

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias  
Sociales y Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

**Disruptores ambientales y de calidad de agua en la  
Bahía de Ensenada, B. C. México**

Environmental and water quality disruptors in Ensenada Bay, B. C.  
Mexico

**Zayre González Acevedo**

zgonzale@cicese.mx.

<https://orcid.org/0000-0003-3293-0563>

Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)  
Ensenada Baja California – México

**Marco García Zarate**

margarci@cicese.mx.

<https://orcid.org/0000-0003-3293-3000>

Departamento de Óptica Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)  
Ensenada Baja California – México

**Alexandro Orozco Durán**

orozco.alexandro@uabc.edu.mx.

<https://orcid.org/0000-0002-0639-5504>

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California (UABC)

Ensenada Baja California – México

**Yesica Cabrera Sillas**

ycabrera@cicese.edu.mx.

<https://orcid.org/0009-0002-2916->

Posgrado en Ciencias de la Tierra/Geociencias Ambientales, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)

Ensenada Baja California – México

**Ritter De Basabe Ibarra**

debasabe.ritter@uabc.edu.mx.

<https://orcid.org/0009-0005-2081-6933>

Maestría en Administración Integral del Ambiente. Colegio de la Frontera Norte (COLEF)  
Ensenada Baja California – México

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores, agradecen a los estudiantes de la clase de geología Ambiental, año 2022: González-Riaño Vanessa I., Gutiérrez-Salomón Jaime, Hidalgo-Rodríguez Ricardo A., Márquez-Arellano Pamela B., y Romero-Vera Carla L., por su valiosa colaboración en el muestreo y análisis de las muestras que dieron origen a este trabajo. También se agradece al CICESE por el apoyo de infraestructura prestado para los análisis.

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4820>

**Artículo recibido:** 16 de julio de 2025

**Aceptado para publicación:** 15 de noviembre de 2025.

**Conflictos de Interés:** Ninguno que declarar.

**Redilat**  
Red de Investigadores  
Latinoamericanos

**NÚMERO**

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4820>

## Disruptores ambientales y de calidad de agua en la Bahía de Ensenada, B. C. México

Environmental and water quality disruptors in Ensenada Bay, B. C. Mexico

**Zayre González Acevedo**

zgonzale@cicese.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3293-0563>

Departamento de Geología, Centro de Investigación. Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)  
Ensenada Baja California – México

**Marco García Zarate<sup>1</sup>**

margarci@cicese.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3293-3000>

Departamento de Óptica Centro de Investigación. Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)  
Ensenada Baja California – México

**Alexandro Orozco Durán**

orozco.alexandro@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0639-5504>

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California (UABC)  
Ensenada Baja California – México

**Yesica Cabrera Sillas**

ycabrera@cicese.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-2916>

Posgrado en Ciencias de la Tierra/Geociencias Ambientales, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)  
Ensenada Baja California – México

**Ritter De Basabe Ibarra**

debasabe.ritter@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0005-2081-6933>

Maestría en Administración Integral del Ambiente. Colegio de la Frontera Norte (COLEF)  
Ensenada Baja California – México

Artículo recibido: 16 de julio de 2025. Aceptado para publicación: 15 de noviembre de 2025.  
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

### Resumen

La Bahía de Todos Santos (BTS), en Ensenada, Baja California, es un ecosistema costero de gran valor ecológico y socioeconómico, sometido a crecientes presiones por urbanización, descargas residuales e intensificación turística. Este estudio evaluó la calidad del agua en ocho sitios representativos mediante diez campañas de muestreo con análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados muestran sitios críticos de deterioro en El Gallo, El Mosquito y Cuatro Milpas, donde se detectaron concentraciones elevadas de coliformes fecales (>600 NMP/100 mL), nitrógeno total (>500 µM) y sólidos sedimentables (>100 mg/L). Estas condiciones exceden los límites establecidos por la normatividad mexicana (NOM-001-SEMARNAT-2021 y la NMX-AA-004-SCFI-2013), y reflejan procesos de eutrofización, reducción del oxígeno disuelto y riesgo de hipoxia. La configuración semicerrada y la batimetría somera de la BTS limitan la dispersión de contaminantes y favorecen su persistencia, lo

---

<sup>1</sup> Autora de correspondencia.


que incrementa la vulnerabilidad ambiental y sanitaria. Un aspecto relevante es que este trabajo no incluyó la cuantificación de elementos potencialmente tóxicos ni micro plásticos, considerados únicamente como potenciales disruptores a partir de la literatura. Su análisis en estudios futuros permitirá fortalecer el diagnóstico integral del sistema costero. En conjunto, los hallazgos subrayan la necesidad de implementar programas de monitoreo permanente, modernizar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales y actualizar el marco normativo mexicano para incluir contaminantes potencialmente tóxicos y emergentes, en concordancia con estándares internacionales. Este caso aporta evidencia clave sobre la degradación de la calidad del agua en bahías urbanizadas de zonas semiáridas.

*Palabras clave:* agua de mar, contaminación antropogénica, coliformes fecales, nutrientes, monitoreo ambiental

## Abstract

Bahía de Todos Santos (BTS), in Ensenada, Baja California, is a coastal ecosystem of great ecological and socioeconomic value, subject to increasing pressures from urbanization, wastewater discharges, and intensified tourism. This study evaluated water quality at eight representative sites through ten sampling campaigns with physicochemical and microbiological analyses. The results show critical sites of deterioration in El Gallo, El Mosquito, and Cuatro Milpas, where high concentrations of fecal coliforms (>600 NMP/100 mL), total nitrogen (>500  $\mu$ M), and sedimentable solids (>100 mg/L) were detected. These conditions exceed the limits established by Mexican regulation (NOM-001-SEMARNAT-2021 and NMX-AA-004-SCFI-2013), and reflect processes of eutrophication, reduced dissolved oxygen, and risk of hypoxia. The semi-enclosed configuration and shallow bathymetry of the BTS limit the dispersion of pollutants and favors their persistence, which increases environmental and health vulnerability. A relevant aspect is that this work did not include the quantification of potentially toxic elements or microplastics, considered only as potential disruptors based on literature. Their analysis in future studies will strengthen the comprehensive diagnosis of the coastal system. Overall, the findings underscore the need to implement permanent monitoring programs, modernize wastewater treatment infrastructure, and update the Mexican regulatory framework to include potentially toxic and emerging pollutants, in line with international standards. This case provides key evidence on the degradation of water quality in urbanized bays in semi-arid areas.

*Keywords:* seawater, anthropogenic pollution, fecal coliforms, nutrients, environmental monitoring

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: González Acevedo, Z., García Zarate, M., Orozco Durán, A., Cabrera Sillas, Y., & De Basabe Ibarra, R. (2025). Disruptores ambientales y de calidad de agua en la Bahía de Ensenada, B. C. México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (5), 3368 – 3398. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4820>

## INTRODUCCIÓN

Las bahías costeras son ecosistemas altamente dinámicos que funcionan como zonas de transición entre ambientes marinos y terrestres. Estos cuerpos de agua están influenciados simultáneamente por procesos atmosféricos, fluviales y oceánicos, lo que los convierte en sistemas ecológicos complejos y de gran sensibilidad ambiental. Debido a su ubicación estratégica, suelen albergar una rica biodiversidad y ser el asiento de múltiples actividades humanas como la pesca, la acuicultura, el turismo, el transporte marítimo y el desarrollo urbano-industrial. Esta combinación de riqueza ecológica y presión antrópica convierte a las bahías en regiones particularmente vulnerables a la degradación ambiental (Häder et al., 2020).

En las últimas décadas, el acelerado crecimiento urbano, la expansión portuaria y el aumento en la generación de desechos domésticos e industriales han incrementado la carga de contaminantes que ingresan a estos sistemas. Adicionalmente, fenómenos naturales como las lluvias torrenciales, el transporte sedimentario, las corrientes marinas y las características geológicas locales también pueden influir significativamente en la calidad del agua (Singh et al., 2024). Por ello, es indispensable identificar y caracterizar los disruptores de calidad ambiental presentes en estos cuerpos de agua, diferenciando aquellos de origen natural de los derivados de actividades humanas.

Uno de los principales retos para la gestión sostenible de estos ecosistemas radica en comprender la interacción de múltiples factores que pueden alterar el equilibrio ecológico. Por ejemplo, el aumento de la temperatura superficial del agua puede inducir fenómenos de hipoxia, alterar las tasas metabólicas de organismos marinos y favorecer la proliferación de floraciones algales nocivas (Smucker et al., 2021). De igual forma, el enriquecimiento por nutrientes —especialmente nitrógeno y fósforo— procedentes de descargas domésticas o agrícolas puede provocar procesos de eutrofización, reduciendo la visibilidad, alterando la composición del fitoplancton e impactando negativamente los servicios ecosistémicos (Dubey & Dutta, 2019).

