resultados de la capacidad de carga turística (ver anexo) para los años 199, 2004, 2010, 2015, 2019, 2059 y 2100.

**Tabla 17. Resultados de Capacidad de Carga Turística para Mazatlán Sinaloa.**

NOMBRE	ESCENARIO						
	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
SUPERFICIE PLAYA (m <sup>2</sup> ) =	644,722	602,103	550,960	478,871	442,008	73,378	0
SUPERFICIE X PERSONA (m <sup>2</sup> ) =	4	4	4	4	4	4	4
Capacidad de Carga Física CCF (personas) =	161,180.54	150,525.75	137,740	119,717.75	110,502	18,344.50	0
Factor de Corrección Total (FC)=	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
Capacidad de Carga Real CCR (personas) =	23,048.82	21,525.18	19,696.82	17,119.64	15,801.79	2,623.26	0
Capacidad de Manejo (CM) =	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Capacidad de Carga Turística CCT (personas)=	13,829.29	12,915.11	11,818.09	10,271.78	9,481.07	1,573.96	0

El modelo lineal para la zona de la playa dio valores nulos para 2100, ya que refleja el escenario de "no hacer nada". La presente investigación pretende motivar acciones que eviten este escenario. Los valores de FC y CM fueron 0.143 y 0.6 respectivamente, como se detalla en el Anexo 1. A falta de información y datos históricos para realizar cualquier previsión, el FC y el CM se consideraron constantes en el tiempo.

Se observó que la CCT en Mazatlán disminuyó, al grado de que para el 2019 tuvo un valor de 9841 personas, comparado con 13,829 personas en 1999. Para el escenario de 2059, se previó un CCT de sólo 1573 personas, y para el 2100, la capacidad de carga turística fue nula. Esto no significa que no vaya a visitar la estación ninguna persona, sino que no será posible ofrecer una experiencia turística de calidad.

La tabla 18 compara la opresión costera y la CCT, mostrando que a medida que la opresión costera aumenta, el CCT disminuye. El principal desencadenante de la caída del CCT es la pérdida de superficie de playa.

**Tabla 18. Comparativa de opresión costera y Capacidad de Carga Turística (CCT) en diferentes escenarios.**

COMPARATIVA DE:	ESCENARIO						
	1999	2004	2010	2015	2019	2059	2100
OPRESIÓN COSTERA	0.24	0.30	0.37	0.41	0.47	0.88	1.31
CAPACIDAD DE CARGA TURÍSTICA (CCT)	13829	12915	11818	10271	9481	1573	0

## 5.2 Ciclo de CR (Consecuencias y Respuestas)

Los procesos naturales que influyen en la opresión costera en Mazatlán incluyen la variabilidad natural en el nivel del mar, los eventos extremos (mareas de tormenta e inundaciones) y la morfología del paisaje interior. Los factores antrópicos que causan la opresión costera incluyen los efectos del cambio climático global y local (aumento del nivel del mar y aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas) y los efectos locales de la infraestructura costera mal planificada ha sido determinante y se le consideró como el principal en la zona de estudio de acuerdo a los resultados arrojados por los estudios y modelaciones realizadas. Sin embargo, se tiene todavía tiempo para actuar y los encargados de tomar de decisiones (gobierno) acaten las recomendaciones a nivel local que a continuación se muestran para una solución viable de maniobra a nivel regional y local, centrando las respuestas en los aspectos que a continuación se presentan.

### Actuaciones inmediatas

- Vigilancia de la unidad costera. La vigilancia continua de la zona costera producirá información fiable que deberá hacerse pública, reducirá las incertidumbres y garantizará que se adopten las medidas adecuadas para adaptar las medidas cuando sea necesario.
- Identificar e inventariar los suelos urbanos y costeros aptos para constituir e incluir reservas territoriales para la protección costera y lo más importante no construir más sobre la playa.
- Realizar un Plan inmediato de Redensificación Urbana para promover la reutilización de espacios perdidos u olvidados ya que, como en todo el mundo la población de expande hacia la periferia o a la costa y realizar un correcto reacomodo urbanístico para estar mejor preparados para enfrentar el cambio climático y los desafíos de la Opresión Costera que afectarán a la industria del turismo en un futuro muy cercano.
- Mejorar el tratamiento de las aguas residuales. Al mitigar las consecuencias de un tratamiento deficiente del sistema de aguas residuales y pluvial que existe en la zona urbana de Mazatlán, la degradación de la fauna marina será menor.
- Mantener actualizado el Atlas Municipal de Riesgos con la información a detalle necesaria para una zona costera vulnerable.

### Actuaciones a largo plazo

- Con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación de los escenarios de aumento del nivel del mar (SLR) planificar el desplazamiento de la línea de costa hacia tierra, ya que se cuenta con el tiempo para el desplazamiento y los nuevos

desarrollos turísticos se construyan ya con el desplazamiento necesario, o sea se debe Elaborar el Plan Municipal de Ordenamiento Territorial para incorporar criterios preventivos ante el cambio climático en su diseño, a fin de contribuir a la seguridad de los asentamientos humanos.

- Alteración de la infraestructura. Algunas infraestructuras (por ejemplo, edificios, carreteras) fueron diseñadas sin tener en cuenta la sostenibilidad ambiental. Reubicarlas en el suelo puede ser la única manera de restaurar los ecosistemas esenciales. En otros casos, la infraestructura puede adaptarse de manera que se apoye en zancos o pilares. Debe evitarse el uso de cimientos continuos para que no se interrumpan los flujos superficiales y subterráneos.
- Reducción de la desigualdad socioeconómica. Al fomentar otros tipos de actividades económicas, la presión sobre los ecosistemas costeros disminuirá, y la vulnerabilidad económica se hará menos aguda debido a la variabilidad de la afluencia de turistas.
- Control de la migración en la zona. Una planificación adecuada y a largo plazo permitirá a las autoridades proporcionar los servicios y la infraestructura que los habitantes merecen.

