



Diagnóstico

de Erosión y Contaminación

por Aguas Residuales en la

zona costera de Tijuana-San Diego

© Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental A.C. 2023.

Forma de citar:

(2023), «Diagnóstico de Erosión y Contaminación por Aguas Residuales en la zona costera de Tijuana-San Diego», Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental A.C. 2023.

Elaboración

Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental A.C.

Coordinación General

Mtra. Delia Castellanos Armendariz

Realizado en alianza estratégica con

Permanent Forum of Binational Waters

Instituto Tecnológico de Tijuana

Ciudad de Imperial Beach

© 2023 Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental A.C. y San Diego Foundation. Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

La transgresión a cualesquiera de los derechos inherentes a la obra, dará lugar a las sanciones previstas en la Ley Federal del Derecho de Autor, la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial, el Código Penal Federal y demás que resulten aplicables; por lo que el instituto de planeación y gestión del desarrollo del área metropolitana de guadalajara, en su calidad de titular de la obra, se reserva todas las acciones legales que con motivo de ello le pudiesen corresponder.

Las autorizaciones y licencias de uso relacionadas con la presente obra deberán otorgarse por su legítimo titular y constar por escrito para que sean válidas. En caso de requerir información y/o autorizaciones sobre la presente obra, puede enviar un correo electrónico a la dirección adireccion@pfea.org

Este documento fue elaborado con financiamiento de San Diego Foundation en el marco del programa Binational Resilience Initiative 2023

Índice

Presentación.....	5
Justificación.....	6
Descripcion del area de estudio.....	8
Datos de población del área de estudio	8
Características geográficas y ambientales	9
Clima	10
Geomorfología.....	11
Topografía.....	12
Hidrología Superficial.....	13
Vegetación.....	15
Usos del Suelo	16
Instrumentos institucionales de gestión costera en el área de estudio	199
Problemática regional de la contaminación costera.....	22
Infraestructura, equipamiento y servicios públicos.....	23
Necesidades de infraestructura de saneamiento	23
Monitoreo de calidad del agua de mar en el área de estudio.....	29

Control de erosión en el área de estudio.....	32
Conclusiones.....	40
Recomendaciones.....	44
Glosario.....	48
Bibliografía.....	49
Anexo de localización de puntos de descargas.....	55
Anexo de Mapas	52
Anexo Metodologico.....	56

Presentación

El presente trabajo forma parte del proyecto *Hacia la Resiliencia Costera: Monitoreo de la Calidad del Agua y Erosión a través de la Ciencia Abierta y Ciudadana* también denominado **Una comunidad, una costa**. El objetivo del proyecto es generar y difundir información accesible sobre la calidad del agua y la erosión costera en la región de San Diego, Tijuana y Rosarito, a través de un enfoque de ciencia abierta y participación ciudadana, con el fin de facilitar la comprensión de la vulnerabilidad al cambio climático y promover el empoderamiento de la comunidad binacional para una mayor resiliencia. Este proyecto fue seleccionado por la San Diego Foundation durante el período 2023-2024 en el marco de la *Iniciativa de Resiliencia Binacional*, la cual busca brindar apoyo a la región Cali-Baja para adaptarse ante los impactos del cambio climático, la cual se integra por cuatro etapas principales: Diagnóstico de vulnerabilidad costera, Gestión de conocimiento, Generación de datos de calidad del agua costera y erosión, difusión de datos y educación¹. El presente documento describe los hallazgos de la primera etapa, a fin de identificar dónde se tienen las mayores necesidades de investigación y atención estratégica para el desarrollo de mayores capacidades de resiliencia.

El Diagnóstico de Erosión y Contaminación por Aguas Residuales en la zona costera de Tijuana-San Diego abarca las ciudades de Coronado e Imperial Beach en Estados Unidos y los municipios de Tijuana y una fracción del municipio de Playas de Rosarito en México. Incluye la recopilación de datos históricos de la zona de estudio, mapas de información contextual, así como condiciones físicas y climáticas generales, población, uso del suelo, entre otros datos. Este ejercicio permitió identificar la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales que se encuentra localizada en la zona costera para, posteriormente, determinar los requerimientos de mejora operativa y elevar la resiliencia de las comunidades ante condiciones adversas.

El diagnóstico indaga en la problemática de la contaminación del agua marina por vertimiento de aguas residuales, residuos sólidos, así como de las condiciones de erosión costera, haciendo una búsqueda de estudios y trabajos realizados por diversas instituciones y autores en torno a esta problemática costera en ambos lados

¹ En la etapa de Gestión de Conocimiento, se establecerá una plataforma digital amigable como herramienta para la difusión de información de la condición costera, facilitando la accesibilidad y el intercambio de datos. La tercera etapa de este proyecto se enfoca en la generación de datos de calidad del agua costera y erosión. Por último, la etapa de Difusión y Educación plantea la creación e implementación de una estrategia de comunicación social, incluyendo el desarrollo de material educativo dirigido a estudiantes sobre gestión costera sostenible.

de la frontera, que ya han sido explorados en el Coastal Resilience in the Baja California-San Diego Region: An Assessment of Science Assets, Gaps, and Priorities.

Para empezar a reconocer las características de este espacio costero compartido, se estableció una zonificación de las principales localidades y problemáticas que se encuentran presentes en la zona costera, considerando tanto factores naturales como antropogénicos que interactúan en el espacio costero de la zona de estudio.

Para ello se reconocen las condiciones físicas generales del territorio, datos de población, uso de suelo, infraestructura instalada para el tratamiento de aguas residuales, así como aspectos de geomorfología costera que reconozcan áreas de erosión potencial. La recopilación de datos históricos sobre monitoreo de calidad de agua marina realizados en la zona de estudio, aunados a datos más recientes y con más variables, aportarán mayor conocimiento sobre las condiciones de contaminación, que eventualmente permitan determinar medidas de prevención y protección para las comunidades costeras.

Justificación

Dado que los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más frecuentes en todo el mundo, alcanzar una mayor resiliencia costera es especialmente importante en las zonas costeras. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), señala que en los próximos 20 años se invertirán 94 billones de dólares en infraestructuras de protección en todo el mundo debido al cambio climático. Si bien los actores de los sectores público y privado, incluidos los de empresas de ingeniería y arquitectura, pueden comprender el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza, a menudo carecen de los datos, los parámetros de diseño y los estándares de construcción necesarios para ampliar los enfoques híbridos en el contexto de las inversiones en infraestructura convencional. Debemos medir sistemáticamente y aprender de los resultados de las intervenciones híbridas para desarrollar esta evidencia y datos, así como hacerlos accesibles a los profesionales. («Fortalecimiento de la resiliencia en las zonas oceánicas y costeras», 2021/21d. C.)

En 2023, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente publicó el Informe sobre la Brecha de Adaptación 2023 titulado “Financiación y preparación deficientes: La falta de inversiones y planificación en materia de adaptación climática deja el mundo expuesto al peligro”. Este informe indica que invertir en adaptación y mitigación reducirá en aproximadamente 14 veces los costos climáticos en el futuro. Sin embargo, este Informe también concluye que los avances en materia de adaptación climática se están ralentizando en todos los ámbitos, pese a que deberían acelerarse para poder hacer frente a las consecuencias cada vez más graves del cambio climático (UNEP, 2023)

Bajo la consideración de los escenarios de cambio climático en la región, las lluvias

podrían verse reducidas con una gran variabilidad entre años muy secos y años muy lluviosos, que provocarán aumentos de temperatura para el próximo siglo². Estos cambios actualmente se manifiestan con lluvias intensas, breves y repentinas, que pueden generar muchos daños a las infraestructuras de las ciudades³.

De acuerdo con estos escenarios climáticos, se proyecta una disminución de lluvias de primavera-invierno para 2040. Estas condiciones, sumadas al alto estrés hídrico en el que se encuentra todo el norte de México, el Estado de Baja California y el estado de California en los Estados Unidos, determinan condiciones que alteran las condiciones climáticas regulares y amenazan la disponibilidad de agua en la región, lo cual tendrá un alto impacto en esta zona costera.

California, además de ser el estado más poblado de Estados Unidos y ser económicamente preponderante a nivel mundial, tiene uno de los climas más variados del mundo, por lo que existe preocupación en torno a los impactos que el cambio climático generará en las siguientes décadas. Algunos de los problemas ambientales que ya se padecen en California y Baja California son las sequías, incendios forestales y condiciones climáticas extremas que se verán exacerbados por el aumento de las temperaturas.

Por ello, resulta crucial diseñar mejores estrategias de adaptación a nivel regional que tengan mayor alcance e impacto. Entre estas, identificamos la mejora en las políticas y planificación, la zonificación local del uso del suelo, la revisión de códigos de construcción, entre otras estrategias .

Un aspecto de gran importancia asociado a lo anterior es la necesidad de garantizar una mayor participación de la población, acercándose más información sobre los procesos y fenómenos que están afectando las costas. Para ello, se requiere primeramente generar diagnósticos sobre las problemáticas particulares que aquejan a cada región y hacer accesible dicha información a la población en general, en específico a quienes viven en las zonas de mayor riesgo. En este mismo sentido, se hace necesario establecer procesos de monitoreo y evaluación de las estrategias adoptadas, que establezcan responsabilidades a todos los actores que intervienen en el desarrollo regional costero, lo cual permitirá tener mayores avances en la materia.

Por lo tanto, el presente diagnóstico es un esfuerzo por empezar a reconocer las problemáticas que amenazan la seguridad y salud de quienes habitan y/o utilizan la costa identificando los sitios en donde se generan descargas de contaminantes, así como reconocer zonas con mayor susceptibilidad a la erosión costera.

² Los escenarios locales de cambio climático en Baja California, han sido determinados en base a un análisis histórico de reportes climáticos desde 1950 y 2010, considerando los estudios de cambio climático a nivel nacional.

³ Rafael García Cueto, Jefe del Laboratorio de Metrología y Climatología del Instituto de Ingeniería y coordinador por la UABC del equipo de investigadores para la elaboración del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-BC), 2014.

Descripción del área de estudio

El área de estudio del diagnóstico abarca una superficie total de **102.4 km²** de los cuales: **59.3 km²** en México y **43 km²** en Estados Unidos. El área de estudio se localiza entre los **32°41'3.38"** de latitud norte, y los **117°13'21.96"** de longitud oeste, desde la ciudad de **Coronado** en la costa de California, Estados Unidos, hasta los **32°19'53.55"N - 117° 3'17.30"O** en el **Municipio de Playas de Rosarito** en Baja California México (Mapa 1).

La zona costera de estudio en Estados Unidos abarca las ciudades de Coronado e Imperial Beach las cuales se conectan a través de la barra arenosa de Silver Strand que se extiende en dirección general noroeste-sureste. Tiene aproximadamente siete millas de longitud, limita al norte con el Aeropuerto Internacional de San Diego y la ciudad de Coronado, al oeste con el Océano Pacífico, al este con *San Diego Bay* y al sur con la frontera internacional con México. La franja litoral de la sección norteamericana abarca desde la *San Diego Bay*⁴ hasta el límite fronterizo con México, sumando 21.8 km de longitud, de los cuales el 100% presenta una composición arenosa con presencia de estuarios, marismas⁵ y áreas urbanizadas que incluyen la ciudad de Chula Vista y la costa de *San Diego Bay*.

Por su parte, la sección de costa ubicada en territorio mexicano abarca **24 km** de zona costera, que incluye zonas urbanas y naturales en los municipios de Tijuana y Playas de Rosarito. La parte que corresponde al municipio de Tijuana abarca 16.2 km y está conformada por dos delegaciones administrativas municipales que son: Playas de Tijuana, y San Antonio de los Buenos. La mayor parte del litoral mexicano presenta costas bajas arenosas cuya composición en el municipio de Tijuana es de tipo mixto, con una superficie de 1.17 km² de playa arenosa y 1 km² de cantil rocoso (en la descripción geomorfología se señalan mayores detalles). En el Municipio de Playas de Rosarito, el área de estudio está formada únicamente de playa arenosa, con 0.31 km² misma que continúa con una composición rocosa de tipo ígneo.

⁴ *San Diego Bay* es un puerto natural de aguas profundas ubicado en el condado de San Diego California, cerca de la frontera entre Estados Unidos y México, que tiene una longitud de 19km y una anchura de 1,6 a 4,8 km, dicha bahía colinda con las ciudades de San Diego, National City, Chula Vista, Imperial Beach y Coronado. El borde occidental de la bahía está protegido desde el océano Pacífico por una larga franja angosta de tierra conocida como Silver Strand, cuyo extremo norte se amplía hasta convertirse en la Isla Norte de la Fuerza Naval Aérea de los Estados Unidos.

⁵ *San Diego Bay* está reconocida por su política de protección a bahías y estuarios de California.

Datos de población del área de estudio

De 1990 a 2015, Baja California se encontró entre los tres estados costeros de México con mayores tasas de crecimiento poblacional⁶.

La población total dentro del área de estudio es de 137,770 personas: 85,746 habitantes en México y 52,024 del lado estadounidense.

El municipio de Tijuana es el más poblado a nivel nacional con 1,922,523 habitantes. El municipio de Playas de Rosarito cuenta con 126,890 habitantes (INEGI, 2021), y con una población flotante estimada en 250 mil personas⁷. Según datos de la Secretaría de Turismo, el área de estudio concentra el 66% de los visitantes internacionales con residencia secundaria en el Corredor Costero Tijuana-Playas de Rosarito-Ensenada con clasificaciones de residencia temporal y residencia permanente (Mapa 2).

Considerando la población total y el área de estudio, se estima una densidad bruta de 5,902 habitantes por km² (Mapa 3). En el mapa de densidad poblacional, se pueden reconocer seis áreas donde se observa una mayor concentración de población en el área binacional de estudio. En el Mapa 4, se muestran áreas en México que no tienen registro en INEGI y presentan un grado de rezago social alto debido a los procesos de asentamiento irregular que ha ido prevaleciendo en estas zonas.

Características geográficas y ambientales

La interacción entre las características geográficas del territorio (como la topografía y la geología) y los factores ambientales (como el clima), juega un papel determinante en la contaminación y erosión costera. Esto sucede tanto en la remoción como en el transporte de los materiales que conforman la deriva litoral a lo largo de la costa. Un aspecto importante es revisar la susceptibilidad de estos materiales en los movimientos y procesos de remoción en masa, derivados de la interacción de factores ambientales y antropogénicos, y no solo observar las propiedades geotécnicas de los materiales que componen la costa.⁸

⁶ Política Nacional de Mares y Costas de México 2012.

⁷ Del total de población en la zona mexicana de estudio, 74,586 habitantes corresponden a Tijuana y 11,447 personas a Playas de Rosarito.

⁸ Diferentes datos y observaciones de campo se integran para construir un indicador de susceptibilidad a deslizamientos (derrubios o detritos y/o de suelos), el cual se basa en la combinación de un índice topográfico de humedad (elaborado a partir del TOPMODEL), una reconstrucción litológica y geológica, de rasgos estructurales y atributos de las laderas.

Para los propósitos de este estudio, definimos a la zona costera como:

*“Una zona de transición ubicada 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 con el océano, hasta el primer cambio topográfico importante (cuya altura es definida arbitrariamente en cada país) por encima del alcance del máximo oleaje de tormenta”*⁹.

La definición de zona costera descrita en la Política Nacional de Mares y Costas de México es:

*“el espacio geográfico de interacción mutua entre el medio marino, el medio terrestre y la atmósfera, comprendido por: a) una porción continental definida por 265 municipios costeros; 150 con frente de playa y 114 municipios interiores adyacentes a estos con influencia costera alta y media; b) una porción marina definida a partir de la plataforma continental delimitada por la isobata de los 200 m, y c) una porción insular representada por las islas nacionales.”*¹⁰

Para el estudio de las zonas costeras se toman en consideración tres subambientes, a partir de su hidromorfología: a) Zona supra litoral, que está afectada por la influencia marina sólo durante tormentas y se extiende tierra adentro cuando existen cuerpos de agua superficiales, b) Zona intermareal, comprendida entre los alcances superior e inferior de la marea en condiciones normales y c) Zona infralitoral, se extiende desde la base de la zona intermareal hasta el límite inferior de la acción del oleaje durante los temporales¹¹.

Los límites de la zona costera se establecen atendiendo a la estructura y configuración geomorfológica de la costa, constituida por terrazas bajas, acantilados, playas, dunas y humedales. El límite de la zona costera hacia el mar es el borde de la plataforma continental del territorio, regularmente localizada entre los 100 y 200 metros, y hacia tierra adentro se extiende a lo largo de la orilla del mar denominado “eje litoral” y de forma perpendicular a la orilla denominado “eje tierra o altamar” lo cual suele variar de lugar en lugar, modificando la dimensión de la zona costera¹².