La Bahía de Todos Santos (BTS), localizada en la costa noroeste del estado de Baja California, México, representa un caso emblemático de ecosistema costero bajo presión. Esta bahía alberga a la ciudad de Ensenada, un importante centro urbano, portuario y turístico, cuya expansión ha derivado en una creciente demanda de servicios ambientales. A pesar de que existen plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, informes recientes han documentado descargas irregulares y deficiencias en el tratamiento, lo que genera episodios recurrentes de contaminación, particularmente en zonas como Playa Hermosa y el Arroyo El Gallo (COFEPRIS, 2024).

Desde 2003, el gobierno mexicano ha establecido el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas, con el objetivo de monitorear y evaluar el estado sanitario de cuerpos de agua costeros destinados a uso recreativo. Este monitoreo sigue criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), utilizando principalmente la concentración de enterococos como indicador microbiológico de riesgo. En el caso de la BTS, existen actualmente 29 estaciones de monitoreo, lo que permite contar con una base de datos robusta para evaluar la calidad del agua en diferentes momentos del año (Tanahara et al., 2021).

No obstante, el monitoreo microbiológico debe complementarse con análisis fisicoquímicos, nutricionales y una caracterización integral del entorno geográfico y socioeconómico, a fin de identificar las fuentes de alteración de manera más precisa. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo identificar y clasificar los principales disruptores de la calidad del agua marina en la Bahía de Todos Santos, mediante un enfoque integral que considera variables geológicas, climáticas, hidrológicas, oceanográficas y antrópicas. La metodología aplicada incluye campañas de muestreo en campo, análisis de laboratorio y revisión de literatura técnica, con el propósito de generar información científica útil para la toma de decisiones en materia de saneamiento, salud pública y gestión costera.

Este trabajo busca, además, contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente al ODS 14 “Vida submarina” y al ODS 6 “Agua limpia y saneamiento”, promoviendo estrategias de conservación marina, mejora en la calidad del agua y fortalecimiento de las capacidades institucionales para la protección de los ecosistemas costeros.

### **METODOLOGÍA**

Para caracterizar la calidad del agua marina en la Bahía de Todos Santos (BTS), localizada frente a la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Esta bahía semicerrada presenta baja energía hidrodinámica, limitada renovación de masas de agua y una creciente presión urbana, turística e industrial, lo que la convierte en un sistema costero vulnerable a la acumulación de contaminantes (Álvarez-Vázquez, 1994; González-Flores, 2024). Se seleccionaron ocho sitios de muestreo con base en criterios de presión antrópica, accesibilidad y condiciones batimétricas: Playa Hermosa, El Gallo, La Joya, El Mosquito, Cuatro Milpas, La Lagunita, El Ciprés y Ensenada-Puerto.

Las campañas de monitoreo se realizaron en la temporada primavera-verano de 2023, bajo condiciones climáticas estables, con mínima escorrentía superficial, lo que permitió evaluar la influencia directa de fuentes urbanas y portuarias. Las muestras fueron recolectadas en superficie (0.5 m de profundidad), utilizando frascos estériles para análisis microbiológicos y botellas de polietileno para los parámetros fisicoquímicos. Todo el muestreo, transporte, conservación y preservación se realizó conforme a los lineamientos de la NMX-AA-004-SCFI-2013, que establece las directrices técnicas para la toma de muestras en cuerpos de agua superficiales. Las muestras fueron refrigeradas a 4 °C y analizadas en menos de seis horas.

Los parámetros fisicoquímicos medidos in situ incluyeron temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), salinidad, sólidos disueltos totales (SDT) y potencial redox (Eh), utilizando un equipo multiparamétrico marca Hanna Instruments modelo U-52, previamente calibrado. En el laboratorio se analizaron sólidos sedimentables, suspendidos y totales con tubos Imhoff, el oxígeno disuelto (OD) se midió con una sonda independiente precalibrada marca YSI. Los nitratos, nitritos y el nitrógeno amoniacal se midieron con un colorímetro portátil de la marca HACH modelo DR900, usando kits de oxidación Nitriver 5, Nitriver 3 y Amonia Salicilate, respectivamente. Este último es un indicador clave de contaminación nutrimental y eutrofización costera, ya que refleja la carga total de compuestos nitrogenados presentes, incluyendo formas inorgánicas (nitrato, nitrito y amonio). El nitrógeno total se determinó con la suma de las concentraciones de nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal.

El análisis microbiológico se enfocó en la cuantificación de coliformes fecales mediante la técnica del número más probable (NMP), utilizando medios selectivos e incubación a 44.5 °C durante 24 horas, conforme a los lineamientos de la NOM-210-SSA1-2014. Esta técnica permite evaluar el grado de contaminación fecal del agua, un indicador de riesgo sanitario directo para actividades recreativas de contacto primario.

Los valores obtenidos fueron contrastados con los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 (DOF, 2022) para descargas en cuerpos marinos y la NOM-210-SSA1-2014 para aguas recreativas. Asimismo, se consideraron criterios internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2021). El análisis de los datos incluyó estadística descriptiva (media, desviación estándar, rangos) y análisis de correlación de Pearson para identificar relaciones entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas. El procesamiento estadístico se realizó en RStudio (v4.2.0), mientras que la representación espacial se llevó a cabo en QGIS mediante la elaboración de mapas temáticos para evidenciar zonas de mayor riesgo sanitario y acumulación de contaminantes en la bahía.

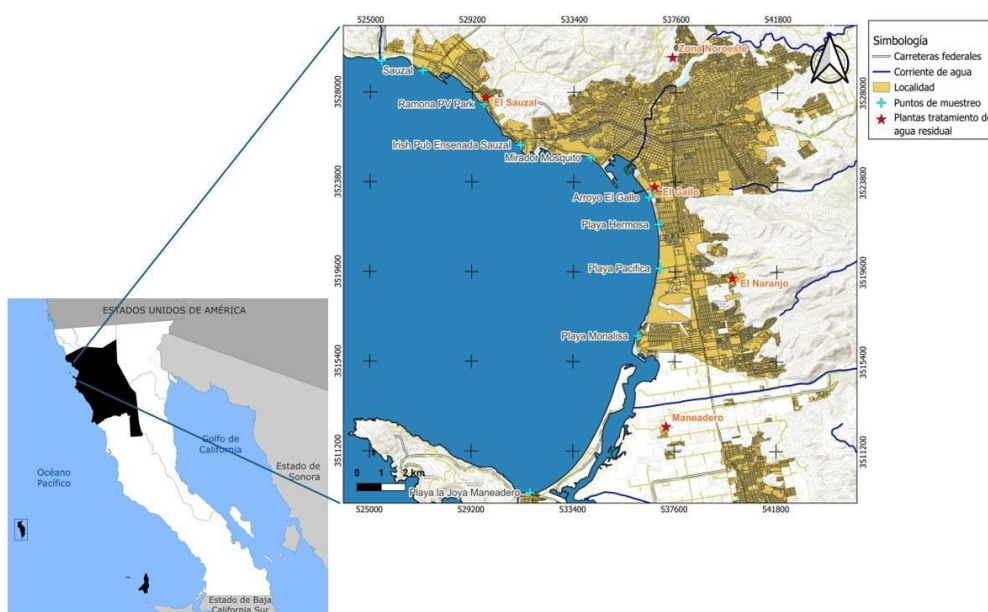
## DESARROLLO

### Zona de estudio

La Bahía de Todos Santos (BTS) se localiza en la costa noroeste del estado de Baja California, México, aproximadamente a 100 kilómetros al sur de la frontera con Estados Unidos. Geográficamente, se sitúa entre las latitudes 31.7° N y 31.9° N, y las longitudes 116.8° W y 116.6° W, (Figura 1). Los límites naturales de la bahía están definidos por Punta San Miguel (al norte), Punta Banda (al sur), la ciudad de Ensenada (al este) y el océano Pacífico (al oeste), con dos conexiones al mar separadas por las Islas de Todos Santos. La conexión norte (ITS-PSM) tiene una longitud aproximada de 10 km y la sur (ITS-PB) de unos 5 km. La BTS posee una extensión longitudinal de 17 km y un ancho máximo de 15 km, abarcando una superficie de aproximadamente 180 km<sup>2</sup> (Mateos et al., 2009; Mateos & Colorado, 2017).

Figura 1

Localización de la zona de estudio y zonas de muestreo



Esta región alberga a la ciudad de Ensenada, uno de los centros urbanos y portuarios más importantes del noroeste mexicano, así como diversas comunidades como El Sauzal, Maneadero y El Zorrillo. En conjunto, estas localidades concentran una población estimada de 375,000 habitantes (INEGI, 2021). La dinámica territorial en la BTS refleja una coexistencia entre usos urbanos, turísticos, agrícolas e industriales. En el norte predomina la actividad acuícola, en el centro el turismo costero y los servicios portuarios, mientras que al sur se desarrollan actividades agrícolas intensivas, sustentadas principalmente por agua de pozo, y zonas de maquiladoras de productos diversos.