### **Actuaciones de manejo y gestión**

- Elaborar el Programa de ordenamiento ecológico local, que considere los criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales como por ejemplo la protección costera basada en ecosistemas se ha propuesto como una estrategia que integra los posibles conflictos entre el desarrollo y la conservación al reducir el impacto del oleaje y el aumento del nivel del mar. Por lo tanto, el daño económico y las bajas se reducen a través de la notable capacidad de los ecosistemas naturales (lechos de pastos marinos y arrecifes de coral) para generar sedimentos y acumularse ellos en la playa (dunas costeras).
- Actualizar la reglamentación sobre uso de suelo con una revisión periódica que incluya y se actualice con la información del cambio climático y SLR.
- Implementar planes de mitigación y manejo para enfrentar la Opresión Costera y estableciendo estrategias para responder rápida y efectivamente a estos problemas emergentes.
- Elaborar el Reglamento municipal de construcción (adecuar códigos de construcción e infraestructura tanto urbana como costera para la seguridad y sustentabilidad).



- Efectuar programas educativos. La elaboración de información sobre los ecosistemas de Mazatlán, fácilmente comprensible y de libre acceso, fortalecerá las responsabilidades ambientales de la comunidad local. Este tipo de acción ayudará a atenuar la falta de conciencia socio-ambiental, el respeto a las leyes y la corrupción en los distintos niveles de la sociedad y el gobierno.



---

## CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### 6.1 Conclusiones

- En el presente proyecto de investigación, se siguió una metodología para evaluar la opresión costera en los escenarios de 1999, 2004, 2010, 2015, 2019, 2059 y 2100 en Mazatlán, que es considerado puerto turístico de gran afluencia y zona costera con urbanización densa y que de acuerdo a experiencias de estudios anteriores (Martínez et al. 2014, Ramírez et al. 2019, Lithgow et al. 2019), se determinó que los principales factores que inducen la opresión costera en el área de estudio son: Urbanización de la Costa, Ascenso del Nivel del Mar (SLR), Evolución de la Línea de Costa y Eventos Meteorológicos Extremos; y para comparar y validar se realizó un análisis de Capacidad de Carga Turística. Las cuatro variables que se consideraron, son las que más ocasionan opresión a corto y mediano plazo.
- La mayoría de los estudios sobre la opresión costera han modelado variables con efectos a largo plazo, como inundaciones y erosión, en relación con el aumento del nivel del mar (Doody 2013; Pontee 2013; Schleupner 2008), pero las variables a corto plazo como la *Urbanización de la Costa* que en este estudio es la de mayor importancia no se le toma mucho en cuenta y queda demostrado que es la de mayor impacto y la que se puede remediar rápidamente con una correcta Planificación del Desarrollo Urbano-Costero.
- Asimismo, la visión actual a corto plazo del desarrollo urbano-costero en Mazatlán ha dado lugar a la construcción de estructuras de protección costera de particulares mal planificadas que han modificado negativamente la dinámica hidro-sedimentaria y han causado erosión. La falta de planificación del desarrollo urbano fomenta un crecimiento descontrolado en áreas altamente vulnerables.
- La metodología propuesta en este trabajo para medir la opresión costera es muy similar a los trabajos de Martínez et al. (2014) y Schleupner (2008) y Ramírez et al. (2019) quienes consideraron las variables cualitativas y cuantitativas, la diferencia de la presente propuesta es que se utilizó un método de evaluación y decisión multicriterio, Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) desarrollado por Saaty (1980), para jerarquizar y homogeneizar los valores de los drivers que provocan la opresión costera. Además, se utilizó el marco DESCR (Drivers, Exchanges, and States of the environment to subsequently evaluate the chronic, negative Consequences and determine possible Responses). Y por último se realizó un estudio de Capacidad de Carga Turística (CCT) (Cifuentes 1992), para comparar y validar los resultados obtenidos. En contexto las ventajas que ofrece el estudio de Capacidad de Carga Turística de Cifuentes (1992), es que toma en cuenta los aspectos ambiental, social y económico; por lo que el análisis que se realizó en Mazatlán se considera integral.

- Los resultados indican que la costa de Mazatlán está experimentando un proceso de opresión costera de 0.548 que pone en riesgo la desaparición de sus playas, debido a que el turismo representa la principal actividad de captación de recursos para la población. Si bien es cierto que el crecimiento acelerado y la intensa expansión de la industria del turismo, han tenido un impacto positivo en la economía de Mazatlán, Sinaloa, los costos han sido muy altos porque el desarrollo urbano-costero y el turismo han elevado el grado de opresión costera. Esto plantea un mayor riesgo de seguridad para las actividades recreativas costeras y marinas debido a que puede reducir el atractivo para el turismo.
- Además, se concluye que existe una alta coincidencia entre el desarrollo del turismo y la opresión costera a lo largo de la costa de Mazatlán, ya que, en la medida que la capacidad de carga turística disminuye, aumenta la opresión costera en todos los escenarios desde 1999 hasta 2100.
- La metodología para medir el grado de opresión costera desarrollada en este trabajo (puede aplicarse fácilmente a gran escala) servirá de apoyo a los administradores de recursos costeros municipales, estatales y nacionales para tomar decisiones ya que tendrán los suficientes elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable, para diseñar y ejecutar proyectos de regeneración y restauración. Es importante mencionar que es una herramienta útil en la práctica del manejo integrado de la zona costera a bajo costo para su ejecución. Asimismo, se conceptualizaron recomendaciones para la gestión del turismo costero con la idea de evitar la opresión a razón de que se considera, de acuerdo con Lithgow, et al. (2019), como riesgo directo para el desarrollo turístico.
- El desarrollo urbano acelerado y la aguda expansión del turismo en Mazatlán, han tenido un gran impacto en la economía de la región muy positivo. No obstante, el daño en lo referente al medio ambiente ha sido muy severo ya que el desarrollo urbanístico y el turístico no ha tenido regulación. Por lo tanto, se necesitan con urgencia medidas de protección sostenibles, combinadas con el manejo adecuado y la prevención de la opresión costera, para adaptarse a un clima cambiante.
- Durante la última década, se ha reconocido cada vez más que las playas están sometidas al fenómeno de opresión costera, (Schlacher et al. 2007). Por lo tanto, con la creciente urbanización y las modificaciones inducidas por los seres humanos de la zona costera, la resistencia de las playas y la capacidad de cambiar de forma y extensión en respuesta a las tormentas y el aumento del nivel del mar se ve obstaculizado (Nordstrom 2000). Aunque abundan los estudios sobre la opresión costera, rara vez se han relacionado con el aumento de la actividad turística costera (Lithgow et al. 2019).