⁹ UNAM-SEMARNAT., (2014), Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable, p. 12

¹⁰ Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. 2012. Política Nacional de Mares y Costas de México, Semarnat. México

¹¹ Maldonado, 1983

¹² La importancia de estas definiciones, estriban en la diversidad de hábitats y ecosistemas que encuentran en estos espacios, los cuales pueden ser revisados y comparados, a través de un sistema homologado de clasificación de costas. A estos espacios se le considera un recurso valioso, porque proporcionan múltiples beneficios y servicios ambientales, sirviendo de

Clima

El Atlas de Riesgos de Tijuana determina un clima predominante árido, templado y seco (también llamado mediterráneo). Acorde con los datos de la estación meteorológica de Tijuana para 2023, la temperatura media anual en Tijuana es de 16.4° C. la media más cálida es 23.9° C en los meses de julio y agosto y la media más fría en el mes de enero, es de 7.2° C. La temperatura más caliente que ha sido registrada es de 38.9° C y la más fría observada de -2.2° C¹³. Las lluvias son muy escasas en la mayor parte de la región, contando con una precipitación media anual de 262 milímetros (mm). Del volumen total de precipitación, 21 por ciento ocurre en enero, mes de mayor precipitación, y solo el 0.1 por ciento durante julio, mes de menor precipitación. El 87 por ciento de la precipitación ocurre en el período de noviembre a abril, con un promedio de 24 días por año con una precipitación que excede a 2.5 mm (CONAGUA, 2023).

El municipio de Playas de Rosarito tiene un clima árido templado o templado seco¹⁴. La temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C. La temperatura del mes más frío oscila entre -3°C y 18°C y la del mes más cálido es menor de 22°C. La precipitación anual es de 206 mm de lluvia.¹⁵ Por su cercanía al mar, su humedad es de 78.5 por ciento. La precipitación tiene un efecto importante en la saturación de suelos, por lo que es considerado un factor detonante en los deslizamientos de tierras y taludes.

En Coronado e Imperial Beach se identifican condiciones climáticas *muy favorables* debido a su cercanía con el océano, el cual mantiene una temperatura templada (Purer, 1936), contando con un clima desértico brumoso¹⁶. La precipitación estacional promedio es de 247.1 mm/9.7 pulgadas¹⁷. Durante la temporada de lluvias, la humedad en el suelo es abundante. En el verano, la disponibilidad de agua es muy escasa y las plantas sufren déficit hídrico¹⁸.

sostén a la economía a través de actividades como el turismo, el comercio la recreación, el desarrollo inmobiliario, entre otros, y son por definición, uno de los espacios recreativos favoritos para el esparcimiento de la población (James, 2000; de la Lanza et al., 2006; Cervantes & Espejel, 2008; Popoca & Espejel, 2009; Noguera et al., 2012; Botero et al., 2015 como fue citado por Antonio Romualdo Márquez González, Sara Rubí Tovar Hernández, y Verónica Alejandra Mondragón Jaimes.

¹³ Aun cuando otras fuentes señalan temperaturas máximas récord de 48.2°C y mínima de -9.4 °C y se reportan nevadas en los años de 1967, 2007, 2008, 2014, 2021.

¹⁴ De acuerdo con la clasificación de Köppen (CONAGUA, 2012)

¹⁵ PDU CPR 2021-2040, pp.50

¹⁶ R J. Russell, Climates of California, University of California Publications In Geography, vol. 2, No. 4, páginas 73-84, 1926

¹⁷ Oficina Meteorológica de los Estados Unidos, en San Diego

¹⁸ Edith A. Purer, en estudios de ciertas plantas de dunas de arena costeras del sur de California, Monografías ecológicas, Vol. 6, No. 1, 1936.
<https://www.naturespeace.org/purer1936silverstrandpark.htm>

Geomorfología¹⁹.

En el municipio de Tijuana la geología de la costa presenta predominancia de materiales sedimentarios poco consolidados, cuyas capas pueden tener direcciones y echados coincidentes con la pendiente, que imprimen mayor debilidad estructural. Estos materiales se presentan algunas veces subyaciendo depósitos de materiales más duros de origen volcánico, los cuales al exponerse a la humedad y la acción erosiva del oleaje pueden dar lugar a zonas con retroceso de la línea de costa. Las unidades litológicas sedimentarias, como las areniscas y limolitas tanto marinas como fluviales suman una superficie total aproximada de 685 hectáreas (has), mientras que las unidades litológicas ígneas de basalto suman 2,985 has²⁰. Debido a esto, la costa es predominantemente rocosa, con acantilados ígneos y sedimentarios. En el [Mapa 5](#) se muestra la composición geológica de la sección costera de análisis.

En el caso del municipio de Playas de Rosarito las unidades litológicas dominantes están constituidas por una sucesión de rocas ígneas intrusivas y extrusivas y por una intercalación de rocas piroclásticas sedimentarias y areniscas cretácicas²¹. Las areniscas se ubican a pocos metros de elevación sobre el nivel del mar y se presentan en lomeríos, aluviones de origen fluvial y en todas las cañadas y valles, lo que hace a estas zonas difíciles de urbanizar, aún cuando la pendiente lo favorezca. El área urbana se asienta sobre roca principalmente basáltica, firme y estable, en tanto que las áreas con depósitos de aluvión son especialmente vulnerables en lluvias torrenciales.

Dentro del área de estudio se reconoce una franja arenosa de playa con una superficie aproximada de 52 has; pero en general, esta se reconoce con una geomorfología mixta, integrada por áreas de cantiles rocosos. Esta condición puede observarse muy claramente en el límite de la sección sur del área costera de Playas de Rosarito, donde se tienen playas de composición arenosa en transición con costas rocosas de cantiles elevados. Durante el reconocimiento de campo se pudo observar el uso de materiales ajenos a la geología depositacional natural en distintos puntos del litoral costero donde existen suelos de relleno, tanto en el área de Tijuana como de Playas de Rosarito. Estos rellenos no están bien documentados, y se encuentran compuestos por materiales aluviales y escombros, y son utilizados para proteger áreas de la erosión, o “ganar terreno al mar”.

En Coronado e Imperial Beach, la geomorfología del área costera se compone de arenas depositadas a lo largo de la costa desde Imperial Beach hacia el norte,

¹⁹ El conocimiento de la geomorfología costera es fundamental para cuantificar la vulnerabilidad (Thieler y Hammer, 1999; Islam et al., 2015), establecer en forma precisa su evolución ante la elevación del nivel del mar y plantear alternativas de protección (CEPAL, 2012; Torresan et al., 2012).

²⁰ Atlas de Riesgos Físicos del Municipio de Tijuana y la cartografía de INEGI

²¹ Esta unidad ha sido designada, según cartas geológicas como la Formación Rosarito Beach, la cual se encuentra constituyendo lomeríos suaves, amplias planicies, mesetas, colinas y dunas formadas por procesos de acumulación de sedimentos recientes no consolidados, que ocupan la mayor parte de la superficie costera de estudio.

formando una larga lengua que se extiende hasta Coronado²². El análisis de la composición de arenas muestra secciones de arena suelta, incoherente y bastante gruesa que contiene alrededor del 90% de cuarzo y un poco de feldespato, siendo especialmente prominente el material basáltico²³. Los acantilados rocosos representan aproximadamente 1 por ciento en los 102.4 km² del área de estudio.

Topografía

Factores como la topografía y la pendiente potencian la erosión. Tijuana y Playas de Rosarito tienen áreas de mayor altitud y diferenciación topográfica en comparación al área estadounidense de estudio. En el área mexicana de estudio se presenta una mayor diversidad de paisajes geomorfológicos, observándose unidades de mesetas y planicies costeras, planicies bajas de inundación y zonas de dunas costeras.

El Mapa 6 de curvas de nivel muestra la presencia de planicies costeras y terrazas marinas bajas, tanto en el norte de Tijuana como en el centro de población de Playas de Rosarito²⁴. La altitud media del área urbana en Rosarito se encuentra entre los 4 y los 290 metros sobre el nivel del mar (msnm), en tanto que las áreas rurales se asientan sobre lomeríos bajos y montañas en barlovento en dirección al este, respecto al Océano Pacífico (PMDUOT 2015-2035).

En el área de estudio de Tijuana el diferencial de altitud va desde los 5 msnm, hasta los 180 msnm hacia los límites el este de la zona de estudio. Sus rangos altitudinales muestran cambios drásticos en la pendiente, lo cual tiene gran influencia en la dinámica erosiva de la zona costera.

Para el área de estudio en Coronado e Imperial Beach, Estados Unidos la zona costera tiene una elevación menos drástica²⁵, yendo de 1 msnm hasta las elevaciones de las montañas de Otay y San Miguel. La mayor parte del área costera está ocupada por humedales denominados *Watershed Management Area* (WMA por sus siglas en inglés) que colindan con la frontera de México.

²² Una lengua más pequeña conecta con la Isla Norte. Por tanto, ni Coronado ni la Isla Norte son islas, ya que están conectadas con el continente por estas lenguas de arena. Poco a poco, estas lenguas de arena están migrando hacia la tierra debido a la acción tanto de las olas como del viento, y cuyo avance se ve frenado por la acción retensiva de la vegetación, y la construcción y mantenimiento de la calzada que lleva el mismo nombre. Cinco regiones integran esta zona costera: al oeste, una amplia playa de arena, donde las olas de las tormentas ruedan y dejan escombros; tierra adentro, la presencia de pequeñas dunas fuera del alcance de las olas, pueden ser alcanzadas por las tormentas; hacia la parte central, se extiende de extremo a extremo, una carretera y una vía una férrea construida sobre suelos más pesados introducidos para tal fin. Al este de esta zona, se presentan dunas formadas por la acción del viento; al Este, en la orilla de la bahía, se tienen materiales arcillosos, y en otros tramos, una cubierta de arena depositada que forma una playa estrecha.

²³ Purer, 1936. Análisis realizado por la Oficina de Química y Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

²⁴ Estas zonas se encuentran rodeadas de relieves y cambios topográficos marcados, como ocurre con elevaciones de Mesa Redonda en Playas de Rosarito con 650 msnm y el Coronel, que alcanza los 735 msnm, estos relieves importantes, establecen un sistema intermedio de submesetas al norte y sur de Rosarito en donde se está presentando un alto ritmo de ocupación y cambio de uso de suelo.

²⁵ Para el caso de la sección ubicada en Estados Unidos, las pendientes de las playas que afectan el avance de las olas, también varían ampliamente según la época del año, las condiciones de energía del océano y el tamaño de los granos del sedimento. El análisis de los perfiles históricos de las playas muestra una variedad de pendientes de playa (1:25 y 1:10). Cabe señalar que el Proyecto de Alimentación II de la playa completado en 2012, introdujo sedimento que era sustancialmente más grueso 0,53 mm (tamaños de grano más grandes) que los nativos sedimento (~0,20 mm), que probablemente ha intensificado el perfil e inclinación de la playa, aumentando la incidencia del oleaje (Ludka 2016).

Hidrología Superficial

La región costera del área mexicana de estudio pertenece a la Región Hidrológica 1 "Baja California Noroeste", la cual se ubica en la porción centro-noroeste del estado. Esta región comprende corrientes de carácter internacional y dentro de ella se encuentran los ríos Tecate y Tijuana. Estos se unen, desembocando en el Océano Pacífico. La Región Hidrológica 1 está integrada por las subcuencas del Arroyo El Descanso, Río Las Palmas y Río Tijuana, arroyo de Maneadero, Ensenada, Río Guadalupe²⁶.

En la sección mexicana, el área de estudio se localiza dentro de la subcuenca Arroyo el Descanso, ubicada en la porción noroeste del estado de Baja California, abarcando desde la frontera con los Estados Unidos en Playas de Tijuana, hasta la playa de la Misión al sur del municipio de Playas de Rosarito. Dentro del área de estudio en México se presenta un conjunto de subcuencas costeras, en donde dominan las sierras bajas, cauces de arroyos y cañones de disección profunda y en menor medida lomeríos y planicies en Playas de Rosarito. Aquí los arroyos y escurrimientos son de tipo intermitente, activos únicamente en temporada de lluvias²⁷.

Los sistemas fluviales que se encuentran en las costas del área binacional de estudio presentan una composición de canales y lechos con un marcado patrón de disección de Este a Oeste, lo cual influye en el aporte y balance depositacional de materiales continentales hacia la zona costera. Los flujos continentales provenientes de los arroyos y ríos (Mapa 7), generan procesos erosivos que influyen los terrenos empinados y pedregosos a lo largo del litoral costero.²⁸

En el área mexicana de estudio se reconoce un sistema de ocho microcuencas costeras. Dentro de éstas se identificaron 29 puntos de descarga de arroyos y escurrimientos naturales superficiales, de los cuales los más importantes son el Arroyo San Antonio en Tijuana y los Arroyos Rosarito y Huacatay en Playas de Rosarito (Mapa 8)²⁹. La imagen de la red de escurrimientos superficiales (vertientes) y curvas topográficas identifica las áreas con mayor potencial de erosión costera que tienen los materiales geológicos menos resistentes y la mayor concentración de asentamientos humanos (Mapa Densidad Poblacional y Potencial de Erosión). Otro

²⁶ Esta región se divide en tres cuencas: Cuenca (1A). Arroyo Escopeta-Cañón de San Fernando: Tiene una superficie de 8,943.42 km² y su límite Sur lo marca el Cañón de San Fernando. Tiene como subcuencas intermedias la del Cañón de San Fernando (1Aa), Cañón de San Vicente (1Ab), Arroyo El Rosario (1Ac), Arroyo del Socorro (1Ad), Arroyo San Simón (1Ae) y Arroyo de la Escopeta (1Af). Cuenca (1B). Arroyo de las Animas-Arroyo Santo Domingo: Drena un área de 9,889.31 km² y tiene como subcuencas la del Arroyo Santo Domingo (1Ba), Río San Telmo (1Bb), Río San Rafael (1Bc), Arroyo Salado (1Bd), Río San Vicente (1Be), Río Santo Tomás (1Bf) y Arroyo Las Animas (1Bg). Cuenca (1C). Río Tijuana-Arroyo de Maneadero.

²⁷ La configuración morfogenética de estos escurrimientos operó en la región durante el periodo Mioceno, que generó una red de drenaje con un alto nivel de incisión y disección en los lechos de arroyos con erosión lineal en las laderas. Y aunque esta configuración sea una forma heredada desde el periodo Mioceno, estos sistemas mantienen una importante influencia en la geodinámica del modelado de la región costera. Se sabe que los eventos de precipitación extrema activan procesos geomorfológicos en las subcuencas, que generan flujos detríticos hiperconcentrados, inundaciones rápidas (avenidas o flashflood) e inundaciones fluviales (Castro, 2009; Maerker, 2012; Soto, 2010, 2012, 2015, 2017).

²⁸ El aporte estos materiales terrígenos, también pueden correlacionarse con la presencia de metales pesados en la línea de costa, y aunque en este trabajo, no se realiza un análisis de estos componentes, es importante resaltar la afinidad que existe entre el tamaño de grano y la capacidad de adherencia y dispersión de contaminantes (materia orgánica y silicoaluminatos), que pueden afectar la productividad biológica y otros procesos dentro de la zona costera (Galindo y colaboradores, 1994).

²⁹ Este sistema de escurrimientos naturales que constituyen las cuencas y subcuencas, también se ven sometidos a cambios importantes, que son más evidentes durante temporada de lluvias, los cuales llegan a presentar flujos torrenciales, incrementado el potencial de fragmentación, erosión y dispersión de materiales sedimentarios, que son un factor para considerar en la ocurrencia de deslizamientos de tierra o laderas. En la zona costera, este fenómeno de erosión y arrastre de sedimentos hacia la costa, se ve además favorecido por el cambio de pendiente; estos aportes sedimentarios ocurren de forma sistemática en cada temporada de lluvia, movilizandando gran cantidad de sedimentos y contaminantes hacia las aguas costeras. La subcuenca Lower Cottonwood cuya parte alta de su subcuenca se ubica en territorio estadounidense, es el afluente más importante que contribuye a la zona urbana de Tijuana, por el Arroyo Alamar y río Tijuana en México.

tipo de vertientes son aquellas que se ubican en rocas graníticas, las cuales tienen una amplia distribución en la sección media del tramo entre Tijuana y Rosarito. El aspecto relevante de estas vertientes son las pendientes medias, altas y muy altas con escasa vegetación de matorral costero o riparia. Este tipo de vertientes cuenta con un sistema de drenes muy bien desarrollado en la delegación de San Antonio de los Buenos en Tijuana.