Desde el punto de vista ambiental, la bahía recibe aportes de escorrentía y descargas provenientes de varias cuencas hidrográficas, como la del arroyo Ensenada, El Gallo y San Carlos. Estas cuencas, exorreicas y de régimen intermitente, drenan directamente hacia la bahía, arrastrando sedimentos, contaminantes y nutrientes desde zonas urbanas, agrícolas y naturales (INEGI, 2016). La interacción de estos flujos con las condiciones oceanográficas locales dominados por el Sistema de la Corriente de California y las mareas mixtas semidiurnas— genera una dinámica compleja de mezcla, dispersión y acumulación de contaminantes, especialmente en zonas de baja circulación o con presencia de infraestructura costera.

En términos de infraestructura sanitaria, la zona cuenta con al menos cinco Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): El Sauzal, El Gallo, El Naranjo, Maneadero y Noreste, administradas por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE). Estas instalaciones fueron construidas en los años noventa y actualmente presentan limitaciones técnicas y operativas. En particular, la PTAR El Gallo ha sido señalada por verter aguas residuales sin tratamiento al cuerpo receptor durante varios periodos entre 2021 y 2022, lo cual ha resultado en cierres sanitarios en zonas recreativas como Playa Hermosa (De Basabe-Ibarra, 2024; Ocampo-Torres et al., 2024; SS & COFEPRIS, 2024).

El crecimiento urbano desordenado, la expansión del turismo, la agricultura intensiva en el sur de la bahía y las deficiencias en el manejo de aguas residuales representan factores de presión directa sobre la calidad del agua costera. A esto se suma la vulnerabilidad del sistema ante procesos naturales como la intrusión salina —asociada al sobre bombeo de los acuíferos costeros— y la intensificación de eventos climáticos extremos. Estas condiciones, sumadas a una limitada fiscalización ambiental y a la falta de ordenamiento ecológico actualizado, convierten a la BTS en una zona crítica para la gestión de la calidad del agua y la protección de los servicios ecosistémicos costeros. Por tanto, la Bahía de Todos Santos representa un laboratorio natural ideal para el estudio de los impactos acumulativos de los disturbios ambientales costeros, y un caso prioritario para la aplicación de estrategias integradas de monitoreo, regulación y restauración ecológica en regiones costeras urbanizadas.

## RESULTADOS

### Disruptores

Los resultados del estudio se organizan en torno a cinco tipos de disruptores ambientales que interactúan en la Bahía de Todos Santos (BTS): geológicos, climáticos, hidrológicos, oceanográficos y antropogénicos. Esta estructura permite identificar tanto los procesos naturales como las presiones antrópicas que influyen sobre la calidad del agua (Jiang et al., 2014; Madhav et al., 2020). Posteriormente, se presentan los resultados del monitoreo fisicoquímico, de nitrógeno y bacteriológico.

### Disruptores geológicos

**Geología:** La Bahía de Todos Santos (BTS) y su entorno inmediato se localizan en una región geológicamente activa y compleja del noroeste de Baja California, caracterizada por la interacción de procesos tectónicos, volcánicos y sedimentarios. Esta zona forma parte de la Provincia Geológica del Bloque Continental de Baja California, la cual se ha desplazado hacia el noroeste como consecuencia de la apertura del Golfo de California y el movimiento de la Placa Pacífica respecto a la Placa de América del Norte (Fletcher & Munguía, 2000). La secuencia litológica de la región está dominada por rocas ígneas volcánicas y volcánico-sedimentarias del Mioceno-Plioceno, principalmente andesitas, tobas y brechas volcánicas, sobre las cuales descansan unidades más recientes de origen marino, aluvial y eólico. Estas rocas forman parte de la Formación Comondú, ampliamente distribuida en la península de Baja California (Gracia-Marroquín et al., 2025; Umhoefer et al., 2001).

En la zona costera de Ensenada, particularmente en los alrededores de El Sauzal, Punta Banda y Lengüeta Arenosa, se observan depósitos marinos cuaternarios y sedimentos de playa y duna que constituyen ambientes geológicamente jóvenes y dinámicos. Estas unidades son particularmente sensibles a procesos de erosión costera, subsidencia y contaminación por infiltración marina o urbana (INEGI, 2021). Desde el punto de vista estructural, la región está atravesada por un sistema de fallas geológicas activas, entre las que destaca la Falla Agua Blanca (de rumbo NO-SE), una de las más importantes del noroeste de México. Esta falla ha sido responsable de la sismicidad histórica en el área y de la deformación tectónica que ha afectado a los sedimentos marinos y costeros recientes (Wetmore et al., 2019).

El relieve estructural asociado a estas fallas ha condicionado la morfología costera, generando promontorios rocosos, terrazas marinas y depresiones litorales, que a su vez controlan los patrones de escurrimiento superficial y acumulación de sedimentos (Johnson et al., 2024). Esta geodinámica también incide en la conectividad entre acuíferos costeros y el mar, afectando la calidad del agua subterránea. Además, el contexto geológico tiene implicaciones importantes en términos de riesgo geotécnico y de contaminación. En zonas como Cuatro Milpas y La Lagunita, la presencia de capas arcillosas y suelos colapsables sobre litología volcánica facilita el acumulamiento de lixiviados y contaminantes derivados de escurrimientos urbanos y agrícolas (Stevenazzi et al., 2023). Desde una perspectiva ambiental, la comprensión de la geología local es esencial para evaluar la vulnerabilidad del sistema costero ante impactos antrópicos y naturales, así como para el diseño de estrategias de ordenamiento territorial y protección de recursos hídricos subterráneos.

**Geología Estructural:** La Bahía de Todos Santos se localiza en un contexto tectónico altamente activo, determinado por la interacción entre la placa del Pacífico y la placa de América del Norte. Esta dinámica ha generado un sistema de fallas de desplazamiento lateral derecho con componentes normales, que fragmenta la corteza de la región y condiciona la geodinámica del litoral (Michaud et al., 2007). Las principales estructuras reconocidas en la zona son: la Falla Agua Blanca, la Falla San Miguel–Tres Hermanos, la Falla Punta Banda, y estructuras menores asociadas a subsidencia y deformación cortical en bloques locales (Holdsworth et al., 2011; Wetmore et al., 2019). La Falla Agua Blanca es una de las estructuras más prominentes de la península de Baja California, con una longitud superior a los 200 km y actividad documentada durante el Cuaternario. Su traza pasa a unos kilómetros al sur de Ensenada, influenciando directamente la morfología de la costa sur y el desarrollo del sistema hidrotermal en Playa La Joya, donde se han identificado manifestaciones termales asociadas a fracturas abiertas en granitos alterados (Carbajal-Martínez et al., 2024).

La Falla San Miguel–Tres Hermanos atraviesa directamente la ciudad de Ensenada y se prolonga hacia el mar, dividiendo bloques corticales que experimentan subsidencia diferencial. Estudios recientes mediante técnicas InSAR y GNSS han documentado tasas de subsidencia de hasta 3 cm/año en sectores urbanos de Ensenada, lo cual tiene implicaciones relevantes para la gestión del agua subterránea, la estabilidad estructural y la infraestructura sanitaria costera (Donnellan et al., 2017). Además, la interacción entre estas fallas genera fracturamientos secundarios que actúan como vías preferenciales para el flujo de agua subterránea y la movilización de contaminantes desde capas profundas hacia los sistemas costeros superficiales. Esto es especialmente crítico en zonas donde convergen usos agrícolas, urbanos e industriales, como el Valle de Maneadero y la zona industrial de El Sauzal (González-Acevedo et al., 2019; Luján & Romo, 2010).

Desde el punto de vista geohidrológico, estos sistemas de fallas y fracturas favorecen la recarga y descarga del acuífero costero, así como la conectividad entre los sistemas marino y terrestre. En eventos sísmicos o durante mareas extremas, se incrementa la probabilidad de intrusión salina a través de estas discontinuidades estructurales. Asimismo, las fallas costeras pueden amplificar la vulnerabilidad frente al ascenso del nivel del mar y procesos de erosión acelerada en litorales no consolidados (Fernández et al., 2018; Sánchez et al., 2009).