- La definición de opresión costera ha penetrado considerablemente en la toma de decisiones de los administradores de las costas y de quienes se ocupan de reducir el riesgo de desastres (Silva et al. 2020). Por eso se debe de seguir trabajando en la mejora de metodologías y difundirse a gran escala para que los encargados de elaborar políticas y tomar decisiones en todos los niveles de gobierno actúen y se fomente el mejoramiento y cuidado de las zonas costera en todo el mundo.

## 6.2 Futuras Líneas de Investigación

- Aplicación de este método de Evaluación de la opresión costera en un destino turístico en el océano atlántico.
- Analizar los escenarios mediante riesgo por inundación para el desplazamiento de la línea de costa hacia el interior.
- Corrida de escenario que integre la cuantificación de daños de opresión costera.
- Automatización e integración de todos los programas y cálculos del método de Evaluación de opresión costera
- Modelación de Protección costera basada en ecosistemas naturales (lechos de pastos marinos y arrecifes de coral, dunas costeras).



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. T., de Vries, S., & Stive, M. J. (2018). Beach evolution adjacent to a seasonally varying tidal inlet in Central Vietnam. *Journal of Coastal Research*, 34(1), 6–25.

Alba, V., Machado, A., (1978). Estudio Sedimentológico de la Bahía de Puerto Viejo, Mazatlán, Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología Estación de Investigaciones Marinas "El Carmen" Cd. del Carmen, Campeche.

Alba, V., Machado, A., 1978. Estudio Sedimentológico de la Bahía de Puerto Viejo, Mazatlán, Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología Estación de Investigaciones Marinas "El Carmen" Cd. del Carmen, Campeche.

Anfuso, G; Bello, E; Benavente, J; Nachite, D; Macias, A Características morfológicas y variabilidad volumétrica de las playas del litoral entre Ceuta y Cabo Negro (Marruecos) *Ciencias Marinas*, vol. 32, núm. 3, septiembre, 2006, p. 579-588 Universidad Autónoma de Baja California Ensenada, México.

Azuz, I., Rosado, F. (Eds.), *El Manejo Costero en México*. Centro EPOMEX Universidad A. De Campeche, Campeche, México, pp. 307–320.

B.; Vafeidis, A.T.; Zimmermann, J., and Nicholls, R.J., (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. *PloS One*, 10(3), p.e0118571.

Barragán Muñoz, J. M. (2005): *La gestión en las áreas litorales en España y Latinoamérica*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, Cádiz

Barragán, J.M. (2014): *Política, gestión y litoral. Una nueva visión de la gestión integrada de áreas litorales*, Madrid, UNESCO, Ed. Tébar. 685 pp.

Battjes, J.A. (1974). Surf similarity. *Proceedings 14th Coastal Engineering Conference*, ASCE, 446-480.

Benavente, J., Gracia, F. J., Del Río, L., Anfuso, G. y Rodríguez-Ramírez, A., 2015. Caracterización morfodinámica de las playas españolas del Golfo de Cádiz. *Boletín Geológico y Minero*, 126 (2-3): 409-426 ISSN: 0366-0176.

Benavente, J., Gracia, F.J. and López-Aguayo, F. (2000). Empirical model of morpho dynamic beach face behaviour for low-energy mesotidal environments. *Marine Geology*, 167, 375-390.



- Bernabeu, A.M., Medina, R. and Vidal, C. (2003). A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences. *Marine Geology*, 197, 95-116.
- Black and Veatch Staff, (2006). Coastal Squeeze Study. Leeds, UK: Environment Agency, 30p.
- Botero, C., Zielinski, S., Noguera, L. (2012). Esquemas de Certificación de Playas en América Latina: Diagnóstico de una Herramienta de Manejo Integrado Costero. *Costas Revista Iberoamericana de Manejo Costero Integrado*. ISSN 2304-0963.
- Burke, L., et al. (2001): Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems. World Resources Institute. Washington D.C. 77 pp.
- Chen, C. L., & Bau, Y. P. (2016). Establishing a multi-criteria evaluation structure for tourist beaches in taiwan: A foundation for sustainable beach tourism. *Ocean & Coastal Management*, 121, 88–96.
- Chapa, F.; Hariharan, S.; Hack, J. A New Approach to High-Resolution Urban Land Use Classification Using Open Access Software and True Color Satellite Images. *Sustainability* 2019, 11, 5266.
- Cifuentes, (2009). Modelización de los factores de crecimiento urbano como aporte a la sostenibilidad. Estudio de caso: Manizales – Colombia. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*.
- Cifuentes, M. (1992). Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza Catie (pp.1-23). Costa Rica.
- Cifuentes, M., Mesquita, C., Méndez, J., Morales, M. E., Aguilar, N., Cancino, D., Turcios, M. (1999). Capacidad de Carga Turística de las Áreas de Uso Público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica. Costa Rica: WWF Centroamérica.
- Cifuentes, P., (2009). Modelización de los factores de crecimiento urbano como aporte a la sostenibilidad. Estudio de caso: Manizales – Colombia. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*.
- Cortés Macías R., Navarro Jurado E., Ruiz J., Delgado Peña J., Ricardo Remond Noa, Eduardo Salinas Chávez, Juan Manuel Fernández, Lorenzo, Pedro Acevedo Rodríguez, (2010). Manejo Integrado Costero en Cuba, La Ensenada Sibarimarse Baetica. *Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 32, 45-65. ISSN: 0212-5099 Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, E-29071 Málaga (España).



Cortés Macías R., Navarro Jurado E., Ruiz J., Delgado Peña J., Ricardo Remond Noa, Eduardo Salinas Chávez, Juan Manuel Fernández, Lorenzo, Pedro Acevedo Rodríguez. Creel, L. (2003): "Ripple effects: Population and coastal regions, Population Reference Bureau". Measure Communication, Washington. 8 pp.