Por su parte, la cuenca hidrográfica de *San Diego Bay*, surte aproximadamente a un tercio de la población del condado de San Diego y se considera la cuenca hidrográfica más grande dentro de los límites de este condado. Esta cuenca está conformada por tres subcuencas hidrológicas: Pueblo San Diego, *Sweetwater River*, y *Otay River*³⁰. En esta cuenca los aportes de agua pluvial derivan principalmente de cuatro principales embalses de agua: *Sweetwater*, *Loveland*, *Upper* y *Lower Otay*, además de otros cuerpos de agua importantes como *Sweet Water River*, *Chollas Creek*, y *Otay River*. La Unidad Hidrológica de *Sweetwater* es la más grande de las tres unidades mencionadas, abarcando más de 587 km² (145,000 acres) y contiene tres áreas de drenaje principales: *Sweetwater Inferior*, *Media* y *Superior* (El área hidrológica inferior de *Sweetwater* es la más densamente poblada e incluye el puerto de San Diego y las ciudades de San Diego, *National City*, *Chula Vista*, *La Mesa* y *Lemon Grove*.

La zona de estudio en Estados Unidos se ve influenciada por presencia de *San Diego Bay*, la cual capta la mayor parte del agua pluvial proveniente de las cuencas continentales, por lo que no se tienen aportaciones pluviales o de sedimentos directamente desde las cuencas terrestres hacia la barra arenosa. La Unidad Hidrológica de *Otay* localizada al sur del condado de San Diego en el límite con la frontera de México, se identifica como la segunda más grande y comprende casi 398.6 Km² de tierra. Esta unidad se divide en tres áreas hidrológicas: *Coronado*, *Otay Valley* y *Dulzura*, que se distribuyen en el condado de San Diego y las ciudades de *Imperial Beach*, *Coronado*, *National City*, *Chula Vista* y San Diego. Esta unidad hidrológica drena escurrimientos y sedimentos a través del sistema estuarino del Río Tijuana, el cual aporta sedimentos y flujos continentales, incluyendo los provenientes del Río Tijuana, cruza la frontera y descarga sus aguas y sedimentos en la Reserva Internacional del Estuario del Río Tijuana³¹.

Vegetación

La presencia de cobertura vegetal en la zona costera es un factor que ayuda a la protección del suelo, evitando que éste no quede expuesto a los procesos de erosión

³⁰ San Diego Bay Watershed Management Area Analysis, October, 2014, and San Diego Bay WMA Water Quality Improvement Plan Monitoring and Assessment Program.

³¹ A través del Programa de Manejo de Escorrentía Urbana de Cuencas (WURMP), centrado en identificar y establecer las prioridades de manejo de la WMA, y en implementar actividades que incluyan la reducción de contaminantes, se ha puesto énfasis en la coordinación interinstitucional, que ayude a lograr los objetivos de mejora de la calidad del agua, acorde con lo establecido en la Ley de Agua Limpia.

y desgaste³². El desarrollo urbano y algunas prácticas agrícolas son factores que pueden acelerar la erosión del suelo y aumentar el aporte de sedimentos terrestres a los ecosistemas marinos, y extender el impacto de los contaminantes al mar. Los ecosistemas presentes en el área estadounidense de estudio se conforman principalmente de vegetación de dunas de arena³³, charcas vernaes y marismas costeras. Estos ecosistemas se encuentran en entornos amenazados e impactados de California³⁴. La función de las dunas y cordones litorales³⁵ adquiere mayor importancia ante los efectos del cambio climático, con la subida del nivel del mar y una mayor frecuencia y fuerza de temporales³⁶.

En este trabajo se realizó una revisión general de la cobertura de la vegetación en la sección mexicana, con base en la cartografía de INEGI³⁷, lo cual permite analizar la vegetación como un factor que contribuye a la erosión del suelo continental. Esta condición resulta clave en los ambientes costeros debido a que dicha cobertura está estrechamente relacionada con la litología, la topografía y la climatología, así como con los cambios de uso del suelo y la eliminación de la vegetación. Dentro del área de estudio los tipos de vegetación en suelo rústico son en su mayoría áreas con vegetación inducida, cultivos, pastizales y otras especies oportunistas que tienen crecimiento explosivo durante la temporada de lluvias. Esto genera una gran cantidad de material combustible que alimenta los incendios, e incrementa la fragmentación de hábitats, aumentando la susceptibilidad del suelo a la erosión.

A lo largo de la zona costera se reconocen zonas en donde el cambio de uso de suelo se ha visto incrementado, lo cual se asocia un potencial mayor de erosión y a un suelo más vulnerable al arrastre de materiales como limos, arcillas y arenas desde las partes altas de las cuencas continentales hasta el ambiente marino costero. Esta tendencia ha sido reconocida en el Programa COCOTREN³⁸, mencionando la pérdida de un 6% de la superficie natural generada por el incremento de las actividades urbanas habitacionales, industriales y turísticas³⁹

El **Mapa 9** muestra cómo la cobertura vegetal se ve reducida conforme se incrementa el uso del suelo urbano y los asentamientos humanos se consolidan. Tanto en Playas

³² Matorral rosetófilo costero: Vegetación arbustiva espinosa baja con hojas en forma de roseta y cactáceas.

³³ Desde este punto de vista funcional, las dunas representan las reservas de arena de las playas, es decir, las zonas donde durante los episodios extremos, como los grandes temporales, los tsunamis, o las mareas excepcionales, el mar toma la arena y los materiales que necesita para que el perfil transversal de la playa se acomode a las condiciones más duras de la energía incidente del oleaje.

³⁴ Purer, et al,1936

³⁵ Los cordones dunares y las flechas de arena son los elementos que regulan la hidrodinámica de los estuarios, marismas y lagunas litorales, y a los que éstos deben su existencia, su interés ambiental y su biodiversidad, de las más productivas de los ecosistemas existentes.

³⁶ Pérez F, 2007, Carlos Ley Vega de Seoane, Juan B. Gallego Fernández, César Vidal Pascual, 2007 Manual de Restauración de Dunas Costeras. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas

³⁷ Serie V del 2013 que tiene año base de análisis al 2011, con satélite Lansat

³⁸ Corredor Costero Tijuana, Rosarito, Ensenada.

³⁹ Cabe señalar que, de las especies registradas en México para ambientes de duna, solo 95 especies se definen como preferentes de playas y dunas costeras. Esta baja proporción de especies (4.5%) refleja que son pocas las especies especializadas para las condiciones tan extremas de los ambientes cambiantes de las playas y dunas móviles (grandes movimientos de arena, salinidad en suelo y aire y altas temperaturas) (Espejel, I., O. Jiménez-Orocio, G. Castillo-Campos, P. P. Garcillán, L. Álvarez, S. Castillo-Argüero, R. Durán, M. Ferrer, D. Infante-Mata, S. Iriarte, J. L. León de la Luz, H. López-Rosas, A. Medel Narváez, R. Monroy, P. Moreno-Casasola, J. P. Rebman, N. Rodríguez-Revelo, J. Sánchez-Escalante y S. Vanderplank. 2017. Flora en playas y dunas costeras de México. Acta Botánica Mexicana 121: 39-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm121.2017.1290>

de Tijuana, como en el centro urbano de Playas de Rosarito y en partes altas de las subcuencas costeras, la cobertura vegetal ha cambiado significativamente. Las áreas con mayor cobertura de vegetación se ubican en las cañadas y arroyos del sur de Playas de Tijuana y la delegación de San Antonio de los Buenos en Tijuana, así como en los principales arroyos de Playas de Rosarito.

En la sección costera de las ciudades de Coronado e Imperial Beach California, la mayor disminución de vegetación se presenta en la zona urbana y extremo sur de Imperial Beach, y al norte de Coronado. A lo largo de la frontera Suroeste de San Diego y Tijuana se ubica el Valle del Río Tijuana, donde se encuentra uno de los últimos humedales costeros funcionales en el sur de California (TRNERR, 2015). A diferencia de otros ecosistemas costeros en la región que se han fragmentado o perdido por completo, el valle tiene playa contigua de dunas, marismas ribereñas y ecosistemas de tierras altas⁴⁰.

Usos del Suelo

En el área mexicana de estudio, dentro de las delegaciones de Playas de Tijuana y San Antonio de los Buenos se observa un incremento en el suelo urbano, especialmente en los sectores del Monumento, y Santa Fe.

La clasificación de usos de suelo que se reconoce en los programas parciales de desarrollo de Playas de Tijuana, y del Centro de Población de Tijuana se identifican los siguientes: Para la costa de Tijuana los usos de suelo predominantes en el área del Monumento y Santa Fe, son el predio baldío, comercios y servicios, uso habitacional, industrial, mixto, y especial. El uso del suelo industrial se localiza en zonas urbanas, sobresaliendo el municipio de Playas de Rosarito que ha centralizado la mayor parte de la infraestructura y los servicios del sector energético, representado por el centro de distribución PEMEX y la Termoeléctrica de la CFE. El uso turístico es una de las principales actividades en el municipio de Playas de Rosarito, ya que la fuente de mayor ingreso está en el comercio y los servicios turísticos.

De acuerdo con el COCOTREN, el área urbana en Playas de Rosarito consta de 2,336 hectáreas, de las cuales se destina 38.8 por ciento para vialidades, 35.7 por ciento para lotes baldíos, 17.5 por ciento para uso habitacional, 5 por ciento para uso comercial, 1.3 por ciento para uso industrial, y 1.8 por ciento para equipamiento, y aun cuando existe la identificación de superficie para su conservación, no se cuenta con mecanismos apropiados que realicen el control y monitoreo de dichos espacios a escala municipal, situación que ha feriado en la pérdida de muchos de estos espacios, lo cual en sí mismo, es ya un indicador del escaso cumplimiento de las

⁴⁰ Algunas de las especies de plantas de zonas costeras que tienen distribución en la zona de San Diego y Silver Strand son: *Atriplex leucophylla*, *Camissoniopsis cheiranthifolia*, *Calystegia soldanella*, *Verbesina encelioides*, Género *Cakile*, *Spergularia marina*, *Cotula australis*, Subfilo Angiospermae, *Erodium botrys*, *Malva arborea*, *Lobularia maritima*, *Carpobrotus edulis*, *Echium candicans*, *Eriogonum parvifolium*, *Ambrosia chamissonis*, *Chamizo Atriplex leucophylla*, *Sisymbrium irio*, *Abronia maritima*, entre las más frecuentes y reconocidas. Estos hábitats son en gran medida propiedad pública como parte del TRNERR, es gestionado por el Servicio de Administración, Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EE. UU., y El Sistema de Parques Estatales de California.

políticas en materia de protección al medio ambiente. El incremento poblacional, urbano y del turismo en los municipios del área de estudio han generado impactos ambientales negativos, siendo la calidad del agua de mar uno de los aspectos más afectados debido a la insuficiente infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, seguida de la recolección ineficiente de residuos sólidos municipales⁴¹.

Durante los últimos siete años, las partes altas de las cuencas costeras de Tijuana y Playas de Rosarito han tenido un crecimiento acelerado con procesos de urbanización y movimientos de tierra que producen volúmenes importantes de sedimentos. Éstos sedimentos se exponen a la acción erosiva del viento, emitiendo partículas que pueden ser transportadas a través de escurrimientos pluviales. Los movimientos de tierra y la apertura de nuevos caminos derivan en actividades de extracción de arenas y otros materiales pétreos que disminuyen el aporte de materiales esenciales hacia la zona costera. Por otro lado, los residuos sólidos urbanos causan impactos al paisaje y afectan la salud humana y animal, al ser ingeridos por animales como peces y aves y causar enredamientos y muertes⁴².

El surgimiento de escombreras y basureros clandestinos que predominan en las nuevas áreas de crecimiento afectan a los taludes y cañadas con vegetación, drenes de escurrimientos naturales y generando alteraciones importantes al flujo del carbono. De igual forma, la construcción de viviendas, obras e infraestructuras en la zona costera, tales como muros de contención, rompeolas, puentes, carreteras y otros similares, generan alteraciones en transporte sedimentario hacia la zona litoral, ocasionando cambios en el comportamiento de variables fisicoquímicas.

Estos aspectos representan también una carga financiera. Se estima que las ciudades de la costa Oeste de Estados Unidos gastan en promedio 500 millones de dólares anuales para eliminar la basura de las calles y vecindarios en un esfuerzo para evitar que llegue a los océanos^{43 44}.

Este proceso de ocupación del suelo y desarrollo de actividades, causa la denudación del suelo⁴⁵, se traduce en la compactación, degradación, erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Entre los factores más importantes que intervienen con dicha degradación y erosión del suelo, que incluso supera la influencia de las precipitaciones y los factores de pendiente, se encuentra la pérdida y sustitución de cobertura vegetal por otros usos del suelo⁴⁶. Indirectamente, estos procesos también tienen efecto en el incremento de zonas de riesgo, tanto por inundaciones, deslizamientos de tierras y disminución de la diversidad biológica⁴⁷. Ejemplo de ello

⁴¹ Márquez, 2013.

⁴² Boergner, 2010; Ryan, 1989; Azzarello, 1987

⁴³ Stickel, 2012

⁴⁴ El Programa de Monitoreo Regional de la Bahía del Sur de California (Programa Bight) es un programa de monitoreo de gran escala que consta de más de 60 organizaciones enfocadas en evaluar las preocupaciones ambientales emergentes o prioritarias en toda la zona costera del Sur de California. Las encuestas del Programa Bight que se realizan una vez cada cinco años, entre Punta Concepción y la frontera entre Estados Unidos y México se centran en evaluar cuestiones de interés común entre las partes interesadas.

⁴⁵ El suelo denudado es aquel que ha quedado desnudo o que ha sido privado de cubierta vegetal, haciendo que este, sea especialmente vulnerable a la pérdida de nutrientes y a la erosión, lo cual es dañino tanto para el medio ambiente como para la economía.

⁴⁶ Thornes, 1990, Kosmas et al., 1997, Wainwright y Thornes, 2004

⁴⁷ J. R. Díaz-Rivera; D. Pérez-Costa; y Rodríguez-Álvarez; J. M. Febles-González.

es que el 45 por ciento del incremento de la superficie urbana en Tijuana no ocurre conforme a lo estipulado en el Programa de Desarrollo Urbano del 2010, destacando que el 18 por ciento del crecimiento urbano se desarrolló sobre superficie determinada inicialmente como de *conservación*⁴⁸.

Para el caso de la sección costera ubicada en Estados Unidos, la caracterización de usos de suelo de la cuenca de Otay que delimita al norte nuestra zona de estudio, reconoce un componente de espacios abiertos, no desarrollados, que representan aproximadamente el 68 por ciento de dicha cuenca en su conjunto. En el área de Coronado los usos militares ocupan esta zona en un 52 por ciento, en tanto que los espacios abiertos y las tierras no desarrolladas representan 3 por ciento del área. En las áreas de *Otay Valley* y *Dulzura* dominan los espacios abiertos y las tierras no urbanizadas, con 47 por ciento y un 83 por ciento respectivamente. En cada una de esas áreas los usos del suelo residencial ocupan un 16 y 18 por ciento, seguidos de uso del transporte, industriales e institucionales. En el área de manejo de la Cuenca de San Diego Bay, se consideran los impactos por descargas MS4 en las condiciones del agua receptora (Mapa 10).

Los desarrollos privados que ocupan gran parte de la zona costera de estudio imponen cargas estructurales a dichos taludes con las edificaciones erigidas sobre rellenos artificiales. A esto se suma el manejo y mala disposición de grandes cantidades de escombros y otros residuos urbanos, que se observan dispersos a lo largo de la zona costera, aunado esto, a la erosión del oleaje de invierno, la estabilidad de taludes se puede ver comprometida. En Estados Unidos, investigadores de Scripps estudian la erosión costera en el condado de San Diego para comprender cómo los cambios en el nivel del mar, la actividad de las olas y las precipitaciones afectarán la costa. El colapso de los acantilados costeros tenderá a incrementarse debido al aumento del nivel del mar y al choque de las olas en la base de dichos acantilados, los cuales sostienen viviendas, negocios, ferrocarriles e infraestructuras carreteras.