**Edafología:** Los suelos de la zona litoral presentan un mosaico edafológico complejo. En áreas costeras predominan suelos Entisoles y Aridisoles formados sobre depósitos eólicos y marinos, de textura franco-arenosa a arenosa, altamente permeables y con baja capacidad de retención de nutrientes. Estos suelos permiten la infiltración rápida de contaminantes líquidos, pero su escasa retención favorece la lixiviación hacia el subsuelo y eventualmente al acuífero costero (INEGI, 2001). En zonas interiores, como Maneadero o la cuenca de San Carlos, se encuentran suelos de tipo Vertisol y Alfisol, más arcillosos y con mayor capacidad de intercambio catiónico. Estas propiedades edáficas

modulan la carga nutrimental que puede ingresar a la bahía, ya que actúan como filtros naturales que retienen compuestos orgánicos e inorgánicos bajo ciertas condiciones (INEGI, 2006).

**Sedimentos:** La dinámica sedimentaria en la Bahía de Todos Santos (BTS) es un componente esencial para comprender la distribución de contaminantes, la productividad bentónica y los procesos de remoción natural o acumulación de materia orgánica y nutrientes. La variabilidad granulométrica del fondo marino responde tanto a la energía del oleaje como a la proximidad de fuentes continentales, descargas urbanas y escurrimientos superficiales (Sawyer et al., 2016). Este patrón sedimentológico afecta directamente la capacidad de adsorción de contaminantes y su permanencia en el sistema costero. En el sector norte de la BTS, especialmente en áreas como San Miguel y La Ramona, se observan sedimentos gruesos, dominados por arenas medianas a gruesas y gravas, producto de la alta energía del oleaje y la topografía rocosa expuesta. Este tipo de sedimentos favorece una mayor oxigenación del fondo y menor acumulación de materia orgánica, lo cual se refleja en bajos valores de sólidos sedimentables y contaminantes adsorbidos (Khan, 2024).

Por el contrario, en las zonas más resguardadas y de menor energía como El Gallo, Mosquito y La Joya, el fondo marino está compuesto principalmente por limos, arcillas y arenas finas, lo cual promueve una mayor acumulación de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Estos sedimentos finos, debido a su elevada superficie específica y capacidad de intercambio catiónico, actúan como sumideros de nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos (Soto-Jiménez & Páez-Osuna, 2001). Durante el monitoreo realizado, se detectaron valores de sólidos sedimentables superiores a 100 mg/L en estos sitios, cifra muy por encima del umbral recomendado para aguas marinas costeras (<0.5 mg/L), lo que sugiere un proceso activo de deposición influenciado por escurrimientos urbanos y agrícolas, así como por descargas irregulares de aguas residuales (Tanahara et al., 2021).

Los sedimentos también desempeñan un papel relevante como fuentes secundarias de contaminación: bajo condiciones de anoxia, agitación por mareas, o fenómenos meteorológicos extremos, es posible la remoción de contaminantes previamente depositados, generando flujos verticales de nutrientes y metales hacia la columna de agua (Villaescusa-Celaya et al., 2000). Este fenómeno se ha documentado particularmente en zonas estancadas como el sector sureste de El Gallo y el estero de Cuatro Milpas.

Estudios previos han indicado que la acumulación diferencial de sedimentos finos en estas zonas está influenciada no solo por la hidrodinámica interna de la bahía, sino también por el tipo de uso de suelo y cobertura vegetal en la cuenca de drenaje, donde las áreas urbanas y agrícolas contribuyen significativamente con carga sólida y nutrimental (Huerta-Díaz et al., 2008; INEGI, 2001b). En síntesis, la composición, granulometría y tasa de sedimentación en la BTS representan un indicador clave del grado de presión ambiental y del potencial de contaminación del ecosistema marino costero. La caracterización detallada de los sedimentos debe considerarse una herramienta de alerta temprana para procesos de degradación ambiental y planificación de estrategias de restauración.

### **Disruptores climáticos**

**Precipitación:** La región de Ensenada presenta un patrón de precipitación altamente estacional, con lluvias concentradas entre los meses de noviembre y marzo. El promedio anual de precipitación oscila entre 250 y 300 mm, aunque en años secos puede descender por debajo de los 100 mm (CONAGUA, 2014; Magaña et al., 2012). Estos valores reflejan un déficit hídrico permanente que limita el escurrimiento superficial hacia la bahía y favorece la concentración de contaminantes en zonas estancadas. Los eventos de lluvia, aunque escasos, tienen una gran capacidad de arrastre. Las primeras lluvias de la temporada movilizan residuos acumulados en vialidades, suelos desnudos y cauces secos, generando escorrentías intensas que descargan en puntos como el Arroyo El Gallo y el

estero Cuatro Milpas, donde se ha documentado un aumento abrupto de sólidos suspendidos, nutrientes y bacterias coliformes tras episodios pluviales (Dwight et al., 2011; Pinongcos et al., 2022).

Además, la baja infiltración en zonas urbanizadas con superficies impermeables potencia el volumen y la velocidad de los escurrimientos, lo que incrementa la descarga directa de contaminantes hacia el sistema marino costero.

**Temperatura:** Las temperaturas del aire en la zona de Ensenada muestran una marcada oscilación anual: en invierno promedian 12 °C, mientras que en verano alcanzan valores medios de 25 a 28 °C, con extremos que superan los 35 °C durante olas de calor o eventos de Santa Ana (Navarro-Olache et al., 2021). Este patrón térmico afecta directamente la temperatura superficial del mar (SST), que presenta una variación de 14 °C en invierno a 22 °C en verano, favoreciendo la estratificación térmica. El aumento de la temperatura superficial, en combinación con aportes de nutrientes y materia orgánica, puede promover fenómenos como floraciones algales nocivas (FAN) y procesos de hipoxia en zonas con baja circulación, como El Gallo o La Joya (Mathos-Rodríguez, 2022). Asimismo, las temperaturas elevadas reducen la solubilidad del oxígeno, lo cual incrementa la demanda biológica de oxígeno (DBO) y deteriora la calidad del agua en zonas eutrofizadas. Las altas temperaturas también modifican el comportamiento microbiano en aguas residuales descargadas a la bahía, acelerando la descomposición de materia orgánica y elevando los niveles de amonio y nitritos (Orozco-Borbón & Delgadillo-Hinojosa, 1989).

**Vientos:** El régimen de vientos en la Bahía de Todos Santos presenta una marcada estacionalidad y juega un papel fundamental en la dinámica marina y en los procesos de dispersión o acumulación de contaminantes. Predominan los vientos del noroeste, especialmente durante primavera y verano, asociados a la interacción entre sistemas anticiclónicos del Pacífico y la corriente marina de California (López-Sandoval et al., 2009; Reid et al., 1958). Estos vientos intensifican los procesos de afloramiento costero, que movilizan aguas profundas frías y ricas en nutrientes hacia la superficie, promoviendo la productividad primaria en zonas como San Miguel y la parte norte de la bahía. A su vez, esta circulación induce un patrón de renovación parcial del agua costera, contribuyendo a la dispersión de contaminantes en zonas abiertas, pero también acentuando los gradientes de temperatura y salinidad en zonas semirrestringidas como El Gallo y Mosquito.

Durante otoño e invierno, sin embargo, se presentan eventos de “vientos de Santa Ana”, caracterizados por flujos cálidos, secos y turbulentos provenientes del noreste. Estos eventos tienen una duración de entre uno y cuatro días y provocan aumentos abruptos de la temperatura del aire y del agua superficial, disminuyen la humedad relativa, y afectan tanto la calidad del aire como la dinámica costera (Castro et al., 2006; Navarro-Olache et al., 2021). Durante estos episodios, se ha registrado la suspensión de partículas finas en el agua, cambios en la turbidez y el transporte de contaminantes atmosféricos hacia el litoral. Asimismo, las ráfagas intensas de estos vientos pueden generar oleaje anómalo en bahías orientadas al sur o este, como Playa La Joya, donde existe una menor protección morfológica. En combinación con la topografía de la bahía, estos vientos influyen también en la resuspensión de sedimentos, afectando la transparencia del agua y liberando nutrientes previamente depositados en el fondo

En síntesis, los vientos de la región actúan como disruptores físicos, modulando la circulación, la temperatura, la dispersión de contaminantes y la productividad biológica. Su monitoreo es crucial para anticipar fenómenos de deterioro ambiental y para diseñar estrategias de manejo en sistemas costeros con alta vulnerabilidad.

**Clima:** La Bahía de Todos Santos está clasificada dentro del clima BSkw (semiárido seco cálido con lluvias invernales) según la modificación de Köppen. Este tipo climático está definido por su

estacionalidad térmica y escasa precipitación, además de la influencia oceánica que modera los extremos térmicos (Vidal Zepeda, 2005).

Las condiciones de alta radiación solar, especialmente en verano, generan una mayor evaporación superficial y contribuyen a la concentración de sales y contaminantes disueltos. En las zonas internas de la bahía, donde el intercambio con el mar abierto es limitado, como El Gallo o Mosquito, estas condiciones pueden generar acumulación de nutrientes y favorecer procesos de eutrofización (Tanahara et al., 2021). A largo plazo, la combinación de escasez de lluvias, altas temperaturas y aumento del nivel del mar debido al cambio climático puede agravar la intrusión salina en acuíferos costeros y aumentar la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos frente a perturbaciones antropogénicas y naturales (Magaña et al., 2012).