Dante D. Torio and Gail L. Chmura Assessing Coastal Squeeze of Tidal Wetlands Source: Journal of Coastal Research, 29(5):1049-1061. Published By: Coastal Education and Research Foundation

DATATUR Análisis Integral del Turismo, Secretaria de Turismo. (2015-2016). Recuperado de <http://www.datatur.sectur.gob.mx>

De Andrés, M.; Barragán, J.M. (2016): Desarrollo Urbano en el Litoral a Escala Mundial. Método de Estudio para su Cuantificación. Revista de Estudios Andaluces, vol. 33 (1), 64-83. <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.04>

Dean, R.G., 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. Proceedings of the Conference on Engineering Dynamics in the Surf Zone, Sydney, NSW, 208-214.

Doody, J.P. (2004) 'Coastal squeeze' - an historical perspective. Journal of Coastal Conservation, 10/1-2, 129-138.

Doody, J.P., (2013). Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, Ferreira Ó. 1998. Morfodinâmica de Praias expostas: Aplicação ao sector costeiro Aveiro-Cabo Mondego. Tesis doctoral, Universidade do Algarbe, 337 pp.

Doody, J.P., 2013. Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, English Nature Staff, (2006). Coastal Squeeze, Saltmarsh Loss and Special Protection Areas. Peterborough, UK: Royal Haskoning for English Nature, Technical Report No. 710, 55p.

ECMCF. ERA5 Hourly Data on Single Levels from 1979 to Present. 2019. Available online: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47> (accessed on Nov 2019).

Ferreira Ó. 1998. Morfodinâmica de Praias expostas: Aplicação ao sector costeiro Aveiro-Cabo Mondego. Tesis doctoral, Universidade do Algarbe, 337 pp.

Folk, R.L. y Ward, W. (1957). Brazos river bar: study in significance of grain size parameters. J. Sediment. Petrol, 27(1):3-26.

Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957), Jour. Sedimentary Petrology, 27: 3-26.



Fredsoe y Deigaard (1992). (Fredsoe J, Deigaard R. 1992. Mechanics of coastal sediment transport. Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 3, World Scientific, 366 pp.

Google Earth Image©: Digital Globe. Image © (2017). Terra Metrics. Data 510, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.

Gourlay, M.R. (1968). Beach and dune erosion tests. Delft Hydraulics Laboratory, Report, M935/M936.

Gutiérrez, F. (2011). Diseño y validación de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la evaluación de áreas naturales con uso turístico y su aplicación al territorio colombiano. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Guza, R.T. and Inman, D.L. (1975). Edge waves and beach cusps. Journal of Geophysical Research, 80, 2997-3012.

Hinrichsen, D. (1998): Coastal Waters of the World: Trends, Threat and Strategies. Washington D.C, Island Press. 275 pp.

IMPLAN-Mazatlán. Programa Municipal de Desarrollo Urbano. 2020. Available online: <http://www.implanmazatlan.mx/programas>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2015). Directorio estadístico nacional de Unidades económicas (DENUE). Available: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/turismo/>.

IPCC (2014) Intergovernmental Panel on Climate Change.

Iribarren CR, Nogales C. (1949). Protection des ports. Section II. Comm. 4, XVII Int. Nav. Congress. Lisboa, pp. 31–80.

Jiménez-Moreno, M., González-Guillen, Escalona-Maurice, Valdez-Lazalde, Aguirre-Salado, (2011). Comparación De Métodos Espaciales Para Detectar Cambios En El Uso Del Suelo Urbano. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(3): 389-406.

Justafre, Y., (2012). Consideraciones Teórico-Básicas Sobre los Actores Sociales Claves del Manejo Integrado de Zonas Costeras. Revista Desarrollo Local Sostenible Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global Vol. 5. N° 14 Junio 2012. [www.eumed.net/rev/delos/14](http://www.eumed.net/rev/delos/14).

Komar, P. and Gaughan, M.K. (1972). Airy wave theory and breaker height prediction. Proceedings 13th Coastal Engineering Conference, ASCE, 405-418.

Komar, P. D, (1997). Beach process and sedimentation. Prentice Hall. USA.



Li, X., Rowley, R.J., Kostelnick, J.C., Braaten, D., Meisel, J., Hulbutta, K., 2009. GIS analysis of global inundation impacts from sea level rise. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 75, 807–818.

Lithgow, D.; Martínez, M.L.; Gallego-Fernández, Silva, R; Ramírez, D., (2019). Exploring the co-occurrence between coastal squeeze and coastal tourism in a changing climate and its consequences, 43-54, *Tourism Management*.

Lithgowa, D.; Martínez, M.L.; Gallego-Fernández, J.B.; Hespera, P.A.; Flores, P.; Gachuz, S.; Rodríguez-Revelo, N.; Jiménez-Orocio, O.; Mendoza-González, G., and Álvarez-Molina, L.L., (2013). Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*, 199, 214-224.

Lorelys Valerio González, Fabiola López Monroy, Luis Troccoli Ghinaglia<sup>2</sup>. Physical Caracterización física de tres playas de interés turístico-pesquero del municipio Península de Macanao, Isla de Margarita, Venezuela.

Manejo Integrado Costero en Cuba, La Ensenada Sibarimarse. *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 32, 2010, 45-65. ISSN: 0212-5099 Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, E-29071 Málaga (España).

Manual de Diseño de Obras Civiles. (2017). *Hidrotecnia*, Tomo A.2.17 Obras Marítimas. México: C.F.E.

Martínez, M. L., Mendoza-González, G., Silva-Casarín, R., & Mendoza-Baldwin, E. (2014a). Land use changes and sea level rise may induce a “coastal squeeze” on the coasts of Veracruz, Mexico. *Global Environmental Change*, 29, 180–188.

Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Infante-Mata, D., & Rodríguez-Revelo, N. (2014b). *Diagnóstico de las dunas costeras de México*. Guadalajara, México: Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)350.

Martínez, M.L., Mendoza-González, G., Silva, R., Mendoza, E. Land use changes and sea level rise may induce a “coastal squeeze” on the coasts of Veracruz, Mexico. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, 04510 DF, México. *Global Environmental Change* 29 (2014) 180–188.