Instrumentos institucionales de gestión costera en el área de estudio

México ha realizado grandes esfuerzos por generar avances en el manejo integrado de la zona costera. En el año 2000 el Instituto Nacional de Ecología ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) publicó *la Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera*, la cual representó un gran avance para identificar las problemáticas ecológicas, sociales y económicas que aquejan a esta

⁴⁸ IMPLAN, 2022 documento de propuesta de actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tijuana.

zona. No obstante, se omitió realizar una caracterización morfológica, hidrodinámica, ecológica, y de riesgo en la zona costera mexicana.⁴⁹

El 13 de junio del 2008, el gobierno mexicano publicó un acuerdo en el Diario Oficial de la Federación en donde se creó la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. El objetivo de esta comisión es coordinar las acciones de las dependencias de la Administración Pública Federal relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales de planeación y desarrollo sustentable de los mares y las costas del territorio nacional. En 2015, dicha Comisión publicó la Política Nacional de Mares y Costas de México, con la meta de establecer un instrumento de gestión para el ordenamiento de cuatro regiones marinas⁵⁰ adoptando la siguiente regionalización: Región I Pacífico Norte, Región II Golfo de California, Región III Pacífico Sur, Región IV Golfo de México y Mar Caribe. En el mismo año, se conformó el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC) establecido en asociación entre instituciones de investigación de distintas regiones de México, a través de CONACYT, hoy Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) del cual derivó la conformaron los observatorios de resiliencia costera de los cuales existen actualmente siete a nivel nacional, que tienen un carácter puramente académico y sin fines de lucro. Estos observatorios buscan ampliar las capacidades científico-tecnológicas de diferentes grupos de investigación en temas relacionados con la resiliencia costera del país, y en Baja California aún no se cuenta con uno, aun cuando existe en la Facultad de Ciencias Marinas, Facultad de Ciencias e Instituto de Investigaciones Oceanológicas en Ensenada, el programa de Especialidad en Gestión Ambiental en Manejo Integrado de Zona Costera.

En Estados Unidos la gestión integrada de las zonas costeras se ha impulsado desde hace más de 40 años, siendo uno de los países con mayores avances en este rubro. Desde 1972, el Gobierno de Estados Unidos promulgó la Ley relativa a la Ordenación de las Zonas Costeras (*Coastal Zone Management Act* o CZMA), la cual ha contribuido a facilitar la ordenación de las zonas en cada estado del país. Este programa es voluntario y se basa en directrices generales y flexibles, facilitando la gestión mediante el otorgamiento de fondos para la planificación y ejecución a nivel estatal. También contempla el apoyo técnico, así como la revisión y aprobación federal de los programas de cada estado, teniendo como resultado que los 35 estados costeros hayan participado en el programa y 29 de ellos desarrollaron planes aprobados a nivel federal desde comienzos de 1993.

En 1990 se establecieron dos nuevos programas: El Programa de Mejora de las Zonas Costeras, y el Programa Nacional de Estuarios (*National Estuary Program*). El Programa de Mejora de las Zonas Costeras alienta a los estados a elaborar nuevos métodos en los ocho campos que corresponden a prioridades nacionales como: protección de los humedales, mitigación de riesgos por exposición del litoral, acceso

⁴⁹ Esta omisión fue identificada también en el documento donde se publica la *Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México* (SEMARNAT, 2006).

⁵⁰ El entonces Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático en los años 2004 y 2006, desarrolló talleres con científicos para determinar el esquema de regionalización que aquí se menciona.

público al litoral, control de las repercusiones acumulativas y secundarias del desarrollo, reducción de los desechos marinos, gestión de los recursos oceánicos, gestión de zonas especiales y medidas destinadas a facilitar el aprovechamiento de energía costera y la construcción de instalaciones públicas.

Adicionalmente, la Asociación de Gobiernos de San Diego (*SANDAG* por sus siglas en inglés) creó un programa regional de monitoreo de la costa para medir los cambios en el ancho de la playa a lo largo del tiempo, documentar los beneficios de los proyectos de reposición de arena y mejorar el diseño y la efectividad de los rellenos de las playas. Este enfoque integral para monitorear la costa ha proporcionado datos valiosos para el diseño del programa regional para la Reposición Regional de Arena de Playa (*Regional Beach Monitoring Program*) de 2001 a 2012. Este programa regional de monitoreo de costas, contiene programas y acciones de inventario de hábitats cercanos a la costa, un programa de compatibilidad de arena y uso oportunista, un plan regional de manejo de sedimentos costeros y una guía de evaluación y adaptación para el aumento del nivel del mar, entre otros subprogramas y acciones. Adicionalmente, en 2008 se inició el proyecto *Shoreline Photo Monitoring*, el cual crea un registro visual de la costa de San Diego por medio de fotografías mensuales⁵¹, identificando puntos críticos de erosión⁵².

Uno de los instrumentos institucionales creados en el 2003, en el marco de la alianza por un México Sano, fue la firma del Convenio de Coordinación, con el Ejecutivo Federal y la participación de las Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (*SEMARNAT*); la Secretaría de Salud (*SS*), asistida por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (*COFEPRIS*); las secretarías de Marina (*SEMAR*) y de Turismo (*SECTUR*); la Comisión Nacional del Agua (*CONAGUA*) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (*PROFEPA*), para establecer la coordinación y colaboración para solucionar de manera integral el problema de contaminación con impacto en la actividad turística en los destinos de playa del país, dando origen al Programa Playas Limpias y los Comités de Playas Limpias. En 2006 la *SEMARNAT* estableció la Norma Mexicana de Certificación de Playas Limpias y Certificación de Calidad de Playas *NMX-AA-120-SCFI-2006* para garantizar una mejor gestión y planificación de productos y servicios turísticos con un enfoque ambiental que permitiera el aprovechamiento sostenible de las mismas⁵³. El Programa de Playas Limpias incluyó diversas acciones orientadas al saneamiento de las playas mexicanas bajo un esquema de coordinación de acciones entre la *SEMARNAT*, la *SS*, la *SEMAR*, la *SECTUR*, la *COFEPRIS*, la *PROFEPA* y la *CONAGUA* (Figura 3). Sin embargo, este Programa aún no ha logrado tener un enfoque transectorial y transdisciplinario.

En Tijuana, se instaló el Comité de Playas Limpias en Mayo del 2004. Desde entonces hasta la fecha, se han realizado 64 reuniones registradas en minutas

⁵¹ Si bien las playas cambian según la estación, siendo generalmente más anchas en verano y más estrechas en invierno, cuando se reúnen en cantidad año tras año, estas fotografías pueden ofrecer información importante que ayuda a generar orientaciones de futuras necesidades de investigación puntual.

⁵² <https://www.sandag.org/projects-and-programs/environment/shoreline-management/monitoring-program>

⁵³ Dodds & Joppe, 2005; Hansen, 2007; Esparon, 2013; Rosas et al., 2013

donde queda constancia de los acuerdos de seguimiento y acciones realizadas. En 2011, por iniciativa de la Comisión Nacional del Agua se elaboraron, a nivel nacional, los Programas de Gestión en todos los municipios costeros del país, incluyendo en Tijuana, donde se elaboró dicho programa en mayo de ese año. Sin embargo, no se ha contado en ningún momento con un presupuesto aprobado ni mecanismos de evaluación. El Programa de Gestión mencionado cumplió su período de vigencia de 10 años y se está en espera que la CONAGUA inicie su actualización. Dicho programa enuncia la elaboración de diversos estudios, entre los que se encuentran el monitoreo de erosión, sin embargo, estos estudios no se han realizado por falta de asignación presupuestal⁵⁴.

La irregularidad de las reuniones y el constante cambio de titulares de las dependencias miembro del Comité de Playas Limpias de Tijuana ha impedido el seguimiento de compromisos, obstaculizando la efectividad de los instrumentos de gestión de la zona costera, incluyendo las cuencas vertientes que guardan relación con las problemáticas señaladas⁵⁵. Si bien en 2019 se presentó una propuesta para diseñar un protocolo de atención a contingencias ambientales para las playas en Tijuana, esta se encuentra aún pendiente de ser aprobada. En cuanto a la vigilancia de la calidad del agua de mar, la Secretaría de Marina y COFEPRIS realizan como parte de sus actividades trabajos de muestreo de la calidad de las aguas en zonas costeras y playas recreativas de la región.

En el caso de Estados Unidos existe una Estrategia de Preservación de la línea costera de la Región San Diego (Shoreline Preservation Strategy for the San Diego Región) que data desde 1993, integrada por SANDAG en donde se reconoció la zona de la costa entre México y Estados Unidos como un zona crítica. Como parte de esta estrategia se estableció el Comité de Erosión Litoral de SANDAG, integrado principalmente por funcionarios de las jurisdicciones costeras de la región. Alrededor de dicha estrategia se identifican otras vías de acción, como el Grupo de Trabajo de Preservación de la Costa⁵⁶ que asesora sobre la preservación de la costa, la reposición de playas y el monitoreo de la zona costera.

⁵⁴ Entre los estudios en agua marina y playas sobre contaminación fecal a nivel mundial, destacan los trabajos, de Epstein & Rappaport (1996), Boesch & Paul (2001), Prieto (2001), WHO (2001; 2003), Turbow (2003), Aranda (2004), Fleming (2006), Fleming & Laws (2006), UNEP (2006), Martínez (2007), Kite-Powell (2008), UNEP-GEMS (2008). Autores mexicanos han contribuido a la temática, como Delgadillo & Orozco (1987), Ortiz & Sáenz (1997), Aranda (2001), Enríquez (2003), Barrera & Wong (2005), Muñoz (2005), Ortiz (2005), Wong & Barrera (2005), de la Lanza (2006), Orozco (2006), Silva (2007a, 2007b), Figueroa (2007), Arreguín & Mejía, 2010; Flores (2011), González (2011), entre otros.

⁵⁵ En la figura 4, se presenta un árbol de problemas elaborado por dicho comité

⁵⁶ Este Grupo de Trabajo depende del Comité de Planificación Regional, que a su vez depende de la Junta Directiva de SANDAG.

Por otro lado, el documento Coastal Resilience in the Baja California-San Diego Region, An Assessment of Science Assets, Gaps, and Priorities, identificó alrededor de 254 representantes de distintas afiliaciones vinculadas a temas costeros, de los cuales 57% trabajan en el condado de San Diego y el 43% en Baja California, ello habla del gran capital institucional que existe en ambas partes de la frontera que pueden potencializar los esfuerzos y procesos de colaboración para hacer más efectivo el conocimiento de la problemática costera.

Problemática regional de la contaminación costera

Durante décadas, los problemas de calidad del agua han sido causa de diversos impactos ambientales y de salud pública con implicaciones económicas y políticas en ambos lados de la frontera. Las aportaciones de aguas residuales vertidas al Océano Pacífico provienen principalmente del río Tijuana y la PTAR de Punta Bandera, así como de los puntos de descarga descritos en el [Mapa 11](#). La falta de infraestructura para recuperar y tratar las aguas residuales provoca que contaminantes entren al Estuario del Río Tijuana, por medio de cañones y del río Tijuana.

En el mes de febrero de 2017 se suscitó un derrame de aguas residuales de gran magnitud hacia el Río Tijuana y que cruzó la frontera hacia los Estados Unidos. Este derrame fue provocado por el colapso de uno de los principales colectores del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Tijuana. Esto motivó a que, en el marco del Acta 320, la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) publicara un informe sobre lo sucedido, con recomendaciones y medidas para mitigar la descarga de aguas residuales no tratadas hacia el Río Tijuana (CILA, 2020).

Entre diciembre de 2018 y febrero de 2019 ambas secciones de la CILA desarrollaron un Programa Binacional de Monitoreo para recolectar muestras y analizar la calidad del agua del Río Tijuana y drenes transfronterizos adyacentes durante un año⁵⁷. En este programa se analizaron parámetros como: metales, orgánicos y patógenos en agua y sedimentos. La toma de muestras se realiza trimestralmente en los cañones que drenan al Río Tijuana y de manera mensual en el Río Tijuana y en el Arroyo Alamar, tanto en México como en Estados Unidos. Las muestras de agua y sedimentos establecieron una *línea base* en condiciones normales durante clima seco, antes y después de los eventos de precipitación, así como durante eventos de

⁵⁷ De los resultados obtenidos, correspondientes a los meses de lluvias de diciembre de 2018 a febrero de 2019, se detectaron niveles altos de bacterias y de parámetros típicos presentes en las aguas residuales de origen doméstico. La mayoría de los parámetros restantes no fueron detectados.

descarga o derrames hacia el Río Tijuana o hacia los cañones y drenajes afluentes a este (CILA, 2017).

En el último informe de 2019 de la CILA, las playas del condado de San Diego recibieron un total de 118,936 galones de aguas residuales, números inferiores a los reportados en playas de otros condados de California también con grandes áreas urbanas, como Los Ángeles (1,300,000 gal), Contra Costa-Alameda (2,500,000 gal), Marín (247,861 gal), Sonoma (2,800,000 gal) y San Mateo (155,107 gal)⁵⁸. Mientras que en el área estadounidense de estudio, las descargas de aguas residuales tratadas se realizan regularmente por emisores submarinos⁵⁹ (Bascom, 1982), en Tijuana y Rosarito las descargas se realizan directamente sobre la línea de costa. En el [Mapa 11](#) se muestra la localización de algunos de los puntos de descarga de aguas residuales localizadas a lo largo del área de estudio, tanto del lado mexicano como en los Estados Unidos.

Infraestructura, equipamiento y servicios públicos

La recolección de aguas residuales en México ha representado un tema de gran relevancia en lo referente a la contaminación binacional costera. El crecimiento urbano de Tijuana ha tenido un repunte en los últimos años debido al fenómeno migratorio, el crecimiento industrial y el alza en las rentas en California. Esto ha incrementado la demanda de agua potable y mayores volúmenes de aguas residuales. Se realizó una estimación del consumo per cápita de agua potable en el área mexicana de estudio con datos de INEGI, 2020⁶⁰ obteniendo un dato de 225 litros per cápita al día, al cual se le aplica un factor de generación de aguas residuales de 0.80, lo cual se obtiene un dato de generación per cápita diaria de 180 litros de aguas residuales para la sección mexicana del área de estudio.

Por otro lado, dentro del área de estudio, se encuentran asentamientos irregulares en diversas cañadas y terrazas costeras, en donde existe una cobertura parcial de infraestructura sanitaria, lo cual tiene repercusiones importantes en la zona costera. Las proyecciones oficiales del crecimiento de la población sirven de referencia para prever necesidades futuras de infraestructura en materia de gestión y tratamiento de aguas residuales, en la [Tabla 1](#) se refieren las proyecciones de crecimiento poblacional de Tijuana.

⁵⁸ Boletín Sobre los Asuntos Transfronterizos de la Cuenca del Río Tijuana, CILA, Volumen 11, Julio 2019. <https://healthebay.org/>

⁵⁹ En dichas descargas, se incluyen las correspondientes a la planta de tratamiento de aguas de Point Loma, ubicada cerca de la zona fronteriza. Antecedentes de estudio sobre contaminación de aguas costeras del sur de California, señalan que las partículas en suspensión de las aguas residuales se acumulan en los sedimentos (Katz y Kaplan, 1981; Schmidt y Reimers, 1991; Huh et al., 1992), Martín et al. (1988).

⁶⁰ De acuerdo con estudios realizados sobre la elasticidad de la demanda de agua de Tijuana con otros factores determinantes del consumo, señalan que, ante un aumento en el ingreso real, la demanda de agua aumentará. Estableciendo que el agua se comporta como un bien normal, que indica que cuando el ingreso per cápita se incrementa, también lo hace la demanda de agua, tanto en los sectores residencial e industrial (Mayorga, Salazar y Flores, 2021).

Tabla 1. Proyección de crecimiento poblacional de sectores urbanos de Tijuana, IMPLAN 2022.

Delegación Municipal	Sector Urbano	2020	2025	2030	2040
Playas de Tijuana/ San Antonio de los Buenos	Playas de Tijuana	144,467	179,803	200,489	247,759
	El Monumento	19,810	20,010	20,668	20,828
	San Antonio del Mar	20,372	20,433	20,626	21,419
	San Antonio de los Buenos	141,033	143,867	145,022	148,282

Fuente: IMPLAN, 2022

Las proyecciones estimadas de generación de aguas residuales a partir de datos de población y consumo de agua al 2020 permiten una estimación lineal de generación de aguas residuales, señalada en el [Tabla 2](#)⁶¹. Las necesidades de infraestructura han ido incrementando en los municipios de Tijuana y Playas de Rosarito. En respuesta, el Gobierno del Estado de Baja California a través de la CESPT desarrolló en 2017 el Plan Integral de Saneamiento y Reúso del Agua en Tijuana y Playas de Rosarito que establece las directrices y fuentes de financiamiento a corto, mediano y largo plazo para fortalecer los sistemas de alcantarillado sanitario, tratamiento y reuso sustentable del agua residual tratada.

Tabla 2: Proyecciones de generación estimada de aguas residuales en la zona de estudio, con base en datos de población 2020.

Sección Costera	Población Costera 2020	Consumo promedio de agua (m3/día)	Volumen promedio de aguas residuales (m3/día)
Tijuana	74,586	16,781.85	13,471.3
Playas de Rosarito	11,160	2,511	2,008.8
EUA	52,024	16,127.44	12,586.38

⁶¹ Para los Estados Unidos, la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), establece que cada estadounidense usa un promedio de 82 galones por día (310.40 l/hab/día) (EPA, 2022). Para fines comparativos, para este trabajo, se tomará el mismo factor de generación de aguas residuales para Estados Unidos, aunque este podría ser mayor o menor, debido a las diferencias de tecnologías, regulaciones y nivel de cumplimiento exigible en términos de descargas, o políticas de control para la reducción del consumo de agua potable, entre otras, y que, para este estudio, no se tomaron en consideración.