### Disruptores hidrológicos

**Superficial:** Durante la campaña de monitoreo se identificaron entradas de agua dulce contaminada en varios puntos críticos, especialmente donde desembocan arroyos intermitentes como El Gallo, Cuatro Milpas y Zapata. Estas descargas pluviales y urbanas presentan altos niveles de contaminación fecal y nutrientes, influenciados por escurrimientos superficiales de zonas habitacionales sin drenaje sanitario, instalaciones agropecuarias y vertidos industriales. En los puntos La Lagunita (LAG), Mosquito (MOS) y La Joya (JOY) se detectaron concentraciones elevadas de coliformes fecales (>16,000 NMP/100 mL), sólidos suspendidos totales (>110 mg/L) y nitratos por arriba de 4 mg/L, lo que indica un claro aporte de aguas contaminadas por escorrentía pluvial o conexiones clandestinas de aguas negras. Estos valores exceden los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021 para descargas en cuerpos receptores, así como los criterios para uso recreativo establecidos por la Agencia Estadounidense de protección ambiental (USEPA, 2012).

Los escurrimientos se intensifican durante lluvias, fenómeno acentuado por la falta de infraestructura de drenaje pluvial en colonias como El Sauzal y Maneadero. Estas condiciones propician eventos de “first flush”, donde las primeras lluvias arrastran altas concentraciones de contaminantes acumulados, aumentando la carga orgánica y bacteriana hacia la bahía (Encalada-Fleites & Millán-Núñez, 1990; González-Flores, 2024).

**Subterránea:** En zonas como La Joya (JOY), Zapata (ZAP) y Playa Hermosa (HER), se identificaron aportes subterráneos mediante surgencias o filtraciones, evidenciadas por anomalías en la temperatura, conductividad eléctrica (>900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y presencia de nutrientes como nitrógeno total (hasta 3.9 mg/L). Estos parámetros indican la posible descarga subterránea costera (SGD), que puede estar transportando contaminantes desde acuíferos impactados por actividades humanas. El acuífero costero de Maneadero, declarado en sobreexplotación por CONAGUA, presenta signos de intrusión salina y contaminación por infiltración de aguas residuales, debido a la alta densidad poblacional y a la utilización de fosas sépticas en zonas sin red de alcantarillado. Estas aguas se infiltran en el subsuelo y alcanzan la zona de descarga hacia la bahía (Linacre et al., 2010; Zha et al., 2025). La interacción entre el sistema de fallas activas (Agua Blanca, San Miguel) y la dinámica hidrogeológica favorece la conectividad entre los acuíferos y el mar. En sitios como JOY y HER se observan condiciones térmicas atípicas y posible ascenso de aguas subterráneas contaminadas, coincidiendo con zonas de fracturamiento geológico activo (Prol-Ledesma & Arango-Galván, 2017; Wetmore et al., 2019).

### Disruptores oceanográficos

**Corrientes:** Las corrientes marinas en la Bahía de Todos Santos son el resultado de una compleja interacción entre procesos regionales y locales. La Corriente de California, que fluye de norte a sur a lo largo del litoral pacífico de Baja California, es una de las principales influencias externas. Esta corriente

transporta aguas frías, oxigenadas y ricas en nutrientes, favoreciendo procesos de afloramiento costero durante primavera y verano, especialmente en la franja norte de la bahía (Durazo et al., 2024; Mateos et al., 2009). En el interior de la bahía, la circulación es predominantemente débil, modulada por las mareas, el viento local y gradientes de temperatura y salinidad. En sectores como Mosquito, La Joya y El Gallo, las corrientes muestran un patrón de retención que reduce el intercambio con el mar abierto. Esta condición limita la dispersión de contaminantes y propicia la formación de zonas hipóxicas o con alta carga orgánica. La acumulación de materia orgánica no degradada y el incremento de la temperatura superficial pueden derivar en eventos de floraciones algales nocivas (FAN).

**Batimetría:** La morfología submarina de la bahía es fundamental para entender su comportamiento hidrodinámico. La batimetría de la BTS presenta una plataforma continental ancha y poco profunda en la zona norte, donde se localizan playas como Hermosa y La Joya, mientras que hacia el sur la pendiente del fondo marino es más pronunciada, facilitando un mayor intercambio con el océano abierto (Durazo et al., 2024; Ledesma-Vázquez et al., 2009). Las zonas interiores con relieves suaves y fondos llanos actúan como cuencas de sedimentación, donde se acumulan partículas finas transportadas por escurrimientos pluviales y corrientes de fondo. La falta de energía de mezcla en estas áreas favorece condiciones de estratificación térmica y salina, lo que reduce el contenido de oxígeno disuelto en el fondo y afecta la biodiversidad bentónica.

**Mareas:** El régimen mareal en la BTS es semidiurno mixto, con dos ciclos diarios desiguales en amplitud y duración. El rango promedio de marea es de 1.8 metros, con máximos de hasta 2.5 m en mareas vivas (CONAGUA, 2022). Estas fluctuaciones generan un efecto de "bombeo" que influye en la renovación del agua en estuarios y zonas someras.

Sin embargo, su influencia en zonas internas como La Lagunita o Mosquito es limitada, debido a la resistencia hidráulica de la geometría costera y los procesos de fricción de fondo. Durante la bajamar, estas áreas quedan aisladas o con flujos mínimos, concentrando materia orgánica, nutrientes, y coliformes fecales, lo que representa un riesgo para la salud pública y el ecosistema local. Además, las oscilaciones mareales influyen en la efectividad de los sistemas de descarga urbana, especialmente en condiciones de mal diseño o colapso del drenaje sanitario (Mateos & Marinone, 2017), como se ha reportado en las cercanías de Playa Hermosa y Zapata.

**Oleaje:** El régimen de oleaje está dominado por trenes de onda provenientes del noroeste, con una altura significativa promedio de entre 1.2 y 1.8 metros. Estos trenes son modulados por tormentas del Pacífico y pueden alcanzar alturas superiores a 3.5 m en eventos extremos, particularmente durante el invierno (Filonov et al., 2014; Ocampo-Torres et al., 2024). El oleaje determina los niveles de energía costera y la capacidad de dispersión de contaminantes. En playas expuestas como San Miguel y La Joya, el movimiento del agua favorece la remoción de materiales suspendidos y mejora la oxigenación. Por el contrario, en zonas resguardadas como La Lagunita o El Mosquito, la baja energía favorece la acumulación de sedimentos finos, materia orgánica y residuos sólidos.

Durante eventos de mar de fondo o marejadas, se produce la resuspensión de sedimentos contaminados, lo que puede incrementar la turbidez y liberar contaminantes adsorbidos a partículas finas, como metales pesados y compuestos orgánicos persistentes.

**Sedimentos Marinos:** La Bahía de Todos Santos (BTS) actúa como un sistema de acumulación y redistribución de sedimentos, producto de la interacción entre procesos naturales (oleaje, mareas, corrientes litorales) y antrópicos (escorrentías urbanas, descargas portuarias, arrastre agrícola). En este entorno, los sedimentos marinos constituyen una matriz fundamental para comprender la dinámica ambiental y los procesos de contaminación de fondo (Sánchez et al., 2009). Los estudios sedimentológicos en la bahía indican la presencia de texturas predominantemente arenosas y limosas, con contenido variable de arcillas, materia orgánica y carbonatos, dependiendo de la profundidad,

proximidad a fuentes de aporte y energía del sistema. Las zonas someras y cercanas a descargas pluviales o urbanas, como en Cuatro Milpas, El Mosquito y La Lagunita muestran altos contenidos de partículas finas y nutrientes (Huerta-Díaz et al., 2008; Segovia-Zavala et al., 1988).

Diversos trabajos han documentado que estos sedimentos funcionan como sumideros temporales de contaminantes, incluyendo metales pesados como plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd) y arsénico (As), derivados de actividades urbanas, agrícolas e industriales (Lares et al., 2009; Macías-Zamora et al., 2002; Villaescusa-Celaya et al., 2000). En especial, las zonas portuarias y el área frente a El Sauzal presentan concentraciones elevadas de metales asociados a combustibles, aceites, pinturas y residuos pesqueros. La dinámica hidro sedimentaria, influenciada por la batimetría, el régimen de corrientes y los eventos de tormenta, favorece la resuspensión periódica de sedimentos contaminados, lo cual genera efectos ecológicos en organismos bentónicos y en la columna de agua. Este fenómeno ha sido señalado como un riesgo latente para la calidad ambiental de la BTS, especialmente ante escenarios de intensificación de tormentas o cambios en el uso de suelo costero (Araujo-Leyva et al., 2020).