Masselink, G. (1994). *Morphodynamics of microtidal beaches. Examples from Central Queensland, Australia*. Sydney, Australia: Sydney University, PhD Thesis.

Masselink, G. and Short, A.D. (1993). The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9 (3), 785-800.



- McManus, J. (1980). Grain size determination and interpretation. In: Tucker, M. (ed.), *Techniques in sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, 63-85.
- Medina, R., Losada, I., Losada, M.A. and Vidal, C. 1995. Variabilidad de los perfiles de playa: forma y distribución granulométrica. *Ingeniería del Agua*, Vol. 2, 133-142.
- Mendoza, E., Silva, R., Baquerizo, A., Losada, M. A. (2007). Quad tree based numerical model for coastal hydrodynamics simulation. *Ocean Engineering Research Advances*. Nova Science Publishers, Inc.. Editor: Allan I. Prescott, pp. 243-266
- Mendoza, E. (2007) Modelo unificado de propagación de oleaje e hidrodinámica no lineal. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 158 pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2006): Appeals to the Secretary of Commerce under the Coastal Zone Management Act.
- Navarro, A., (2011). La Gestión Integrada del Litoral en los Estados Unidos de América y su Perspectiva Comparada con el Régimen Jurídico Español. *Revista de Administración Pública* ISSN: 0034-7639, núm. 185, Madrid, mayo-agosto (2011), págs. 365-397
- NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1996, 77, 437–472.
- Nordstrom, K.F. (2000). *Beaches and dunes on developed coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, cit. in: Schlacher, T.A.; Dugan, J.; Schoeman, D.S.; Lastra, M.;
- Jones, A.; Scapini, F.; McLachlan, A.; Defeo, O. (2007). Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distribution*.
- Nordstrom, K.F. (2000). *Beaches and dunes on developed coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK,
- Ochoa, E., Olse, S., Windevoxhel, N. (2001). Avances del Manejo Costero Integrado en PROARCA/Costas. Centro de Recursos Costeros de la Universidad de Rhode Island (CRC-URI) Centro Regional para el Manejo de Ecosistemas Costeros. *Ecocostas*. Guayaquil, Ecuador.
- Office of Ocean and Coastal Resource Management (2009): CZMA federal consistency overview.
- Oliveira, U.R.; Parizotto, B.A.D.M. ; Horn Filho, N.O. & Bonetti, J. Setorização morfossedimentar das Onofri, L., & Nunes, P. A. L. D. (2013). Beach ‘lovers’ and ‘greens’: A worldwide empirical analysis of coastal tourism. *Ecological Economics*, 88, 49–56.



Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Ortiz Pérez, M.A., Méndez Linares, A.P., (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas bajas del Golfo de México y Mar Caribe. In: Riviera, E., Villalobos, G.J., Pedroza, A. Procesos costeros y morfodinámica de playas. 1ra Ed, 31 de agosto, 2011. ISBN 978-607-02-2457-7.

Oyedotun, T.D.T.; Ruiz-Luna, A.; Navarro-Hernández, A.G. Coastline morphodynamics and defences in Mazatlán, Mexico. *Interdiscip. Environ. Rev.* 2018, 19, 168–183.

Papageorgiou, M. (2016). Coastal and marine tourism: A challenging factor in marine spatial planning. *Ocean & Coastal Management*, 129, 44–48.

Pedroza, A. Procesos costeros y morfodinámica de playas. 1ra ed, 31 de agosto, 2011. ISBN 978-607-02-2457-7.

Plan Director de Desarrollo Urbano 2005 – 2015. CI Ayuntamiento del Municipio de Mazatlán, Sinaloa; MEXICO.

PMCQ. (1999). Queensland Coastal Plan. Recuperado de [www.derm.qld.gov.au/coastalplan/pdf/qcp-web.pdf](http://www.derm.qld.gov.au/coastalplan/pdf/qcp-web.pdf)

Pontee, N.. (2013). Defining coastal squeeze: a discussion. *Ocean and Coastal management*. 84. 204-207pp.

Posada, G., Simmonds, D., Silva, R., Pedrozo, A., 2008. A 2D hydrodynamic model with multi quadtree mesh. In: Alan, I. (Ed.), *Ocean Engineering Research Advances*. Nova Publishers, Prescott, pp. 205–241 (Chapter 8, ISBN 978-1-60021-777-7, 1-60021-777-X).

Ramírez, D. et al., (2018). Comparación De Variables Que Inducen opresión costera Con Respecto A Su Intensidad Y Duración, Caso De Estudio: Playa Norte, Campeche, México. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Buenos Aires, Argentina, Septiembre De 2018.

Ramirez, D. et al., (2019). A Quantitative Methodology for Evaluating Coastal Squeeze Based on a Fuzzy Logic Approach: Case Study of Campeche, Mexico. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 92, 2019



Rangel, N. et al., (2012). Evaluación de Paisaje Escénico Costero Mediante del Uso de la Lógica Matemática: Aplicación En La Zona Costera de la Sierra Nevada. *Revista Iberoamericana de Manejo Costero Integrado*. ISSN 2304-0963.

Saaty, T. (1998). Método Analítico Jerárquico (AHP): Principios Básicos. En: E. Martínez & M. Escudey (Ed.), *Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias*. (pp. 17-46). Santiago de Chile: Editorial Universidad de Santiago.

Schlacher, T. A., Dugan, J., Schoeman, D. S., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., et al. (2007). Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions*, 13(5), 556–560.

Semeoshenkova, V., Newton, A., Contin, A., & Greggio, N. (2017). Development and application of an integrated beach quality index (BQI). *Ocean & Coastal Management*, 143, 74–86.

Silva, R.; Martínez, M.L.; van Tussenbroek, B.; Guzmán-Rodríguez, L.; Mendoza, E.; López-Portillo, J. A Framework to Manage Coastal Squeeze. *Sustainability* 2020, 12, 0610.

Silva, R., Lithgow, D., Esteves, L. S., Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Martell, R., et al. (2017). Coastal risk mitigation by green infrastructure in Latin America.