Total	137,770	10,103.475	8,082.78
--------------	----------------	-------------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia con base en datos de población y datos de consumos de INEGI, 2020.

Aunque los resultados de estas proyecciones parecen similares para el caso de Tijuana y Estados Unidos, sin embargo, existen diferencias importantes en términos de dotación per cápita de agua, teniendo en cuenta que tanto el nivel socioeconómico como el nivel de acceso a servicios básicos es mayor en Estados Unidos y también el gasto promedio per cápita diario; ⁶² el diferencial de población en ambos lados de la zona de estudio, pareciera homologar estas cifras, por lo que en una estimación más precisa, habría que considerar estas diferencias.

En ambos lados, a pesar de que se ha promovido la instalación de sistemas privados de tratamiento de aguas residuales que den servicio a fraccionamientos y/o empresas particulares, que ayuden a quitar presión sobre la infraestructura instalada, la falta de disponibilidad de datos tanto de la capacidad de los sistemas privados, como de su condición operativa real, no permiten establecer más claramente la suficiencia de la infraestructura. En el área binacional de estudio, los sistemas de control y tratamiento de aguas residuales utilizan los drenes naturales de aguas superficiales para conducir las descargas tratadas. La Junta Estatal de Agua de California (o *State Water Resources Control Board*), ha identificado brechas específicas de datos e información limitada acerca de la operación de los sistemas pequeños para tratamiento de agua en EE. UU.

En el caso de México, aún cuando se cuenta con un importante número de plantas de tratamiento de aguas residuales, esto no se puede traducir en un indicador de mayor capacidad de control de descargas; esto se debe a que las PTAR carecen del mantenimiento que garantice su funcionamiento adecuado, teniendo como consecuencia una infraestructura deficiente que no opera con base a los criterios del organismo operador CESPT. Al respecto, el propio organismo ha señalado la necesidad de que dichos sistemas operen con base en los criterios de esta institución, pero se carece de un mecanismo de apoyo que permita mayor incentivación y mejora de estas infraestructuras.

La falta de mantenimiento de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial que descargan en la playa, ocasionan el deterioro de los taludes. Estos últimos están siendo paralelamente impactados por la ocupación de la zona federal marítima terrestre o frente de playa de Tijuana, como resultado de la falta de un ordenamiento territorial carente de vigilancia adecuada.

⁶² Para este cálculo tomó como base para este cálculo el dato más alto ofrecido por la EPA que refiere 82 galones/hab/día, equi valentes a un gasto de 310.404 litros/ hab/día.

Necesidades de infraestructura de saneamiento

En el área mexicana de estudio, el servicio de agua potable y saneamiento está a cargo de la CESPT, quien opera en Tijuana y Playas de Rosarito los sistemas de conducción de aguas residuales, PTAR, tanques de regulación y cárcamos de bombeo, entre otros. Un problema registrado desde 2015, es la deficiencia en la operación de la PTAR Punta Bandera (PTAR PB) ubicada en Tijuana. La PTAR PB tiene una superficie de 127 hectáreas. Inició operaciones en 1987 y fue diseñada para tratar 750 litros por segundo (lps) con un sistema de tratamiento de lagunas aireadas con difusores de burbuja gruesa. En 2003 se incrementó su capacidad a 1,100 lps, cambiando su sistema a uno de aireadores superficiales. Un análisis funcional y físico realizado por CESPT en 2010, muestra que el funcionamiento no era adecuado, concluyendo que la eficiencia de remoción estaba muy por debajo de lo requerido, ocasionando severos problemas ambientales en ambos lados de la frontera.

Además de la PTAR PB se cuenta con infraestructura adicional que apoya la conducción, tratamiento y descarga del agua residual en la zona costera. Dicha infraestructura consiste de 17 cárcamos de bombeo en la zona costera, 8 colectores y 4 sub colectores, interceptores y un emisor costero de 18.5 km y 13 líneas de impulsión en lo que corresponde a la zona costera de Tijuana. La Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales (PITAR) opera para México y Estados Unidos, con una capacidad de 1,100 lps.

En el área mexicana de estudio se identificaron en total 22 PTAR de un total de 38 que se tienen en la región; de las cuales 20 en Tijuana, incluida la Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales; y 2 más en Rosarito (Tabla 3 y 4)^{63 64}. De estas, 13 PTAR de menor capacidad⁶⁵ de tratamiento, en su mayoría operadas por desarrollos urbanos privados asentados a lo largo de la zona costera, las cuales obedecen a las necesidades de saneamiento de cada desarrollo. No obstante, estas 13 PTAR de menor capacidad no forman parte de un plan integral del sistema de drenaje⁶⁶ de la CESPT, sino que han sido “soluciones” aisladas con poco control operativo y casi nulo monitoreo de la calidad de su efluente. La ubicación de estas 13 plantas particulares localizadas en la sección costera de estudio, se muestran en el Mapa 12. En el caso de Playas de Rosarito se encuentran en operación dos PTAR: PTAR Rosarito y PTAR Rosarito Norte, ambas con una capacidad de 210 lps. La primera recibe las aportaciones de la zona centro y zona este del municipio y la segunda las aportaciones de las colonias localizadas al norte y noreste del municipio. El efluente tratado en la PTAR Rosarito es descargado mediante un

⁶³ Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento del 2021 de CONAGUA

⁶⁴ Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Playas de Rosarito 2021-2040 (PDUUP-PR 2021-2040).

⁶⁵ Otras PTAR operadas por CESPT que no aparecen en el Inventario Nacional del 2021, son: PTAR Refugio Quintas Campestre, PTAR Vista del Valle, PTAR Centro de Rendimiento de UABC, PTAR la Cúspide, PTAR Parque Industrial Pacífico, PTAR Samsung, PTAR Hacienda las Fuentes I y II, y PTAR Valle Sur I y II, las cuales, se ubican fuera de la zona de estudio.

⁶⁶ Para que las plantas de tratamiento de aguas residuales, funcionen adecuadamente, es necesario que se realice una planeación detallada, que no omita ningún aspecto relevante en las fases de diseño y que la información base usada, sea revisada y validada, buscando con esto que la planta de tratamiento diseñada, construida y finalmente en operación, pueda soportar las variaciones en cantidad y calidad del agua residual que ingresa a la planta de tratamiento, y desde luego que sea capaz de producir un efluente con la calidad establecida en el diseño y acorde al tipo de reúso y/o aprovechamiento considerado, en la planeación (CESPT, 2017).

emisor submarino al Océano Pacífico, mientras que PTAR Rosarito Norte descarga a través del arroyo del mismo nombre.

Actualmente se está construyendo la primera etapa del *Colector Costero*, un proyecto de infraestructura que captará y conducirá el agua residual de los asentamientos de la zona costa a lo largo de la carretera escénica Tijuana-Playas de Rosarito hasta la PTAR Rosarito Norte.

Tabla 3: Plantas de tratamiento localizadas en la zona de estudio, Dic - 2021

	Municipio	Localidad	Nombre de la planta	Proceso	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor o reúso	Responsable de la operación
1	Playas de Rosarito	Playas de Rosarito	Rosarito 1	Lagunas aireadas	120.0	73.2	Descarga submarina	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
2	Playas de Rosarito	Playas de Rosarito	Rosarito Norte	Lodos activados (convencional)	210.0	74.8	Arroyo sin nombre	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
3	Tijuana	Tijuana	PITAR	Lodos activados (convencional)	1100.0	1086.2	Océano Pacífico	Comisión Internacional de Límites y Agua Secc. EUA.
4	Tijuana	Tijuana	PTAR Punta Bandera, San Antonio de los Buenos	Lagunas aireadas superficiales	1100.0	1230.8	Arroyo Sa Antonio de los Buenos y Océano Pacífico	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
5	Tijuana	Tijuana	San Antonio del Mar	Lodos activados (convencional)	2.5	4.0	Océano Pacífico	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
6	Tijuana	Tijuana	Santa Fe	Lodos activados (convencional)	19.0	18.0	Arroyo sin nombre	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
7	Tijuana	Tijuana	Pórticos de San Antonio	Lodos activados (convencional)	15.0	3.0	Arroyo sin nombre	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
8	Tijuana	Tijuana	Las Maravillas	Lodos activados (convencional)	40.0	24.3	Arroyo sin nombre	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)
9	Tijuana	Tijuana	Natura 90	Lodos activados (zanjas de oxidación)	90.0	15.0	Arroyo Rosarito	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)

Fuente: Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2021

Tabla 4. Plantas de tratamiento operadas por particulares en la sección costera de Tijuana

Diagnóstico de Erosión y Contaminación por Aguas Residuales en la zona costera de Tijuana-San Diego

	Municipio	Localidad	Nombre de la planta	Proceso	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor o reúso	Responsable de la operación
1	Tijuana	Real del Mar	PTAR Real del Mar	S/D	24.0	S/D	Reúso campo de golf	Opera Fraccionador
2	Tijuana	Lomas del Mar	PTAR Lomas del Mar	S/D	1.4	S/D	Arroyo sin nombre	Opera Fraccionador
3	Tijuana	La Joya	PTAR Parque Industrial la Joya	S/D	0.5	S/D	Pequeña laguna de recepción	Parque Industrial la Joya
4	Tijuana	COLEF	PTAR COLEF	S/D	0.4	S/D	Reúso áreas verdes	COLEF
5	Tijuana	Santa Fe	PTAR Real de la Gloria	S/D	0.1	S/D	Arroyo sin nombre, Océano Pacífico	S/D
6	Tijuana	San Antonio de los Buenos	PTAR Jibarito	S/D	1.2	S/D	Arroyo San Antonio de los Buenos, océano Pacífico	S/D
7	Tijuana	Bella Vista	PTAR Bella Vista	S/D	S/D	S/D	Reúso áreas verdes	Opera Fraccionador
8	Tijuana	Hacienda del Mar	PTAR Hacienda del Mar	S/D	S/D	S/D	S/D	Opera Fraccionador
9	Tijuana	Los Delfines	PTAR Los Delfines	S/D	S/D	S/D	S/D	Opera Fraccionador
10	Tijuana	Brisas del Mar	PTAR Brisas del Mar	S/D	S/D	S/D	S/D	Opera Fraccionador
11	Tijuana	Playa Blanca	PTAR Playa Blanca	S/D	S/D	S/D	Océano Pacífico	Opera Fraccionador
12	Tijuana	Baja Marabú	PTAR Baja Marabú	S/D	S/D	S/D	S/D	Opera Fraccionador
13	Tijuana	Rancho del Mar	PTAR Rancho del Mar	S/D	S/D	S/D	S/D	Opera Fraccionador

Fuente: Elaboración propia con base en CESPT* e IMPLAN 2018. *<https://implantijuana.gob.mx/mapa#close>

Cabe resaltar que dichas plantas de tratamiento de aguas residuales, aun cuando presentan problemas de eficiencia actualmente, constituyen un soporte descentralizado importante para cubrir el déficit de tratamiento que se tiene en áreas de menor densidad poblacional. Además del déficit de cobertura que se tiene en algunos sectores de la ciudad y de la zona costera en particular. También existe un problema con respecto a la antigüedad de la red, que afecta su funcionamiento y capacidad, que dificulta la planeación de nuevas instalaciones y la vigilancia de los sistemas de tratamiento. Esta vigilancia de funcionamiento de las PTAR, depende totalmente de la CESPT, quien al no contar con recursos presupuestales suficientes, se ve impedida a cumplir con esta tarea. Se hace necesario considerar esquemas orientados hacia una mayor descentralización operativa, y no considerar

únicamente los temas vinculados a la infraestructura instalada, sino a la capacidad administrativa y de respuesta.

Para el caso del área de estudio en Playas de Rosarito, la infraestructura para el desalojo y saneamiento de aguas residuales está conformada por el sistema de tratamiento Rosarito Norte. Ésta es una planta de tratamiento por lodos activados que consiste en una serie de plantas de tratamiento modulares independientes e integradas, con una capacidad de tratamiento total de 210 lps, operando con una capacidad de 120 lps. La construcción de este sistema permitió ampliar la capacidad de la planta de tratamiento Rosarito I en Playas de Rosarito, así como modernizar la planta para generar un efluente que cumpliera con la norma oficial mexicana para agua de reuso no apta para consumo humano. Esta planta cubrirá en un futuro, el volumen de agua proveniente del flujo adicional del colector costero de Tijuana, el cual aún no se construye.

Por otro lado, aun con la existencia del sistema de tratamiento mejorado, algunas industrias, comercios, servicios realizan descargas clandestinas, y los sistemas de tratamiento particulares continuamente están fuera de operación, ocasionando la presencia de descargas de aguas crudas al mar. Lo anterior ha provocado una contaminación puntual importante en las playas del municipio de Playas de Rosarito, evidenciadas por el fuerte olor a agua residual. Para disminuir el problema actual de las descargas se realiza actualmente la cloración del agua. Sin embargo, es deseable establecer métodos más adecuados que no generen impactos en la biota marina⁶⁷.

Monitoreo de calidad del agua de mar en el área de estudio

Desde la creación del Programa Playas Limpias, México utiliza un manual rector instituido por la COFEPRIS, la SEMARNAT y la SS para determinar la calidad del agua de las playas que son de uso recreativo⁶⁸. El manual aplica el método de muestreo directo en la costa, utilizando el indicador bacteriológico *enterococcus faecalis*⁶⁹. Éste indicador fue adoptado por la Secretaría de Salud en México desde 2010 y se le reconoce como el más eficiente a nivel mundial para determinar la calidad del agua de mar. Se aplica debido a que la bacteria *enterococcus* es más resistente a condiciones

⁶⁷ Véase sección de análisis de resultados de monitoreo de calidad de agua, y concentración de cloro residual, en este mismo estudio.

⁶⁸ <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/845894/>

⁶⁹ El *E. faecalis* es una bacteria que forma parte del microbiota gastrointestinal en humanos y animales, y se usa como indicador de contaminación fecal en los análisis de calidad de agua, lo que permite predecir los riesgos en la salud humana ante la exposición de aguas contaminadas (Sinclair et al., 2012). Enfermedades como gastroenteritis y respiratorias, conjuntivitis y dermatitis, entre otras, asociadas con los bañistas están directamente relacionadas con los niveles de contaminación fecal (SS-COFEPRIS, 2013).

con altas concentraciones de sal que los coliformes fecales y también por su capacidad de crecer en un pH mayor a 9.6 y 10, y temperaturas entre 10 y 45°C. El indicador señala un *nivel sustentable* cuando es menor o igual a 100 (número más probable en una muestra de 100 mililitros - nmp/100), un nivel inadecuado cuando está en un rango de 101-199 nmp/100 y, se considera *riesgo sanitario* cuando está por encima de los 200 nmp/100.

De acuerdo al Manual de Organización y Operación del Comité de Playas Limpias en México, la Secretaría de Salud de los estados es la autoridad responsable de monitorear la calidad del agua de mar. En Baja California, la Secretaría de Salud designa a la Comisión Estatal de Prevención contra Riesgos Sanitarios (COEPRIS) para monitorear mensualmente 11 puntos en Tijuana y Playas de Rosarito. Adicionalmente, la CESPT lleva a cabo monitoreos semanales de la calidad de agua de mar desde hace 30 años en 6 puntos en Tijuana y Playas de Rosarito. Sin embargo la información se hace pública solo hasta el 2008, utilizando tres indicadores (*enterococcus faecalis*, coliformes totales y coliformes fecales), mismos que se publican hasta después de una semana. Los resultados de dichos monitoreos se pueden revisar en el capítulo 2 sobre el análisis de monitoreo de calidad de agua costera, que se integra como parte de este mismo proyecto.

En 2014, Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental (PFEA), en el marco del programa Tijuana *Waterkeeper*, inició un programa ciudadano de monitoreo de la calidad del agua costera en la Delegación de Playas de Tijuana con el propósito de contrastar los datos oficiales de calidad de agua costera, revisó los resultados del 2015 al 2024 del análisis de agua obtenido en cinco sitios de Playas de Tijuana: El Faro, Parque México, Cañada Azteca, El Vigía y Playa Blanca, por PFEA y COEPRIS. Estos resultados han sido generados por PFEA en forma paralela a los muestreos oficiales el mismo día y hora, utilizando la prueba Enterolert, para detectar enterococos. Los gráficos muestran variaciones estacionales, con incrementos en los periodos de verano e invierno. En el caso de los resultados de invierno, estos suelen estar asociados a la ocurrencia de lluvias y/o tormentas que incrementa el arrastre de material terrestre (sedimentos arcillosos)⁷⁰. Una hipótesis es que estas variaciones podrían ser causadas por diluciones a las aguas residuales o por procesos de cloración. Estos aspectos suelen perderse de vista al realizar promedios anuales.