Además, el aumento de partículas orgánicas y materia suspendida, proveniente del arrastre urbano, promueve procesos de hipoxia y eutrofización, afectando la biodiversidad y la resiliencia ecológica del sistema marino. Por ello, el análisis geoquímico y granulométrico de los sedimentos marinos constituye una herramienta clave para el monitoreo ambiental, la identificación de fuentes de contaminación y la evaluación del impacto acumulado de actividades humanas en la zona costera de Ensenada (Álvarez-Aguilar et al., 2017). En conclusión, los sedimentos de la BTS no solo reflejan la historia deposicional y la dinámica hidrodinámica del sistema, sino también los efectos sinérgicos de las presiones antrópicas, siendo un componente esencial para cualquier diagnóstico de salud ambiental costera.

### Disruptores antropogénicos

**Tipos de Uso de Suelo:** El uso del suelo en el área de influencia de la Bahía de Todos Santos (BTS) ha cambiado drásticamente en las últimas décadas debido al crecimiento urbano, la expansión industrial y el desarrollo turístico. Estos cambios han generado presiones ambientales significativas, modificando la cobertura vegetal, alterando los flujos hidrológicos superficiales y subterráneos, y aumentando la carga de contaminantes hacia el ecosistema costero. En la franja costera y zona periurbana de Ensenada predominan los usos urbanos residenciales, turísticos, industriales y agropecuarios, mientras que en las partes altas y hacia el sur de la bahía se mantienen áreas de uso forestal y de conservación ecológica, aunque cada vez más fragmentadas (INEGI, 2007).

El crecimiento urbano ha sido desordenado en colonias como Zapata, Maneadero, El Gallo y El Sauzal, donde no existen servicios adecuados de drenaje ni gestión de residuos. En estas zonas, la ocupación irregular de suelos con escasa planeación ha llevado a la pérdida de superficies naturales permeables, lo cual incrementa la escorrentía urbana contaminada y favorece la infiltración de aguas negras en el subsuelo (Iturraspe et al., 2021; Nájera González et al., 2023). La conversión de suelos agrícolas a residenciales o comerciales, sin medidas de compensación ambiental, ha deteriorado la capacidad natural de retención de agua y nutrientes, alterando también la dinámica de recarga del acuífero costero. Asimismo, la presencia de caminos no pavimentados, zonas de acarreo y rellenos improvisados genera erosión, sedimentación y contaminación difusa hacia arroyos temporales que descargan en la BTS (Caso et al., 2007; Chiappa-Carrara et al., 2019).

En sectores como Lengüeta Arenosa y La Bufadora, el desarrollo turístico ha implicado la construcción de vialidades, hoteles y zonas de esparcimiento en áreas con alta fragilidad ecológica. Estos cambios han reducido la vegetación nativa, afectado la biodiversidad y generado presiones sobre las playas y sistemas dunares costeros. Finalmente, el uso industrial y portuario en la zona de El Sauzal y la dársena

de Ensenada ha generado acumulación de residuos industriales, escurrimientos con hidrocarburos y pérdida de zonas intermareales, transformando la interfaz tierra-mar de forma permanente.

La modificación del uso de suelo es, por tanto, uno de los principales factores de alteración de la calidad ambiental en la BTS, y debe ser considerado con alta prioridad en los planes de ordenamiento territorial y restauración ecológica.

**Actividades Socioeconómicas:** El crecimiento urbano-industrial y la diversificación productiva han aumentado significativamente la huella ecológica de Ensenada. Sectores como la pesca, acuicultura, agricultura, industria ligera, servicios portuarios y turismo generan descargas contaminantes difusas y puntuales. Por ejemplo, la industria pesquera genera residuos orgánicos que se descargan en zonas cercanas a El Sauzal y El Gallo. En el Valle de Maneadero, el uso intensivo de agroquímicos y fertilizantes ha provocado la contaminación del acuífero y filtraciones hacia el ecosistema marino. Las actividades turísticas, especialmente en la franja de Playa Hermosa y La Bufadora, producen descargas sanitarias irregulares y presión sobre los servicios urbanos (Arreola-Serrano et al., 2022). El puerto de Ensenada genera emisiones atmosféricas, hidrocarburos y residuos industriales. La actividad náutica recreativa también contribuye a la contaminación por coliformes y metales pesados si no se controla adecuadamente (Reyes-Márquez et al., 2025).

**Minería:** Aunque en la actualidad no existen explotaciones mineras activas de gran escala, la región presenta pasivos ambientales derivados de actividades extractivas pasadas, particularmente en la zona sur de la BTS. La minería de materiales pétreos y metálicos, como hierro y manganeso, ha dejado depósitos residuales con potencial de liberación de metales pesados (Pb, Cd, Zn) por procesos de lixiviación. Estos materiales pueden ser arrastrados por el viento o por escorrentía pluvial hacia el mar, contribuyendo a la contaminación crónica de los sedimentos marinos. Estudios han confirmado concentraciones anómalas de metales en sedimentos de La Joya, Zapata y Playa Hermosa (Huerta-Díaz et al., 2008; Long et al., 1993).

**Hidrología Urbana:** La infraestructura urbana de Ensenada presenta graves deficiencias en recolección, conducción y tratamiento de aguas residuales y pluviales. Amplias zonas urbanas carecen de conexión al drenaje sanitario, como Zapata, El Gallo y El Sauzal, lo que ha dado lugar a vertimientos directos al suelo o cuerpos de agua, así como al uso extendido de fosas sépticas sin control técnico. Durante eventos de lluvia, las calles, canales abiertos y cárcamos colapsados actúan como colectores de contaminantes. Las campañas de monitoreo han mostrado aumentos significativos en coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en puntos como Mosquito, Cuatro Milpas y Playa Hermosa, especialmente después de eventos de precipitación intensa.

A pesar de contar con plantas de tratamiento como la de El Sauzal, existen reportes de fallas operativas, insuficiencia de capacidad y desvíos clandestinos que agravan la carga contaminante hacia la bahía (CONAGUA, 2022; Mendoza-Espinosa & Barraza-González, 2005).

### Monitoreo

Durante diez campañas de monitoreo realizadas en la Bahía de Todos Santos se analizaron diversos parámetros fisicoquímicos del agua marina, cuyos resultados permiten caracterizar el estado actual del ecosistema costero. En términos generales, los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), potencial óxido-reducción (Eh), temperatura, salinidad, oxígeno disuelto (OD) y los sólidos en sus diferentes fracciones se encuentran dentro de los rangos aceptables para ambientes marinos (Cuadro1). Sin embargo, se detectaron anomalías significativas en puntos como el arroyo El Gallo, lo cual sugiere la presencia de fuentes de contaminación urbana o descargas residuales no tratadas.

El pH osciló entre 7.2 y 8.4, lo cual se encuentra dentro del rango permitido por la NOM-001-SEMARNAT-2021 (6 a 9), y refleja una ligera alcalinidad propia de los ambientes marinos, generada en parte por procesos fotosintéticos que consumen CO<sub>2</sub> y elevan el pH (Pindar et al., 2021). El Eh varió entre 0.2 y 0.5 V, indicando condiciones oxidantes, lo que favorece la estabilidad de especies iónicas como nitratos y metales en solución (Takarina, 2020). En cuanto a la CE, se registraron valores desde 9 mS/cm en El Gallo hasta 58 mS/cm en El Sauzal, evidenciando una importante variación espacial asociada a diferencias en la carga iónica del agua, lo que indica posible mezcla entre agua marina y aportes dulces o contaminados.

**Tabla 1**

*Estadística básica de parámetros fisicoquímicos en agua de mar, durante 10 campañas de muestreo*

Sitio	Parámetro																	
	pH			Eh (V)			CE (mS/cm)			Tagua °C			Densidad (g/mL)			Salinidad (‰)		
	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d
San Miguel	8.4	7.5	7.9	0.4	0.3	0.4	51	49	50	19	12	15	1.03	1.03	1.03	36	34	35
Sauzal	8.4	7.3	7.9	0.4	0.4	0.4	58	50	51	17	13	15	1.03	1.03	1.03	36	34	35
Ramona	8.4	7.4	7.9	0.4	0.3	0.4	50	49	49	18	13	15	1.03	1.03	1.03	35	34	35
Irish	8.3	7.8	8.0	0.4	0.3	0.4	50	50	50	17	13	15	1.03	1.03	1.03	36	33	35
Mosquito	8.3	7.6	8.1	0.4	0.4	0.4	50	49	50	17	15	16	1.03	1.03	1.03	36	33	35
El Gallo	8.0	7.2	7.7	0.5	0.2	0.4	50	9	34	22	15	18	1.03	1.01	1.02	35	6	27
Playa Hermosa	8.3	7.5	8.0	0.5	0.4	0.4	50	49	50	18	14	17	1.03	1.03	1.03	35	32	34
Playa Pacífica	8.4	7.4	8.0	0.5	0.4	0.4	50	49	50	21	16	18	1.03	1.03	1.03	36	33	34
Playa Monalisa	8.4	7.3	8.0	0.5	0.4	0.4	51	49	50	20	14	18	1.03	1.03	1.03	35	33	35
La Joya	8.4	7.4	8.1	0.5	0.4	0.4	50	50	50	21	16	18	1.03	1.03	1.03	35	32	34

La salinidad mostró valores típicos del ambiente marino (34–36‰), pero en El Gallo descendió bruscamente a 6‰, lo que, junto con la disminución de la densidad (1.01 g/mL en comparación con el promedio de 1.03 g/mL), sugiere una fuerte dilución por aportes no marinos, probablemente aguas residuales domésticas. La temperatura del agua varió entre 12 y 22 °C, lo que está dentro del comportamiento estacional esperado para una zona costera del Pacífico Norte, y puede influir en la solubilidad del oxígeno y en la actividad biológica (Chapra et al., 2021).