Silva, R., Martínez, M. L., Hesp, P. A., Catalan, P., Osorio, A. F., Martell, R., et al. (2014). Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. *Journal of Coastal Research*, 71(sp1), 1–16.

Silva, R., Mendoza, E., Lozada, M.A. (2006). Modelling linear wave transformation induced by dissipative structures—Regular waves. *Ocean Engineering* Vol. 33, pp. 2150–2173

Silva, R., Villatoro, M.M., Mendoza, E., Delgadillo, M.A., Escudero, M., Delgado, A., Ortiz, M.A., 2011. Caracterización de la Zona Costera y Planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de Criterios de Regulación y Manejo Sustentable. *SEMARNAT*, pp. 152.

Silva, Ruiz, Posada, Pérez, Rivillas, Espinal, Mendoza, Bautista y Morán (2008). *Atlas de Clima Marítimo de la Vertiente Pacífica Mexicana*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN en trámite.

Simpson, M. (2013). Impacts of climate change on tourism (and marine recreation). *Marine Climate Change Impacts Partnership: MCCIP Science Review*, 271–283.

SMN. Servicio Mareográfico. Instituto de Geofísica, UNAM. 2020. Available online: <http://www.mareografico.unam.mx/portal/index.php?page=Estaciones&id=16>



---

Vallega, A., 1999. Fundamentals of Integrated Coastal Management, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 264 pp.

Vera Rebollo, Fernando; López Palomeque, Francisco; Marchena Gómez, Manuel y Antón Clave, Salvador (1997), Análisis territorial del turismo. Una nueva geografía del turismo. Editorial Ariel. Barcelona – España

Villatoro M., Silva R., Méndez F., Zanuttigh B., Pan S., Trifonova E., Losada I.J., Izaguirre C., Simmonds D., Reeve D.E., Mendoza E., Martinelli L., Formentin S., Galiatsatou P., Eftimova P. An approach to assess flooding and erosion risk for open beaches in a changing climate. *Coast. Eng.*, 87 (2014), pp. 50-76

Wright, L.D. and Short, A.D. (1983). Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: Komar, P.D. (ed.), *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 35-64.

Wright, L.D. and Short, A.D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56, 93-118.

Wright, L.D., Short, A.D. and Green, M.O. (1985). Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. *Marine Geology*, 62, 339-364.

Wright, L.D., Short, A.D., Boon III, J.D., Hayden, B., Kimball, S. and List, J.H. 1987. The morphodynamic effects of incident wave groupiness and tide range on an energetic beach. *Marine Geology*, 74, 1-20.

## ANEXO

### Cálculo de la Capacidad de Carga Turística CCT

Capacidad de carga turística la define como la cantidad máxima de visitantes que un área puede recibir manteniendo pocos impactos negativos sobre los recursos y al mismo tiempo altos niveles de satisfacción para los visitantes (Díaz et al, 2012).

Para su cálculo Cifuentes (1992) desarrollo una metodología en donde se establecen tres niveles sucesivos de capacidad de carga: Capacidad de Carga Física (CCF), Capacidad de Carga Real (CCR), Cálculo de Capacidad de Manejo (CCM) y Capacidad de Carga Turística (CCT).

### Cálculo de Capacidad de Carga Física (CCF)

$$CCF = \frac{S}{sp} * NV$$

Dónde:

S= Superficie disponible, en metros cuadrados

sp= Superficie usada por persona= 2 a 4 m<sup>2</sup> (para actividades de playa)

NV= Número de veces que el sitio puede ser visitado por la misma persona en un día.

### Capacidad de Carga Real (CCR)

Es el límite máximo de visitas, determinado a partir de la CCF de un sitio, luego de someterla a los factores de corrección definidos en función de las características particulares del sitio

$$FCx = \frac{Mlx}{Mtx}$$

Dónde:

FCx= Factor de corrección por la variable “X”

Mlx= Magnitud limitante de la variable “X”

Mtx= Magnitud total de la variable “X” (Total del área a evaluar)

**Para obtener la CCR se deben obtener el coeficiente de corrección de las siguientes tres categorías:**



### Categoría Ambiental:

#### *Erodabilidad*

$$F_c \text{ erod.} = 1 - \frac{Ml \left( \begin{array}{l} \Sigma \text{ de las longitudes de sectores} \\ \text{de mediana y alta susceptibilidad} \end{array} \right)}{Mt \text{ (Total del área)}}$$

Teniendo en cuenta que el promedio de la pendiente de las playas de Mazatlán, Sinaloa es alrededor del 5.16 % y se nos recomienda que cuando es menor al 10% este valor se toma como cero el valor de corrección. Entonces:

$$F_c \text{ erod.} = 1 - (0) = 1$$

#### *Accesibilidad*

Teniendo en cuenta los valores de las pendientes, se considera que los terrenos con pendientes menores del 10% son de baja dificultad, las pendientes de 10%-20% son de mediana dificultad y las pendientes mayores al 20% son de alta dificultad:

$$F_c \text{ acces.} = 1 - \frac{Ml \left( \begin{array}{l} \Sigma \text{ de las longitudes de sectores} \\ \text{de mediana y alta dificultad} \end{array} \right)}{Mt \text{ (Total del área)}}$$

Al igual que en el punto anterior la pendiente en las playas de Mazatlán es menor al 10% se toma como cero el valor para aplicarlo a la formula

$$F_c \text{ acces.} = 1 - (0) = 1$$

#### *Precipitación*

El periodo de lluvia para Mazatlán empieza en el mes de julio y termina en octubre, se puede considerar que los meses de julio, agosto y septiembre son los de mayor lluvia con 183.5, 247.9 y 229.0 respectivamente.

$$F_c \text{ precip.} = 1 - \frac{Ml \left( \text{de meses de lluvia limitantes} \right)}{Mt \left( \text{N}^\circ \text{ de meses al año que esta abierto al público} \right)}$$

$$F_c \text{ precip.} = 1 - \frac{3 \text{ meses}}{12 \text{ meses}} = 0.75$$

### *Brillo Solar*

Las temperaturas máximas al año se presentan en Mazatlán de los meses de mayo a octubre oscilando entre los 32°C a 39.5°C.