Por otro lado, los datos presentan una tendencia de incremento considerable en algunos de los parámetros biológicos monitoreados, lo cual se muestra distinto al patrón que se había venido presentando en años anteriores, aunque en todos los casos, están fuera del rango aceptable, especialmente en el caso de Playa Blanca, que, en 2018, su condición dio lugar a una declaratoria de riesgos a la salud, condición que se mantiene aún en altos niveles de contaminación.

⁷⁰ Existe una estrecha relación entre la concentración de los sólidos suspendidos y la calidad del agua, debido a su capacidad de adsorción de contaminantes como plaguicidas, metales pesados y nutrientes, al control que ejercen sobre la turbiedad del agua y a su absorción de calor que aumenta la temperatura del agua (Dagne et al., 2005; INVERMAR, 2011).

Los resultados de los 9 años de monitoreo muestran resultados consistentes en términos de establecer que el agua está contaminada, lo que implica riesgos y restricciones que no permiten un uso seguro de las playas. Sin embargo, otros parámetros que también son registrados durante los monitoreos, como el oxígeno disuelto, los sólidos suspendidos totales, y la temperatura, entre otros, no han sido correlacionados con variaciones en los datos que quizá tengan influencia en el incremento estacional de los parámetros biológicos. Pudiera ser significativo que dichos parámetros presentan valores más elevados hacia los meses de primavera, y finales de otoño, presentando diferenciales a lo largo de la costa, que pueden estar influenciados por anomalías térmicas que se presentan mayormente asociadas con eventos de la condición conocida como El Niño, y otros fenómenos climatológicos.

Asegurar que el agua de mar cumpla los parámetros de calidad⁷¹ para uso recreativo es fundamental para garantizar la protección de la salud de las comunidades humanas y no humanas que habitan y visitan las playas. Este aspecto es de especial interés para el sector turístico, dado que es un requerimiento que las playas cumplan con los estándares mínimos establecidos en la normatividad aplicable.

En Coronado e Imperial Beach California, el monitoreo de la calidad en una masa de agua se rige por la Política de control de calidad del agua, y el Plan de mejora de la calidad del agua (WQIP, por sus siglas en inglés) de la *San Diego Bay* (SDB, por sus siglas en inglés). Para la determinación de una zona deteriorada, se aplica la Sección 303(d) de la Ley de Agua Limpia de California, y las Juntas de Agua Estatales y Regionales evalúan los datos de calidad del agua de California cada dos años para determinar si contienen contaminantes y vigilar que no se excedan los niveles y estándares de protección de la calidad del agua. Esta evaluación bienal es requerida según la Sección 303(d) de la Ley Federal de Agua Limpia. Por su parte, la Unidad de Estándares Oceánicos es responsable de desarrollar y actualizar los planes y políticas estatales que involucran aguas marinas, y brindar apoyo científico y coordinación interinstitucional con respecto a la contaminación marina y la gestión de recursos, mediante el establecimiento de objetivos de calidad del agua y disposiciones de implementación en planes y políticas de control de calidad del agua a nivel estatal. Los planes y políticas de estándares oceánicos incluyen: el Plan de Control de la Calidad del Agua para las Aguas Oceánicas de California (Plan Oceánico); el Plan de Control de la Calidad del Agua para el Control de la Temperatura en las Aguas Costeras e Interestatales y en las Bahías y Estuarios Cerrados de California (Plan Térmico de California); y la Política de Control de la Calidad del Agua en el Uso de Aguas Costeras y Estuarinas para el enfriamiento de Centrales Eléctricas.

Como parte de los requisitos del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES), el Programa de Monitoreo Oceánico (OMP) de la ciudad, se deben informar todos los resultados de monitoreo, control de calidad e inspección

⁷¹ La calidad del agua, es un término que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. Esta describe tanto la composición del agua como la medida en que es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades antropogénicas. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua varían dependiendo de la actividad a la cual es aplicada (Montoya, 2008; Severiche, 2013, citado en Campo y Salcedo, 2016).

de emisarios a la Junta Regional de Control de Calidad del Agua de San Diego y a la EPA de EE. UU. Estos resultados se ponen a disposición del público a manera de reportes mensuales y anuales, informes de control de calidad, informes de inspección de emisarios, entre otros, los cuales se ponen a disposición en distintas páginas web donde publican los datos⁷².

Los resultados de los monitoreos históricos realizados en las playas del Condado de San Diego muestran fluctuaciones diarias, estacionales y anuales, que pueden entenderse como producto de diversos factores, entre los que se considera al movimiento de flujos transfronterizos que son comunes en los meses de verano, que mueven los contaminantes hacia el norte a través de la frontera internacional, contribuyendo a incrementar los niveles de bacterias que se encuentran en el agua, y ocasionando el cierre de playas en el sur del condado. Debido a que las poblaciones de estas bacterias indicadoras (coliformes totales, coliformes fecales, E. coli, enterococos) no persisten en el medio ambiente durante un período prolongado, los efectos son relativamente de corta duración. Por lo tanto, tener muchos datos históricos de bacterias indicadoras, no necesariamente es un indicador de los riesgos actuales para la salud humana y sobre todo cuando se dispone particularmente de datos más recientes para evaluar de forma suficientemente el estándar de calidad del agua. Por otro lado, los resultados de estos monitoreos históricos muestran una tendencia clara hacia una mayor frecuencia de datos elevados, comparativamente con datos más antiguos, así como la prevalencia de datos reiteradamente fuera de la norma en ciertas áreas en específico de la zona costera, los cuales mantienen el monitoreo de datos (véase Anexo de datos de resultados de monitoreo en San Diego).

Un aspecto a resaltar, es que durante el 2023 el Departamento de Calidad de Salud Ambiental de San Diego inició la implementación de una prueba de calidad de agua recién aprobada en el mes de mayo. La prueba utiliza ddPCR, un tipo de análisis genético que nos ayuda a identificar bacterias indicadoras de contaminación fecal (BICF). Además de proporcionar datos de manera más rápida, estas pruebas están mostrando concentraciones más altas de BICF. La nueva metodología ofrece 150 parámetros, los cuales no serán comparables con el método utilizado anteriormente, lo que ha tenido algunas críticas.

⁷² https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/water_quality_assessment/#impaired;
https://mywaterquality.ca.gov/safe_to_swim/interactive_map/#

Control de erosión en el área de estudio

En el área mexicana de estudio existe poca investigación sobre la erosión costera. Las investigaciones a nivel nacional⁷³ describen los suelos y sus índices de erosión, pero la complejidad y el balance entre procesos pedogénicos y morfogénicos a nivel regional y local no permiten identificar el nivel de transformación que deriva de los procesos de urbanización. A nivel local, no se identificaron estudios que analicen los efectos de la urbanización en las subcuencas y microcuencas hídricas⁷⁴ las cuales se vinculan directamente con el incremento de los aportes sedimentarios. A esto se suma que la infraestructura de control (vasos sedimentadores) instalada a lo largo de las cuencas hidrológicas, pueden llegar a influir significativamente en los aportes de sedimentos y en la estabilidad del sistema de celdas litorales de la zona costera⁷⁵.

En contraste con lo señalado, la erosión a lo largo de Imperial Beach ha sido documentada desde 1937⁷⁶. Las estimaciones de United States of America Army Corps of Engineers (USACE) han colocado la tasa de erosión anual entre 4.7 y 6.5 pies/año⁷⁷. Con el incremento de asentamientos humanos en el área estadounidense de estudio han aumentado las actividades de comercio, industria, pesca y turismo, interfiriendo en el movimiento y transporte libre de sedimentos a lo largo de ésta. También se han construido escolleras en un esfuerzo por combatir la erosión después de eventos agudos de tormenta. En la figura 20 se observa cómo se ha colocado estas infraestructuras de protección contra el problema de erosión de línea costera en Estados Unidos ⁷⁸.

Por otro lado los propietarios que residen en la zona costera de Coronado e Imperial Beach han edificado estructuras de protección de manera individual en un intento de proteger su propiedad, lo que dio lugar a intervenciones por parcela. Se han identificado al menos 83 estructuras con una amplia variedad de formas de blindaje

⁷³ La información sobre la erosión de suelos en México tiene antecedentes importantes, pero no existen muchos trabajos de actualización como el realizado en 2011, por Montes-León y colaboradores, para la actualización del Mapa Nacional de Erosión Potencial, en el cual se utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, determinando una condición de extrema de erosión para Baja California > 250 ton/ha/año. Por otro lado, está el mapa de erosión editado para el continuo Nacional, escala 1:50.000, elaborado por SAGARPA-INEGI-CONAFOR-COLPOS en julio de 2016; en donde se refiere una condición de erosión extrema en zonas de asentamientos humanos, debido a que la mayor parte del suelo superficial ha sido removido por obras de construcción o ha sido sepultado bajo una capa de concreto (Bolaños G, 2016).

⁷⁴ La evaluación de la distribución espacial de las tasas de erosión hídrica y su relación con las unidades de suelo y rasgos geomorfológicos y estructurales, son temas que no han sido objeto de análisis, por lo que no se sabe cómo contribuye la distribución de los tipos de suelo y los rasgos geomorfológicos, sobre la distribución de dichas tasas de erosión, dentro de cada una de las cuencas de drenaje.

⁷⁵ Las arenas suministradas a la costa se controlan por medio de 3 presas: Presa Morena, Presa Barrett y Presa Rodríguez, estas represas incautaron aproximadamente el 70% de toda el área de la cuenca drenando a través del río Tijuana (Patsch y Griggs 2007) y se estima que han reducido el suministro de arena en un 49% (Willis y Griggs 2003). Como las fuentes de sedimentos han sido bloqueadas, debido a la construcción de presas, escombros y embalses a lo largo del río Tijuana, las tasas de erosión en Imperial Beach han aumentado, lo cual en los últimos años ha provocado la necesidad de aportar sedimentos de manera artificial a las playas. (City of Imperial Beach Sea Level Rise Assessment 2016).

⁷⁶ Inman 1976.

⁷⁷ Estas tasas se ven complicadas por la periodicidad de ciclos de alimentación y grandes eventos de erosión que han caracterizado este litoral. Una tormenta en particular en 1988 con una altura de 7,5 pies, las mareas y las olas de 20 pies resultaron en 50 a 150 pies de erosión a lo largo de todo el litoral de Silver Strand (Figura X), (USACE 2002).

⁷⁸ A mediados de la década de 1950, el USACE construyó dos de cinco propuestas de espigones diseñados para detener la erosión y crear una amplia zona de playa; la primera de las estructuras fue parcialmente construido justo al norte de la ciudad, en el límite con la ciudad de Coronado en 1959. Otras más, se encuentran ubicadas frente a la terminación de la Av. Palm, el campamento de Surf YMCA, en el Blvd Silver Strand de Imperial Beach, el Hotel Coronado, Moffett Rd; en donde puede verse cómo estos elementos funcionan para mantener el ancho de la playa

que incluyen revestimientos de ingeniería, escolleras aleatorias, colocación de diques verticales o recurvados, etc. Actualmente hay muy pocos lugares a lo largo del frente de mar sin blindaje costero⁷⁹.

La determinación de índices de erodabilidad no constituye parte del alcance de este trabajo, sin embargo, a partir de la correlación entre la determinación de la pendiente, el uso del suelo y la cobertura vegetal, se busca establecer una primera zonificación del nivel de riesgo de erosión potencial⁸⁰.

Para establecer una caracterización de áreas con mayor susceptibilidad de erosión se realizó una reclasificación de curvas de nivel de la topografía, con lo cual se obtuvo un mapa de rangos de pendiente. El Mapa 13 muestra las zonas más planas y extendidas en tonos verdes, que corresponden a planicies costeras angostas presentes tanto en el área de estudio la parte costera de Coronado e Imperial Beach, en Estados Unidos y en Playas de Tijuana, como en el sur del área de estudio en el municipio de Playas de Rosarito. En estas zonas es en donde las condiciones de cambio climático podrían resultar en fuertes afectaciones. En México estas afectaciones podrían incluso ser mayores que en Imperial Beach debido a que Tijuana y en Playas de Rosarito no cuentan con estrategias de mitigación e infraestructura de apoyo para escenarios de cambio climático.

Zonificación de susceptibilidad a la erosión

Zona 1: La susceptibilidad de erosión de esta zona en el ámbito continental, presenta una susceptibilidad baja. Para el caso específico de Playas de Tijuana, el mapa identifica la parte urbana pavimentada con susceptibilidad baja, debido a que las variables físicas consideradas están controladas o moduladas por la infraestructura urbana. Sin embargo, en la zona de Playas de Tijuana, se identifican componentes geomorfológicos con mayor sensibilidad a la erosión integrado por un sistema de lomeríos bajos que bordean la planicie central de Playas. Estos lomeríos bajos, constituyen una unidad geomorfológica con mayor pendiente y sedimentos blandos, que está siendo transformada rápidamente por el crecimiento urbano, de manera que la iteración de variables la catalogan como una zona de muy alta mayor susceptibilidad a la erosión, seguida de un conjunto de lomeríos bajos localizados en el Cañón de las Cabras, en el límite norte de la Subcuenca de los Laureles. Con excepción de estas dos áreas, el resto una Zona 1 presenta un nivel bajo de erosión. Sin embargo, tomando en consideración algunos antecedentes que han ocurrido en Playas de Tijuana relacionados con la erosión por tubificación, es importante no desatender los requerimientos de construcción, tanto para el desfogue de pluviales,

⁷⁹ Everest 2001.

⁸⁰ Mediante el método de evaluación multicriterio, utilizando como referencia la metodología propuesta por CORINE, 1992. Con base en la distribución espacial de los valores asignados a cada variable, se construyeron mapas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), y el programa ARCGIS-PRO que permitieron sobreponer capas y reclasificar valores de variables, para comparar las capas mencionadas, y obtener un mapa de susceptibilidad a la erosión, en la categoría de suelo desnudo.

como para promover que los arroyos y escurrimientos naturales mantengan vegetación nativa que funge como amortiguador para la erosión.

En esta Zona 1, además de las dos áreas de lomeríos referidas, la mayor susceptibilidad de erosión se concentra en la zona del litoral costero. Ahí se encuentran elementos que impactan la condición de estabilidad de los taludes costeros, teniéndose dos aspectos que presentan la mayor influencia en su deterioro: uno, es la incidencia del oleaje, principalmente en temporada invernal cuando se da la mayor energía de erosión; el segundo, se refiere a los procesos de construcción -edificación que ocurren a lo largo del litoral con frente a la playa. Aquí, las condiciones de desgaste, debilitamiento y erosión están presentes en prácticamente toda la zona de playa, aunque de forma más marcada, a partir de los Condominios del Parque y Cañada Azteca, hasta el Vigía. En estas ubicaciones, los materiales de los taludes y cantiles se conforman de arenas finas tipo lutitas y arenas más gruesas poco consolidadas intercaladas con conglomerados presentes en el área del Vigía.

A lo largo de este tramo, tanto la zona de rompiente como de batida del oleaje, se ubican geomorfológicamente más cerca de la base de los taludes y las edificaciones. Hacia el norte, esta distancia se hace más grande, debido a dos posibles condiciones: la primera es la alimentación artificial de arena que se realiza en las playas de Silver Strand e Imperial Beach, que viaja hacia el sur a través de la dinámica de transporte sedimentario; y la segunda, puede asociarse con la presencia del Estuario del Río Tijuana, el cual, de acuerdo con el mapa de susceptibilidad, resulta con un nivel bajo, debido a que su dinámica es depositacional, y justo esta condición es la que permite la protección de la costa contra la erosión. La presencia de este estuario, justo al norte de Playas de Tijuana, es un elemento natural que ofrece servicios ambientales de protección y provisión de sedimentos a la zona de playa. Hacia Coronado, los procesos erosivos están bien identificados, asociados mayormente con su condición de bajo nivel topográfico que se encuentra presente a todo lo largo de la barra arenosa de Silver Strand, que la hacen susceptible al efecto de variables oceánico-atmosféricas que inciden con más fuerza durante temporada invernal. Al norte de la zona 1, la presencia de la Bahía de San Diego delimita la influencia y papel de los escurrimientos dentro de la zona de estudio.