El oxígeno disuelto presentó valores entre 7 y 9 mg/L, considerados adecuados para la mayoría de los organismos marinos, aunque se identificaron fluctuaciones que podrían deberse a procesos de mezcla, productividad primaria o degradación de materia orgánica (Cuadro 2). Los sólidos totales (Stot) oscilaron entre 7 y 109 ‰, con una alta dispersión entre los sitios. Los sólidos disueltos totales (SDT) variaron entre 9 ‰ y 54 ‰, lo que indica diferencias en la mineralización del agua y posibles fuentes de aporte contaminante. Los sólidos volátiles (Svol), que van de 1.3 a 9.8 ‰, revelan una carga orgánica variable, posiblemente asociada a materia orgánica en descomposición, descargas urbanas y procesos de eutrofización.

**Tabla 2**

*Estadística básica de parámetros fisicoquímicos y sólidos en agua de mar, durante 10 campañas de muestreo*

Sitio	Parámetro																	
	Tamb °C			OD (mg/L)			SDT (‰)			Ssed (‰)			Svol(‰)			Stot(‰)		
	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d	Ma x	Mi n	Me d
San Miguel	18	10	15	12.6	7.5	9.3	51	49	50	0	0	0	7	2.9	5.3	50	32	40
Sauzal	18	11	14	9.7	7.4	8.9	50	50	50	0.1	0	0.01	7.2	2.5	5.4	53	33	41
Ramona	19	12	15	9.6	7.5	8.8	54	45	49	0	0	0	7.8	3.2	5.6	52	35	39
Irish	17	13	15	12.5	7.4	9.1	50	45	49	0	0	0	8.4	3.6	5.6	53	31	39
Mosquito	22	15	18	9.7	7.4	8.6	50	49	50	0	0	0	9.8	3.4	5.6	42	36	39
El Gallo	29	15	19	9.0	1.4	7.7	50	9	35	0.1	0	0.02	5.7	1.3	3.9	41	7	30
Playa Hermosa	21	16	18	9.3	7.3	8.4	50	49	50	0	0	0	7.9	3	5.4	109	31	45
Playa Pacifica	22	17	19	8.9	7.0	8.2	50	49	50	0	0	0	7.2	3.4	5.1	107	34	45
Playa Monalisa	24	17	19	9.3	7.0	8.3	51	49	50	0	0	0	7.1	3	5	52	33	39
La Joya	24	17	20	8.9	6.9	8.2	50	49	50	0.1	0	0.01	7.4	3.2	5.1	53	33	39

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian niveles elevados de nitrógeno total en diversas zonas de la Bahía de Todos Santos (BTS), en particular en sitios cercanos a descargas urbanas como El Gallo, Cuatro Milpas y El Mosquito. Este patrón refleja una carga nutrimental significativa, derivada principalmente de aguas residuales municipales sin tratamiento adecuado o con deficiencias operativas, lo cual coincide con reportes previos para sistemas costeros urbanos (Howard et al., 2017; Poot-Delgado et al., 2015). Desde el punto de vista ecológico, la presencia excesiva de nitrógeno, tanto en forma inorgánica (nitrito, nitrito, amoniacal) como total, es un factor determinante en procesos de eutrofización. Esta condición favorece el desarrollo de floraciones algales nocivas, la disminución de transparencia del agua y la reducción progresiva de oxígeno disuelto, particularmente en cuerpos de agua semicerrados o con baja hidrodinámica como la BTS (Carriquiry et al., 2016; Devlin & Brodie, 2023). La consecuente hipoxia o anoxia puede generar mortalidad masiva de fauna bentónica, alteración de cadenas tróficas y pérdida de biodiversidad, afectando la estabilidad ecológica del ecosistema marino.

Además, se ha documentado que el exceso de nutrientes promueve la proliferación de microorganismos heterótrofos y patógenos, así como la acumulación de materia orgánica en descomposición, lo que agrava el deterioro de la calidad del agua. Esta sinergia entre nutrientes y bacterias, como coliformes fecales, es especialmente crítica en ambientes recreativos costeros. La presencia simultánea de estos contaminantes evidencia fallas estructurales en la gestión del saneamiento urbano y en la protección de zonas turísticas con alto valor ecológico y económico. Desde la perspectiva sanitaria, el nitrógeno en el agua marina puede representar un riesgo directo para la salud humana cuando se encuentra en forma de nitrito y nitrito, especialmente en niños y mujeres embarazadas. Estudios han demostrado que la exposición a estos compuestos puede provocar metahemoglobinemia o "síndrome del bebé azul", así como efectos potencialmente cancerígenos a largo plazo (Brender, 2020; Nieder & Benbi, 2022). Aunque estos riesgos se documentan principalmente

en aguas potables contaminadas, el contacto incidental a través de actividades recreativas (natación, inmersión, pesca) representa un vector de exposición importante, especialmente cuando se combina con la ingestión accidental de agua de mar. La BTS, por su configuración morfológica y dinámica costera limitada, presenta condiciones propicias para la retención prolongada de contaminantes. Esto favorece su acumulación y persistencia en el sistema, incrementando el riesgo de exposición humana, la bioacumulación en organismos marinos y el deterioro progresivo del hábitat. Por tanto, el monitoreo de especies nitrogenadas debe considerarse un componente crítico dentro de los programas de gestión ambiental costera, particularmente en zonas con uso recreativo intensivo y escasa capacidad de renovación de agua.

En el caso de los sólidos sedimentables (Ssed), los valores superaron en algunos puntos hasta 200 veces los límites sugeridos internacionalmente (0.5 mg/L), alcanzando 100 mg/L. Este exceso representa un riesgo potencial para organismos bentónicos, ya que puede reducir la penetración de oxígeno en el sedimento y afectar la calidad del hábitat (Bilotta & Brazier, 2008). Al analizar las correlaciones entre los parámetros se identificaron asociaciones relevantes. El pH se relaciona positivamente con el Eh, lo cual está documentado en la literatura como un comportamiento típico de sistemas acuáticos bien oxigenados donde predominan reacciones de oxidación (Pindar et al., 2021). Por otra parte, la CE mostró relación con el OD en algunos puntos, lo cual podría explicarse por zonas con mayor actividad fotosintética o mezcla vertical, aunque esta asociación requiere confirmación con estudios de mayor resolución. Las diferencias marcadas en CE, salinidad, temperatura y sólidos entre los distintos puntos de muestreo sugieren una fuerte heterogeneidad ambiental, producto de la interacción entre procesos naturales y perturbaciones antropogénicas (Xin et al., 2022).

En síntesis, el análisis de los parámetros fisicoquímicos revela que la Bahía de Todos Santos mantiene en general condiciones compatibles con un ecosistema marino funcional, pero existen focos críticos como El Gallo donde se observan señales claras de alteración de la calidad del agua. Las evidencias sugieren influencia de aguas residuales, escorrentía urbana y carga orgánica en zonas específicas, lo cual amerita un monitoreo más detallado y medidas correctivas para preservar la salud ecológica del sistema costero. Cabe señalar que en el presente estudio no se incluyó el análisis directo de contaminantes emergentes como metales pesados y micro plásticos en agua y sedimentos. Estos componentes fueron considerados únicamente como potenciales disruptores ambientales a partir de la literatura disponible y del contexto regional, pero su cuantificación analítica no formó parte del alcance de esta campaña de monitoreo. Su ausencia constituye una limitación del estudio que deberá ser atendida en investigaciones futuras, dado que ambos representan indicadores clave del deterioro ambiental en sistemas costeros urbanizados y su incorporación permitiría fortalecer el diagnóstico integral de la Bahía de Todos Santos.