$$Fc Brill. = 1 - \frac{MI (N^{\circ} \text{ de horas de sol al año})}{Mt (N^{\circ} \text{ de horas totales que esta abierto al público})}$$

$$Fc Brill = 1 - \frac{733 \text{ hrs}}{4,380 \text{ hrs}} = 0.833$$

### *Perturbación a la fauna*

La temporada de anidación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivácea*) es de julio a noviembre, en este periodo es de suma importancias su protección en las playas de Mazatlán.

$$Fc pertfa. = 1 - \frac{MI (N^{\circ} \text{ Meses de la etapa de vida})}{Mt (\text{total de meses})}$$

$$Fc pertfauna = 1 - \frac{5 \text{ meses de anidación y reproducción}}{12 \text{ mese del año}} = 0.584$$

### *Perturbación a la flora*

$$Fc pertfl. = 1 - \frac{MI (\text{metros que requieren protección o Meses del ciclo de vida})}{Mt (N^{\circ} \text{ total de metros o total de meses})}$$

En las playas de Mazatlán no existe flora que esté en peligro por el sector turístico, así es que se considerará cero.

$$Fc pertfl. = 1 - 0 = 1$$

### **Categoría Social:**

#### *Cierres Temporales de los sitios*

Se miden las horas en las que el lugar se encuentra cerrado temporalmente o restringido el paso, por razones, ya sean de mantenimiento o de manejo:

$$Fc citemp. = 1 - \frac{MI (N^{\circ} \text{ de horas al año que el atractivo está cerrado})}{Mt (N^{\circ} \text{ de horas totales al año})}$$



Para el caso Mazatlán las playas permanecen abiertas todo el año, por lo que se considera cero para la aplicación de la fórmula:

$$F_c \text{ citemp.} = 1 - 0 = 0$$

*Satisfacción del turista/visitante*

Se refiere al grado de satisfacción del turista /visitante, respecto a la experiencia que vive, a la atención, a las ofertas del atractivo, a la calidad del servicio, entre otros. Se calcula mediante la aplicación de encuestas a los visitantes, que permitan calificar de un modo u otro el servicio que se está prestando en el atractivo turístico (Berrocal et al., 2013). El turista/visitante debe calificar de 1 a 4 cada uno de los elementos de la oferta turística, donde:

1 = Malo, 2 = Regular, 3 = Bueno, 4 = Excelente

**Tabla 19. Resultados de encuesta de satisfacción del turista en Mazatlán Sinaloa.**

Oferta Turística	Encuesta 1	Encuesta 2	Encuesta 3	Encuesta 4	Encuesta 5	Encuesta 6	Encuesta 7	Encuesta 8	Encuesta 9	Encuesta 10	Promedio	Porcentaje %
Transporte en general para arribar a Mazatlán	4	3	2	4	4	1	4	3	4	2	2.92	73
Atención del personal	3	4	3	3	2	1	4	3	3	2	2.62	65.5
Calidad de los alimentos y bebidas	4	3	2	4	4	1	4	3	4	3	2.93	73.25
Agilidad y calidad en el servicio	4	3	2	4	2	1	4	3	3	2	2.62	65.5
Calidad de las instalaciones e infraestructuras (baños, sillas, etc.)	3	2	2	3	3	2	4	3	4	2	2.62	65.5
Oferta de actividades y servicios en Mazatlán	3	4	3	3	2	1	4	3	4	2	2.72	68
											<b>Total</b>	<b>68</b>

Al final se obtiene un promedio total del porcentaje de todos los elementos de la oferta turística, siendo así el valor del factor de corrección de satisfacción del turista /visitante.

Factor de corrección: 0.68

*Satisfacción del residente:*

Se mide la satisfacción del residente con respecto a la afluencia de visitantes, debido a que la realización de las actividades del turismo en la zona, puede llegar a afectarlos en cuanto a la prestación de servicios públicos. El residente debe calificar de 1 a 5 cada una de las preguntas, donde:

1 = Deficiente, 2 = Malo, 3 = Regular, 4 = Bueno, 5 = Excelente

**Tabla 20. Resultados de encuesta de satisfacción del residente en Mazatlán Sinaloa**

Preguntas	Encuesta 1	Encuesta 2	Encuesta 3	Encuesta 4	Encuesta 5	Encuesta 6	Encuesta 7	Encuesta 8	Encuesta 9	Encuesta 10	Promedio	Porcentaje %
¿Qué tal le parece el turismo en su región?	5	4	3	1	5	5	3	5	3	1	3.5	70
¿En qué escala el turismo le ha permitido conservar la cultura y costumbres de su comunidad?	5	3	1	1	5	3	3	4	4	2	3.1	62
¿Qué le parece la llegada de turistas y visitantes a su comunidad?	5	5	3	1	5	1	3	5	4	5	3.7	74
¿Qué tal le parece la generación de empleo y otras oportunidades a su comunidad, por el turismo?	5	3	4	1	5	2	3	5	2	3	3.3	66
¿Cómo es el trato de los turistas y operadores turísticos con su comunidad?	5	3	1	2	5	2	3	5	3	3	3.2	64
											<b>Total</b>	<b>67.2</b>

Factor de corrección: 0.67

**Categoría Económica:**

*Percepción de gasto del turista/visitante*

Se refiere a la relación entre lo que gasta o paga el turista /visitante, respecto a lo que recibe, en experiencia, atención, ofertas del atractivo y calidad del servicio, entre otros. Se calcula mediante la aplicación de encuestas a los visitantes donde se les pide calificar de 0 a 2 el ítem: Los precios en relación con el servicio recibido son”, donde:

- 0 = Los precios son muy elevados o muy bajos
- 1 = Los precios son elevados o bajos
- 2 = Los precios son acordes