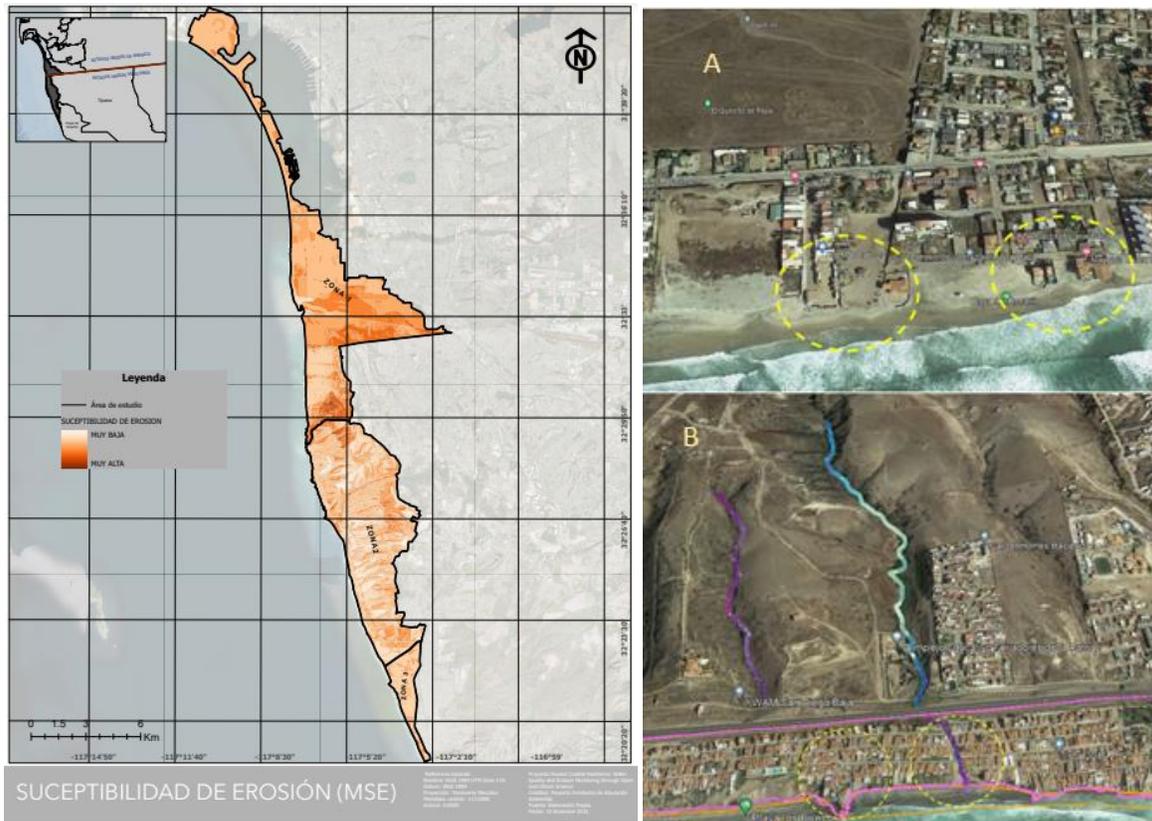
Zona 2: Los tres aspectos que resaltan marcadamente la geomorfología de esta zona son: la litología, la topografía y la densidad de escurrimientos. Dentro de la zonificación propuesta, la Zona 2 predomina en superficie. El resto de las zonas, en términos de susceptibilidad a la erosión, se ubican en un nivel medio a alto y algunas áreas en nivel muy alto, similares a las descritas con ese nivel en la Zona 1, en donde las pendientes están por encima del 30%. Éstas se concentran hacia el norte de la zona, graduando hacia niveles más suaves al sur de la unidad, debido principalmente a los cambios en la composición litológica; al sur es predominantemente sedimentaria, aspecto que se verá reflejado en una pendiente más suave. Por su parte, los escurrimientos y drenajes superficiales alcanzan una densidad menor que la que se presenta en la parte norte de la zona. En esta zona se encuentran presentes

tanto áreas de cantil rocoso principalmente concentrado en la parte norte de la zona, y áreas de taludes sedimentarios con playas arenosas hacia el sur de la misma.

El estado de denudación del suelo (Mapa 9) se va incrementando ampliamente en la zona, pero mantiene mayor cobertura hacia el extremo norte, concentrándose en las subcuencas de la Joya, San Antonio y Real del Mar. Hacia el sur de la zona, se observa menor cobertura vegetal aunado con los procesos de venta de terrenos y urbanización, lo que eleva la susceptibilidad a la erosión.

Zona 3. Las cuencas vertientes que la integran se encuentran localizadas en territorio de Playas de Rosarito. Su densidad de escurrimientos es baja, debido a que geomorfológicamente, la zona al igual que la de Playas de Tijuana, se ubica en una planicie de inundación, y aunque la costa de Playas de Rosarito es también de tipo mixta como la de Tijuana, la zona costera de estudio abarca sólo materiales sedimentarios. El potencial erosivo de los escurrimientos es bajo, debido a que la longitud mayor de la cuenca drenante se encuentra fuera de los límites de la zona de estudio. Esto implica que la mayor susceptibilidad de erosión en esta Zona 3, está dada principalmente por influencia de factores oceánico-atmosféricos, y al igual que Silver Strand al norte de la zona de estudio, la incidencia de oleaje fuerte y tormentas invernales atípicas, suelen ocasionar inundaciones y problemas de erosión costera.

Figura 27. Sensibilidad costera a erosión en la parte continental



Fuente: Elaboración propia con base en correlación de variables de geomorfología costera

En cuanto al segundo ámbito de revisión para establecer áreas de mayor susceptibilidad de erosión costera, se realizó una revisión específica de campo en el litoral costero, donde se tomaron ubicaciones georeferenciadas de puntos de descargas de agua pluvial como de aguas negras, provenientes mayormente de edificaciones. En estos puntos, se realizaron también tomas de muestras de agua y sedimentos de playa, aunque no se realizaron perfiles costeros.

Las visitas de campo permitieron reconocer un total de 39 puntos de descarga pluviales y residuales a la playa, sea a través de arroyos naturales como de infraestructura hidráulica, algunos de los cuales también se incluyen en el análisis de monitoreo de calidad de agua y sedimentos.

En cuanto a las áreas con mayor condición de erosión costera, fue posible ubicar áreas que por sus características geomorfológicas y de litología nos señalan condiciones de mayor exposición y sensibilidad a la erosión, así como también zonas donde la presencia de asentamientos humanos ha favorecido condiciones de mayor riesgo para la población. El mapa 11 de ubicación de puntos de descarga o desfogue de aguas tanto pluviales como residuales que se encuentran localizadas a lo largo del litoral costero.

Condiciones de potencial de erosión en la sección mexicana de la zona de estudio.			
Potencial de Erosión	Lugar	Condiciones	Foto
Alto	Cañada Azteca	Acantilados medios a bajos, de areniscas y lutitas como material constituyente, con deterioro marcado y progresivo en frente de talud, y cabecera, presencia alta de humedad con formación de cárcavas perpendiculares a la línea de costa; las paredes adyacentes a la línea de playa arenosa muestran socavamientos en base de talud, presencia marcada de edificaciones y edificios con sobrecarga.	
	El vigía, Playas de Tijuana	Zona de la playa arenosa abierta, con fluctuaciones estacionales marcadas, alta presencia de minerales oscuros que forman bermas altas, tendencia a la erosión en la base de los taludes, presencia de caída de bloques, taludes sin vegetación y en estado de alto deterioro, mayormente intervenidos por la acción humana, presencia de protecciones, escalinatas, balcones y otros elementos construidos, tendencia marcada a la degradación del talud por la acción erosiva de factores físicos, pero también humanos.	
	Punta Bandera, Tijuana	Acantilados Altos (>10 m) materiales sedimentarios e ígneos intercalados, con arcillas rojizas, sin playas de bolsillo o ausentes a pie de acantilados. Se tiene presencia de algunos asentamientos humanos, presencia de descargas y flujos de aguas desde las partes altas de las subcuencas drenantes.	
	San Antonio del Mar, Tijuana	Zona de acantilados medios con playas en pie de talud, alta presencia de asentamientos humanos predominantemente unifamiliares y comerciales, taludes escarpados con caída de bloques, con predominancia de materiales sedimentarios, sin vegetación natural generalmente, intervenidos por la acción humana, instalación de protecciones, escalinatas, balcones y otros elementos construidos, edificaciones dañadas por erosión, y ocasionalmente construidas en nivel de pleamar, descarga de aguas residuales y pluviales.	
	Playa Santa Mónica, Playas de Rosarito	Costas bajas, extendidas y abiertas, con potencial erosivo fluvial alto, con presencia de desembocaduras de arroyos con alta descarga pluvial desde la Subcuenca Cuesta Blanca, con aporte de aguas sin tratamiento, que incrementa riesgos ante eventos extremos. Aporte de alto volumen de basura y contaminación en pluma de descarga, remetimiento de la línea costera en algunas zonas, presencia de elementos de	

Condiciones de potencial de erosión en la sección mexicana de la zona de estudio.			
Potencial de Erosión	Lugar	Condiciones	Foto
		protección frente a la playa, asentamientos humanos predominantemente vivienda unifamiliar y equipamientos.	
	Playa del Rosarito, Playas de Rosarito	Costa baja, con zona de playa arenosa, presenta fluctuaciones estacionales marcadas, pero con una tendencia a la erosión costera durante condiciones de oleaje alto, materiales sedimentarios y materiales de relleno se usan para elevar nivel topográfico y como elemento de protección contra acción erosiva del oleaje y eventos extremos, remetimiento de la línea costera, presencia de asentamientos humanos predominantemente vivienda unifamiliar, edificaciones construidas en nivel de pleamar.	
	Playa Laurel, Playas de Rosarito.	Litoral abierto y plano, costa baja con potencial de inundación y erosión durante condiciones de oleaje alto, y por la desembocadura de arroyos, con descarga de aguas pluviales y sin tratamiento desde cuenca alta Guaguatay, que eleva vulnerabilidad de asentamientos humanos ante la ocurrencia de eventos extremos y afectaciones por oleaje alto de tormenta (colonias: Obrera, Villa del Mar, Basso, Costa Azul y Coronado). Aporte de contaminación en punto de descarga, construcción de protecciones frente a la playa para los asentamientos humanos predominantemente vivienda unifamiliar y comercio.	
	Paseo costero y parque México	Presencia de costa baja con playa arenosa lineal y extendida, con acantilados bajos de areniscas y lutitas sensibles a erosión, con presencia de alta humedad y erosión en la base sobre Paseo Costero, construcción de protecciones en zona de pleamar dañadas a causa de la erosión, presencia de densidad alta de asentamientos humanos, casas unifamiliares, edificios verticales y comercios, alta presencia de tubos de descarga de aguas pluviales y derrames frecuentes de aguas residuales.	

Condiciones de potencial de erosión en la sección mexicana de la zona de estudio.			
Potencial de Erosión	Lugar	Condiciones	Foto
Medio	Centro Recreativo CESPT y Océano 21	Presencia de taludes medios a altos formados de areniscas y lutitas deterioradas, con desprendimientos y caída de materiales principalmente en las caras del talud y corona, sin vegetación de protección, presencia de playa arenosa lineal y extendida, con presencia de asentamientos humanos, vivienda unifamiliar, conjuntos habitacionales verticales, instalación de escalinatas, balcones y otros elementos de acceso a la playa, tubos de descarga de aguas pluviales y residuales que aportan alta humedad a los taludes, presencia de alta concentración de edificaciones, algunas dañadas y erosionadas.	
	Real Mediterráneo	Presencia de geomorfología costera irregular, con acantilados altos, de materiales ígneos y sedimentarios, con arcillas rojas, con erosión en base del cantil y la formación de pequeñas ensenadas, con retroceso de línea costera. formación de playas de bolsillo, presencia de escasos asentamientos humanos, principalmente vivienda unifamiliar, y el Colegio de la Frontera Norte, presencia de descargas pluviales naturales desde cuencas altas con aporte sedimentario por cambio de usos del suelo (zona en desarrollo).	
	Bella vista, Tijuana	Presencia de acantilados altos (>10 m) materiales sedimentarios continentales y arcillosos, formación de playas de bolsillo, presencia de asentamientos humanos baja densidad, presencia de taludes conformación de cárcavas y oquedades de erosión marcadas, materiales sedimentarios y arcillosos, alto volumen de descargas pluviales, residuales y residuos desde las partes altas de subcuencas.	
	Playa Mar y Sol, Playas de Rosarito	Zona de acantilados bajos, con playas arenosas extendidas y abiertas, baja densidad de asentamientos humanos, presencia de taludes sedimentarios de menor altura (<10 m) con signos de erosión y formación de cárcavas marcadas, aportaciones pluviales de menor dimensión, línea costera abierta y lineal.	
	Playa Publica, playas de Rosarito y Rosarito Beach	Línea costera abierta y lineal, con playa arenosa extendida, sin taludes significativos, construcción de protecciones frontales para zona habitacional de baja densidad, algunas de las cuales se ubican en zona de pleamar, rebasando la línea costera, afectaciones por oleaje alto de tormenta en colonias: Obrera, Villa del Mar, Basso, Costa Azul y Coronado, ubicadas	

Condiciones de potencial de erosión en la sección mexicana de la zona de estudio.			
Potencial de Erosión	Lugar	Condiciones	Foto
		en costa baja, en terrenos ganados al mar, presencia de arroyos con descargas fluviales importantes proveniente del cañón Rosarito.	
Bajo	Malecón parte Norte, Tijuana	Zona de playa arenosa, lineal y abierta, ocurrencia de procesos de retroceso de línea costera por eventos históricos de tormenta, erosión concentrada en frentes y bases de taludes, en donde se presentan diversos elementos de protección contra la erosión, principalmente de tipo gavión. En la actualidad la playa presenta una leve tendencia a la acreción dando un ancho mayor de playa, posiblemente debido a la cercanía con el estuario del Río Tijuana, y el proceso de transporte litoral que se presenta a lo largo de la barra Silver Stand en EE.UU.	
	Sur de el Vigía, Tijuana	Costas rocosas, con presencia de acantilados altos, con bordes costeros irregulares y formación de pequeñas bahías, se presentan tramos de mayor estabilidad y zonas con mayor exposición a erosión en zonas sedimentarias del cantil con formación de cárcavas y oquedades de erosión profundas, escasa presencia de asentamientos humanos, disminución de la planicie costera y reducción del ancho de talud, presencia de puntos de descarga de aguas pluviales y residuales provenientes de partes altas de las subcuencas costeras.	
	Baja California Center, Playas de Rosarito	Acantilados bajos (=> a 5 m) con presencia de cárcavas y oquedades de erosión, playas arenosas abiertas y extendidas, superficie libre sin desarrollo, presencia de asentamientos humano en menor densidad, habitacional unifamiliar y en vertical (hoteles), presencia de escurrimientos pluviales menores, construcción de protecciones frente a la playa para las viviendas, variaciones estacionales de ancho de la playa	
	Playa el Bebe	Acantilados bajos (=> a 5 m) con presencia de cárcavas y oquedades de erosión, playas arenosas abiertas y extendidas, presencia de superficie baldía, concentración de asentamientos humanos segunda residencia, habitacional unifamiliar, presencia de varios escurrimientos pluviales, con aporte sedimentario que da lugar a puntos de acreción	

Condiciones de potencial de erosión en la sección mexicana de la zona de estudio.			
Potencial de Erosión	Lugar	Condiciones	Foto
		de playa, construcción de equipamientos frente a la playa, acceso público limitado por instalaciones de PEMEX	

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo y análisis de fotografía aérea.

Conclusiones

Los resultados del diagnóstico permitieron reconocer aspectos generales de la situación actual de ocupación de la zona costera de estudio y su relación con la problemática de contaminación, cambios de uso de suelo y erosión en las cuencas vertientes y en el litoral costero. El proceso de urbanización y cambio de uso de suelo se identifica como la principal causa del deterioro y pérdida de capacidad de protección del sistema natural costero, donde una gran parte del crecimiento de asentamientos humanos en el área continental de las cuencas vertientes en México, ha sido rápido, precario y poco planificado.

El uso inadecuado del espacio costero ha configurado la aparición y el incremento de peligros reales y potenciales, así como de problemas de descargas de aguas residuales hacia la costa. Esto no solo contribuye a la contaminación del agua, sino que aumenta el deterioro de los taludes de playa, con lo cual la población residente y sus bienes se ven amenazados ante los efectos destructivos de eventos de tormenta.

El proceso de ocupación y urbanización que se observa en la franja litoral de la sección mexicana de estudio se percibe poco vigilado y ausente de un control urbano adecuado. Esto ha derivado en problemas de contaminación por aguas residuales, manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos y edificación de viviendas en zonas expuestas a la incidencia de eventos climáticos destructivos extremos, como es el caso de algunos asentamientos en Playas de Tijuana, San Antonio del Mar, y Playas de Rosarito. Es en este tipo de áreas las condiciones de cambio climático podrían resultar en fuertes afectaciones, y en México estas podrían incluso ser mayores que en Coronado e Imperial Beach, debido a que en Tijuana y en Playas de Rosarito no se

implementan estrategias de mitigación ni se ha desarrollado la infraestructura de apoyo para responder a escenarios de cambio climático.