**Tabla 21. Resultados de encuesta percepción de gasto del turista/visitante**

Pregunta:	Encuesta 1	Encuesta 2	Encuesta 3	Encuesta 4	Encuesta 5	Encuesta 6	Encuesta 7	Encuesta 8	Encuesta 9	Encuesta 10	Total	Promedio
Los precios en relación con el servicio recibido son	2	2	2	0	1	0	2	2	2	2	15	1.5

$$F_c \text{ gastur} = 1 - \frac{Ml \text{ (promedio encuestas)}}{Mt \text{ (máximo valor posible)}}$$

$$F_c \text{ gastur} = 1 - \frac{1.5}{2} = 0.25$$

Factor de corrección: 0.25

### *Percepción de ingreso del residente*

Se refiere a la relación entre los ingresos económicos recibidos por el residente, respecto al servicio ofrecido al turista. Para calcularla, se aplican encuestas a los residentes donde se les pide calificar de 0 a 3 la pregunta: los ingresos recibidos por los servicios turísticos ofrecidos son:

- 0 = Los ingresos recibidos son malos
- 1 = Los ingresos recibidos son regulares
- 2 = Los ingresos recibidos son buenos
- 3 = Los ingresos recibidos son muy buenos

**Tabla 22. Resultados de encuesta percepción de ingreso del residente**

PREGUNTA	Encuesta 1	Encuesta 2	Encuesta 3	Encuesta 4	Encuesta 5	Encuesta 6	Encuesta 7	Encuesta 8	Encuesta 9	Encuesta 10	Total	Promedio
Los ingresos recibidos por los servicios turísticos ofrecidos son:	3	2	3	1	1	2	2	2	3	3	22	2.2

$$F_c \text{ ingres} = 1 - \frac{Ml (\text{promedio encuestas})}{Mt (\text{máximo valor posible})}$$

$$F_c \text{ gastur} = 1 - \frac{2.2}{3} = 0.26$$

Factor de corrección: 0.26

Una vez se cuenta con todos los cálculos de los factores de corrección seleccionados en cada categoría, se procede a utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) donde se calcula lo que se denomina prioridad de cada uno de los elementos que se comparan, en este caso de los factores de corrección.

**Tabla 23. Resultados de Análisis jerárquico Categoría Ambiental.**

Factor de corrección	Peso	Valor FC	Peso x Valor
Erodabilidad	42.000%	1	0.42
Accesibilidad	6.52%	1	0.07
Precipitación	12.20%	0.75	0.09
Brillo solar	3.10%	0.833	0.03
Perturbación a la fauna	36.18%	0.584	0.21
Perturbación a la flora	0.00%	1	0.00
		<b>Total</b>	<b>0.81</b>

**Tabla 24. Resultados de Análisis jerárquico Categoría Social**

Factor de corrección	Peso %	Valor FC	Peso x Valor
Cierres temporales	0.00%	0	0
Satisfacción turista	65.00%	0.68	0.442
Satisfacción residente	35.00%	0.67	0.2345
		<b>Total</b>	<b>0.68</b>

**Tabla 25. Resultados de Análisis jerárquico Categoría Económica**

Factor de corrección	Peso %	Valor FC	Peso x Valor
Percepción de gasto del turista/visitante	50.00%	0.25	0.125
Percepción de ingreso del residente	50.00%	0.26	0.13
		<b>Total</b>	<b>0.26</b>

Posteriormente, para obtener el factor de corrección total se multiplican los valores de los factores de corrección ajustados de las tres categorías así:

$$\text{Factor de Corrección total} = Fc \text{ ambiental} * Fc \text{ social} * Fc \text{ económico}$$

$$F_c \text{ total} = 0.81 * 0.68 * 0.26 = 0.143$$

Para terminar, el valor obtenido se reemplaza en la siguiente fórmula para hallar el valor de la Capacidad de Carga Real:

$$CCR = CCF * \text{Factor de corrección total}$$

### **Capacidad de Manejo (CM)**

La capacidad de manejo óptima se define como el mejor estado o condiciones que la administración de un área protegida debe tener para desarrollar sus actividades y alcanzar sus objetivos. Para medirla se utilizan variables como personal, infraestructura y equipamiento (Cifuentes et al., 1999). Para evaluar se tomó el criterio de porcentaje por funcionalidad de acuerdo a experiencias de administradores y matriz FODA de Agenda De Competitividad del Destino Turístico Mazatlán 2014 y al final promediando los porcentajes se obtuvo el resultado de Capacidad de Carga de Manejo.

**Tabla 26. Resultados de Análisis de Capacidad de Manejo**

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>FUNCIONALIDAD PORCENTAJE %</b>
<b>Cuenta con infraestructura hotelera y restaurantera suficiente para todos los niveles socioeconómicos</b>	80%
<b>Existencia de una cadena de distribución eficiente con suficientes operadores turísticos y agencias de viaje.</b>	70%
<b>Intervención coordinada de cuerpos policiacos, protección civil y militares en operativos municipales</b>	68%
<b>Se cuenta con una policía turística como ente gestor de la seguridad del visitante</b>	55%
<b>Salvavidas y cuerpo acuático de salvamento</b>	45%
<b>Zona para cambiarse y duchas en playas</b>	20%
<b>Zonificación, señalización y reglamento de usos</b>	40%
<b>Instrumentos Normativos para una correcta administración del municipio como un Plan de Desarrollo Urbano, Protección Civil, Construcción, Protección Ambiental, Contingencias, Adaptación Climática, Atlas de Riesgos, Seguridad Publica</b>	40%
<b>Cuenta con un aeropuerto Internacional de primer nivel.</b>	70%
<b>Se tiene una de las terminales marítimas de las más modernas del país.</b>	55%
<b>Cuenta con marinas con embarcaderos modernas para grandes yates</b>	70%
<b>Sistema carretero en buenas condiciones que conecta al destino con el resto de la república.</b>	80%
<b>Transporte urbano local que cubre los principales puntos turísticos de la ciudad. Suficiente transporte local para movilización del turista.</b>	80%
<b>Personal médico de las Instituciones públicas del sector salud entre la población total municipal.</b>	68%
	<b>60.07%</b>

Capacidad de Carga de Manejo = 60.07%



### **Capacidad de Carga Turística (CCT)**

Se refiere al número máximo de personas que pueden permanecer en las playas de Mazatlán Sinaloa.

$$CCT = CCR * CM$$

Dónde:

CCR= Capacidad de carga real

CM= Capacidad de manejo