Uno de los aspectos de cambio identificados de mayor significancia es la cobertura de vegetación o el análisis de áreas denudadas, el cual establece una clara relación entre la presión que ejercen los procesos de ocupación del suelo costero y el crecimiento de áreas urbanas. Se identificó una gran cantidad de áreas en donde la erosión se está exacerbando, reduciendo cada vez más las superficies con vegetación. Esto apunta a un aumento de condiciones de erosión en las partes altas de las subcuencas costeras que tendrán efecto en la zona litoral en los próximos años, además de evidenciar la falta de políticas públicas para la protección de espacios y ecosistemas costeros (terrestres y marinos) de importancia. La escasa atención puesta en este tema, apuesta a elevar aún más el potencial de erosión costera en el futuro, a lo cual se suman las proyecciones de incremento de población señaladas en el diagnóstico, que se reflejara en una mayor vulnerabilidad social.

En la sección costera mexicana prevalecen grandes vacíos de información en torno a las condiciones ambientales de las cuencas y subcuencas costeras. Lo anterior ha evitado tener una evaluación objetiva de las condiciones actuales y tendenciales del riesgo de erosión en la zona costera, lo que representa un factor de riesgo y una limitante importante en materia de ordenamiento ecológico y territorial de las zonas costeras. Se hace evidente una gran disparidad en cuanto a la cantidad de información generada y a prioridad otorgada a esta problemática entre los dos países, siendo en Estados Unidos donde se pone un mayor énfasis en generar y hacer accesible de información relevante a estos temas. Esto último, no es solo en términos de la cantidad de recursos y presupuestos destinados a la investigación y divulgación, que en Imperial Beach se realiza desde 1937, sino también por el tipo de enfoques que en el tratamiento de los datos que se aplican en cada país.

En el lado mexicano el énfasis en la investigación está centrado en impactos a la salud humana y al turismo y protección a la economía de servicios; mientras que en el lado norteamericano de la zona de estudio, prevalece una aproximación a la investigación orientada hacia otro tipo de temas, como los efectos ambientales y la aplicación de medidas técnicas y controles normativos para restauración, recuperación ambiental. Esto se traduce en otro contraste que refiere una diferencia notable en la cantidad de superficie destinada a la conservación de espacios naturales y abiertos, tanto en los planes y programas en la porción norteamericana de la zona de estudio, que en la porción mexicana.

A pesar de que en México existe una Política Nacional de Mares y Costas, la gestión costera en la sección mexicana de estudio, es prácticamente inexistente, y no se han desarrollado indicadores de presión, estado y respuesta. En tanto a las políticas de promoción del desarrollo inmobiliario y turístico costero, éstas se siguen promoviendo, sin aplicar estrategias que promuevan la conservación, mejoramiento y resiliencia de la región costera.

En cuanto los sistemas de tratamiento de aguas residuales operados por desarrollos privados localizados en la zona costera mexicana, resaltan los problemas por fallas

de operación y mantenimiento adecuado, que ocasionan descargas de aguas crudas al mar a través de cauces de arroyos que se conectan con el mar. Aunque el dato sobre cantidad de plantas de tratamiento que operan en la costa pudiera tenerse como un buen indicador sobre capacidad de tratamiento instalado y un buen nivel de desempeño del sector inmobiliario, esto no es así, dados los problemas de cumplimiento normativo que algunas de estas plantas presentan. Sin embargo, esto puede considerarse un indicador importante en términos de la posibilidad futura de ampliar capacidades de tratamiento bajo la operación de esquemas descentralizados. Lo cierto es que más allá de las aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la zona costera, también se descargan aguas pobremente tratadas y no tratadas de múltiples fuentes tierra adentro de ambas porciones de la cuenca del Río Tijuana preponderantemente del mismo flujo del Río Tijuana .

Por su parte, en las playas de California, las descargas de agua en zonas costeras indican que los escurrimientos pluviales urbanos son la principal fuente de contaminación. En el caso de la ciudad Imperial Beach, se reportan descargas de aguas residuales provenientes del Río Tijuana y de los cañones que cruzan la frontera, las cuales llegan a las playas afectando tanto a turistas como residentes locales. Los reportes de resultados mensuales del monitoreo para determinar la calidad bacteriológica del agua de mar en la zona costera de Tijuana realizados por COEPRIS durante ocho años en el marco del Programa Nacional de Playas Limpias, han presentado datos dentro de rangos de cumplimiento, con excepción de siete meses que rebasaron el estándar de la norma a lo largo de dicho periodo. Por lo general, éstos se concentraron en la Playa de San Antonio del Mar donde se obtuvieron los valores más altos de contaminación. Por otra parte, existe incertidumbre respecto a la generación de datos derivados de los monitoreos realizados por organismos gubernamentales en la sección costera mexicana, ya que tanto COEPRIS, como CESPT presentan datos con variaciones en los niveles registrados de contaminantes, debido a que no se realizan de manera simultánea, ni exactamente en las mismas ubicaciones. Por lo tanto, los datos generados por ambos organismos, presentan inconsistencias o diferencias cuando se comparan las cifras reportadas para enterococos en las mismas fechas y sitios. Comparativamente, los resultados de los monitoreos realizados por PFEA desde 2014 muestran que en general, el estado de la playa en Tijuana presenta altos niveles de contaminación, muy por encima de los niveles establecidos en la normatividad. Esta tendencia se ha ido incrementando progresivamente desde 2015 hasta 2023, pasando de 30 días que rebasaron la norma en 2016, y que se concentraban principalmente en Playa Blanca, a 113 muestreos rebasados en 2023 en todos puntos de muestreo, que además, muestran variaciones estacionales en el comportamiento y la concentración de los contaminantes.

En resumen, a pesar de existir un marco jurídico en materia costera y de estar suscritos a acuerdos internacionales, la situación de la zona costera en México no ha logrado consolidarse como un tema de primera prioridad, siendo evidente la carencia de programas de ordenamiento y gestión integral de zonas costeras.

Recomendaciones

Es importante realizar trabajos que ayuden a identificar prioridades de gestión en las áreas costeras que prevengan conflictos en las cuencas altas y que mejoren las áreas degradadas de mayor conflicto de interés de uso de suelo. Por ejemplo, la identificación de espacios de restauración con ecosistemas estratégicos para la conservación de la naturaleza, son un elemento fundamental para promover la resiliencia y la recuperación de la capacidad de carga del sistema costero. Contar con un Plan estratégico de manejo para la gestión del riesgo y la erosión costera, que contribuiría a reducir los niveles de riesgo de erosión en el sector. Éste, deberá considerar a los distintos actores sociales y económicos involucrados, con la participación directa de los distintos niveles de gobierno que tienen responsabilidad de la toma de decisiones dentro de la zona costera, ya que cada uno posee distintas percepciones, intereses y responsabilidades.

En términos de los procesos de urbanización que ocurren en la zona costera, se hace necesario examinar las variaciones territoriales en la intensidad y velocidad de la urbanización de la costa de estudio, puesto que el proceso de urbanización ha sido marcadamente desigual e irregular a lo largo de ésta. Ello requiere realizar un análisis territorial del crecimiento urbano y del proceso de ocupación tanto en las partes altas de las cuencas, como en la demarcación de la zona federal marítimo costera, de la cual no se tiene un inventario actualizado de ocupación. El proceso de abandono de viviendas que entran en deterioro, aumentan el riesgo en las zonas costeras, donde los Atlas de Riesgos de Tijuana y Rosarito resultan insuficientes. Ante ello, se hace necesario impulsar instrumentos de planificación territorial y lineamientos para acciones de monitoreo costero enfocados a la prevención y mitigación de la erosión y otros riesgos costeros, fortaleciendo las competencias de intervención de la autoridad ambiental municipal y estatal.

La obtención de una línea base para el entendimiento del riesgo de erosión costera, promoverá la realización periódica de perfiles costeros, así como la evaluación de amenazas y vulnerabilidad de los elementos expuestos de la zona costera. Esto es esencial en la determinación de escenarios de riesgos y la prevención y mitigación de impactos, en especial en la sección costera mexicana, en donde la identificación de problemas de erosión en los taludes con frente a la playa, hace urgente la adopción de medidas de protección que tengan en consideración la influencia oceánica, atmosférica, pero también las aportaciones de agua y sedimentos continentales. Esto hace pertinente evaluar particularmente, la condición geotécnica de los taludes costeros [1] para reconocer su condición actual, y cómo se ven afectados estos espacios costeros. Es importante reconocer que las zonas costeras no son sólo espacios de economía y turismo, sino ambientes cambiantes que dan soporte a una gran diversidad de ecosistemas.

Para la construcción de indicadores que incorporen una perspectiva de sustentabilidad, deben involucrarse diversos actores, tomando en cuenta los diferentes usos de suelo y dimensiones de actuación. Por lo tanto, es necesario

promover una conceptualización más coherente y uniforme de la zona costera binacional, que reconozca e integre las necesidades de dicha región, de manera que Tijuana no asuma un enfoque diferente al de Playas de Rosarito o al de Imperial Beach. Trabajar por establecer indicadores que nos ayuden a integrar acciones y revisar el discurso gubernamental, que a priori considera que un alto número de plantas de tratamiento se traduce necesariamente en un indicador de buena gestión de aguas residuales; o que la sola existencia de un plan de acción para el cambio climático (por ejemplo el PACMUN) será suficiente para ejercer cumplimiento de las políticas públicas. Dentro de este contexto, las definiciones del ordenamiento territorial integral costero que observen enfoques regionales, constituye un aspecto valioso que se debe potenciar en los próximos diez años, en el interés por adoptar estrategias de prevención y mitigación de cambio climático.

Acorde con ello, el carácter fronterizo de esta región ofrece la posibilidad de integrar diversos grupos de trabajo en ambos lados de la frontera. Resulta necesario establecer estrategias regionales conjuntas para el manejo de la zona costera, las cuales identifiquen los aspectos que requieren una mayor regulación y coordinación. Lo anterior deberá contemplar, más allá de los instrumentos jurídicos, las actividades que deben promoverse desde los diferentes sectores en la zona costera, que ofrezcan información actualizada sobre los efectos del cambio climático.

Además de la información que es viable construir desde la conformación de grupos de trabajo, la revisión de esquemas orientados hacia la descentralización operativa se hace muy necesaria, ante una necesidad cada vez mayor y más urgente de operar acciones a distintas escalas de actuación que no sólo consideren a la infraestructura instalada, sino a la capacidad administrativa y de respuesta que se puede construir a partir de diversos modelos colaborativos.

Junto con ello, se sugiere el establecimiento de lineamientos de regulación para controlar el desarrollo de malas prácticas, y monitorear las buenas, identificando actores de relevancia que junto a otras instituciones académicas (como Scripps, el Instituto de Investigaciones Oceanográficas de Ensenada, el CICESE, El COLEF, SDSU, la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC Campus Ensenada, los IMPLANES de Tijuana y Rosarito, entre otros,) contribuyen a tener mejores intervenciones y gestionar recursos financieros que no solo apliquen a la etapa de ejecución de proyectos. Un ejemplo de ello son los lineamientos de calidad de agua, las cuales pueden ofrecer información muy útil para revisar necesidades, de inversión, y mejorar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales, incluyendo las de pequeñas dimensiones promovidas por particulares.

A su vez, la presencia de una diversidad de escurrimientos, particularmente en la Zona 2, abre posibilidades para establecer proyectos que permitan restaurar estos espacios importantes, mantenerlos libres de obstrucciones y mejorar las posibilidades de infiltración de agua al sistema costero, lo cual tiene múltiples implicaciones asociadas, que pueden ayudar a disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático. La relevancia ecológica de las zonas costeras, no debe ser cuestionada, sino por el contrario, debe ser promovida, atendiendo a lo que establece la Política de Mares y Costas en México, siendo este el instrumento más importante de gestión costera a nivel nacional. Uno de los aspectos que no ha gozado del interés

de las instituciones de gobierno en México, es el valor del agua tratada para la restauración y conservación de sistemas ecológicos y naturales de la zona costera que ofrecen servicios ambientales de protección. En este aspecto, es importante diseñar opciones de mitigación para mejorar la resiliencia de los espacios litorales. Algunas de estas opciones podrían incluir establecer un plan de preservación de espacios naturales costeros que contribuyan a mantener los servicios ambientales de protección mediante acciones de restauración ecológica de los ecosistemas riparios y de matorral costero. Así mismo podrían considerarse acciones para la restauración y protección de playas con mayor problemática de erosión, involucrando a diferentes actores y usuarios de la zona costera, que reconozcan factores de riesgo, e incorporen medidas de adaptación. Estas acciones podrían requerir obras de mitigación, pero también mecanismos que permitan mantener la cobertura vegetal que tiene un valor significativo para la prevención de riesgos. Un hito importante dentro de este aspecto, es el Estuario del Río Tijuana, que ofrece servicios de protección contra la erosión costera, pero está siendo afectado por externalidades negativas, que de no disminuir podrían afectar la dinámica costera en la sección costera de estudio.

En cuanto a los problemas que se presentan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales operados por desarrollos privados de la zona costera, es necesario realizar un inventario y valoración puntual de esta infraestructura y su operación, a fin de que dichos sistemas puedan funcionar de forma adecuada, y puedan ser considerados como elementos de infraestructura descentralizada, para la depuración de aguas residuales, considerando su capacidad de tratamiento, y los procesos de adecuación y mejora. Ello habrá de requerir de la apertura de espacios de diálogo, donde se puedan revisar las condiciones particulares de cada caso, y proyectar una línea de metas de cumplimiento, cruzadas con posibilidades de financiamiento, como una primera línea de trabajo enfocada en ampliar la capacidad administrativa y de respuesta.

Reconocer las diferentes capacidades (institucionales, educativas, legales y financieras) con las que cuenta la región, permitirá generar esquemas de colaboración para establecer soluciones interdisciplinarias que permitan una mayor caracterización del ecosistema litoral costero, aplicando políticas efectivas para mitigar el cambio climático.

La necesidad de contar con un Índice de Calidad del Agua (ICA) que permita tener valoraciones más integrales y establecer una idea más clara del estado de la contaminación en relación a otros parámetros fisicoquímicos en diferentes áreas y en ambos lados de la frontera, ofrecería posibilidades de establecer relaciones de abundancia.

Otro aspecto importante a considerar, es la caracterización de diferentes tipologías de usuarios de la zona costera, para promover la participación social diferenciada en las políticas de manejo y ordenamiento costero. Involucrar a más actores para potenciar las acciones individuales de los distintos usuarios de la costa, enfocados no solo en la protección de la plusvalía de la propiedad privada y enfoques de intervención por parcelas, sino evolucionar a un enfoque de mejora de la salud

ambiental para mantener la biodiversidad de los diferentes entornos y cuencas costeras. Esto contribuiría a mejorar el índice de integridad ecológica con el que podamos enfrentar de mejor manera los retos del crecimiento urbano en la zona costera.

Una de las mayores debilidades se relaciona con la falta de coordinación entre instituciones gubernamentales y actores que inciden dentro del espacio marino y costero y vinculadas a una amplia gama de actividades que se realizan en estos espacios.

El trabajo permitió conocer y comparar respuestas que han sido realizadas en la sección norteamericana de la costa de estudio, constatando que existen muchas formas de acercar un conocimiento más profundo de las costas, y que se necesitan fórmulas más efectivas y eficientes de aprovechar los recursos costeros y generar conocimiento de forma colaborativa. Esperamos que con este ejercicio, se habrán las posibilidades de ampliar el conocimiento de nuestra costa, y que éste, redunde en más acciones y más información que abone al conocimiento público y a una mayor búsqueda de soluciones.

Glosario de Acrónimos

CESPT: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana

CICESE: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

COCOTREN: Programa Corredor Costero Tijuana, Rosarito, Ensenada.

COFEPRIS: Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

COLEF: Colegio de la Frontera Norte

CZMA. Coastal Zone Management Act/Acta de Manejo Costero

IMPLAN: Instituto Municipal/Metropolitano de Planeación

IUCN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

PACMUN: Plan de Acción Climática Municipal de Tijuana, B.C.

PDUUCT: Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tijuana.

PDUICPR: Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Rosarito

PFEA: Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental A.C.

PEMEX: Petróleos Mexicanos

PROFEPA: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

SS: Secretaría de Salubridad

SANDAG: The San Diego Association of Governments /Asociación de Gobiernos de San Diego

SECTUR: Secretaría de Turismo

SEMAR: Secretaría de Marina

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SDSU: San Diego State University / Universidad Estatal de San Diego.

TRNERR: Tijuana River National Estuarine Reserve Research

WMA: Water Management Area/ Área de Gestión del Agua

USACE: US United States of America Army Corps of Engineers/Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.

Bibliografía

Anexos

Anexo Tabla ubicación geográfica de descargas

Anexo de Mapas

Anexo Metodológico