### Nitrógeno

Durante las cinco últimas campañas de monitoreo en diez sitios distribuidos en la Bahía de Todos Santos, se evaluaron las distintas formas de nitrógeno presentes en el agua marina: nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrógeno total. El análisis individual de estas especies permite identificar procesos biogeoquímicos y fuentes de contaminación relevantes para la calidad ambiental del ecosistema costero (Cuadro 3).

Los resultados muestran que las concentraciones más elevadas de nitratos se registraron en el sitio conocido como El Gallo (508  $\mu\text{M}$ ), seguido por la parte norte de la bahía. Esta distribución espacial sugiere un patrón claro de aportes antropogénicos, en particular de descargas urbanas no tratadas, ya que el nitrato es uno de los productos finales del ciclo del nitrógeno tras procesos de nitrificación en presencia de oxígeno (Galloway et al., 2008). En el caso de los nitritos, su concentración también alcanzó un valor máximo en El Gallo (3.8  $\mu\text{M}$ ), reforzando la hipótesis de que esta zona actúa como un punto de entrada de aguas residuales, dado que los nitritos suelen representar una etapa intermedia

en la nitrificación y pueden acumularse en condiciones de oxigenación limitada (Hutchins & Capone, 2022).

**Tabla 3**

*Estadística básica de concentraciones de especies de nitrógeno determinadas en agua de mar, durante 5 campañas de muestreo. Todo en unidades de  $\mu\text{M}$*

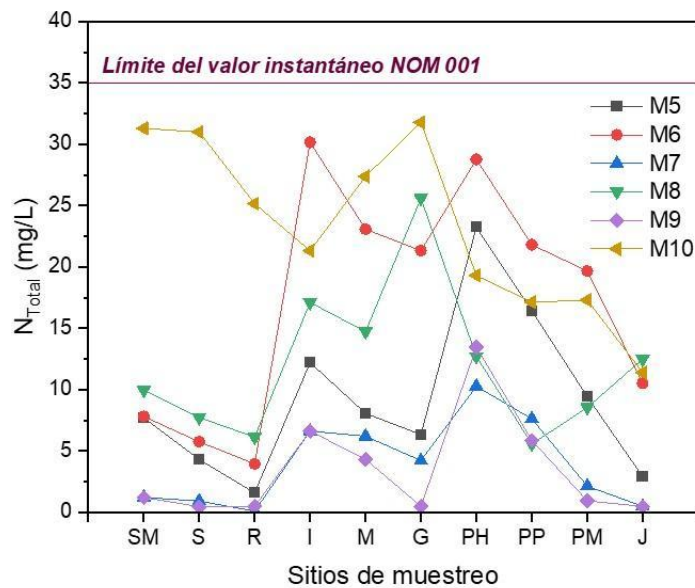
Sitio	Nitratos			Nitritos			N-Amoniacal			N total		
	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med
San Miguel	502	19.4	157	1.54	0.04	0.43	28	0.6	6.8	510	21	164
Sauzal	498	7.3	134	0.89	0.07	0.29	11	0.6	3.4	503	8	137
Ramona	403	1.6	99	1.33	0.02	0.39	22	0.3	5.8	410	2	105
Irish	484	106	249	1.67	0.15	0.82	31	1.1	9.8	492	108	260
Mosquito	439	69	223	1.17	0.02	0.57	24	0.6	6.8	447	71	230
El Gallo	508	7.3	239	3.8	0.3	1.5	22	0.6	6.0	518	9.8	246
Playa Hermosa	461	165	287	1.17	0.33	0.86	22	3.3	8.6	469	168	296
Playa Pacífica	350	89	198	0.85	0.04	0.61	17	1.7	5.4	355	92	204
Playa Monalisa	316	15	155	0.72	0.3	0.53	11	1.7	3.8	319	17	159
La Joya	200	7.3	102	0.63	0.15	0.35	11	1.1	4.0	204	9.1	106

En contraste, la mayor concentración de nitrógeno amoniacal ( $31 \mu\text{M}$ ) se identificó en el sitio Irish, seguido por San Miguel y El Mosquito. La presencia elevada de amonio en estas zonas puede deberse a procesos de degradación de materia orgánica en ambientes con baja renovación del agua o a descargas directas de origen doméstico e industrial (Seitzinger et al., 2002). Esta forma de nitrógeno es particularmente relevante debido a su toxicidad potencial para organismos acuáticos, especialmente en aguas con pH elevado y temperaturas altas, donde puede transformarse en amoníaco no ionizado ( $\text{NH}_3$ ), altamente tóxico.

El valor más alto de nitrógeno total también se reportó en El Gallo ( $518 \mu\text{M}$ ), lo que confirma el papel de este sitio como uno de los más impactados de la bahía. A pesar de estas concentraciones, ninguna de ellas superó el valor instantáneo máximo permitido por la NOM-001-SEMARNAT-2021 para cuerpos receptores marinos (gráfico 1), lo cual indica que, si bien existen focos de contaminación, el sistema aún mantiene una capacidad de dilución o asimilación suficiente para evitar excedencias normativas.

**Gráfico 1**

*Concentraciones de nitrógeno total en muestras de agua de mar*



Desde una perspectiva estadística, se identificó una correlación moderada ( $r \approx 0.62$ ) entre los valores de nitratos y nitritos, lo que indica que ambas especies tienden a aumentar de forma paralela en ciertas condiciones, aunque no de manera estrictamente proporcional. Esta relación sugiere la coexistencia de procesos simultáneos de nitrificación parcial y acumulación intermedia, posiblemente modulados por condiciones locales de oxígeno y temperatura. En cambio, el nitrógeno amoniacal mostró una correlación mucho más débil con las otras formas de nitrógeno, lo que evidencia su comportamiento más autónomo, ligado a aportes primarios recientes de contaminación o a condiciones reductoras del ambiente.

**Coliformes fecales**

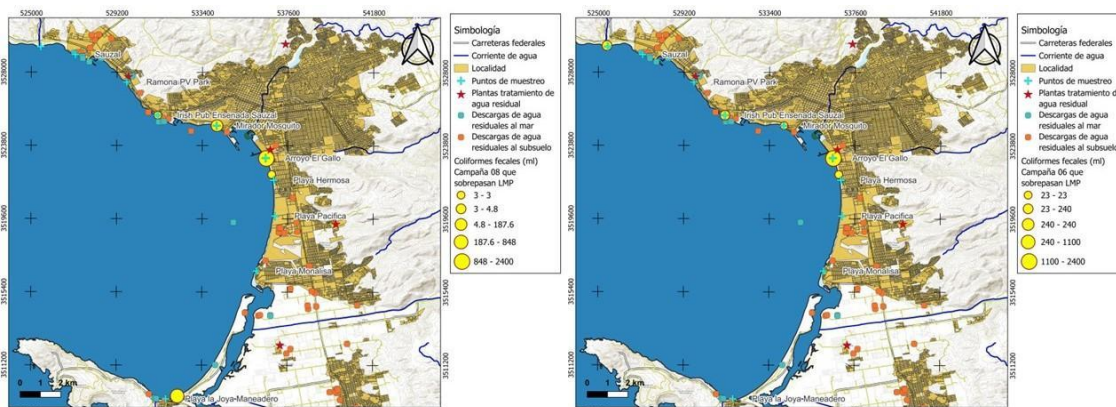
Para uso recreativo que es de 200NMP/100 mL. Además, también se observa la ubicación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), así como las descargas desde las PTAR, directas al mar o al subsuelo. El análisis de coliformes fecales en los cuerpos marinos de la Bahía de Todos Santos constituye un indicador fundamental para evaluar la calidad sanitaria del agua y la posible presencia de contaminación de origen humano o animal. Este grupo bacteriano, conformado principalmente por *Escherichia coli* y otras enterobacterias, habita en el tracto intestinal de los mamíferos, y su detección en ambientes acuáticos está estrechamente asociada con descargas fecales recientes, siendo por ello un parámetro microbiológico de alta sensibilidad para alertar sobre riesgos sanitarios (USEPA, 2012; WHO, 2021).

Durante las campañas de monitoreo, se observaron concentraciones elevadas de coliformes fecales en varios sitios de la bahía, con énfasis en el punto de muestreo conocido como El Gallo, donde se registraron valores promedio superiores a los 600 NMP/100 mL. En la figura 2, se muestran los mapas con los resultados de los análisis de enterococos, que se detectaron por encima (en rojo) o por debajo (en azul) del Límite Máximo Permisible (LMP) por la NOM-001-SEMARNAT-2021 (200 NMP/100 mL para cuerpos de agua costeros con contacto primario) y los criterios de la Organización Mundial de la Salud, lo que indica un alto riesgo potencial para la salud humana.

**Figura 2**

*Distribución de coliformes fecales en los sitios de muestreo (monitoreo 6 y 8), así como localización de zonas de descarga y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)*

El origen de estos niveles anómalos puede explicarse por la presencia de descargas urbanas sin tratamiento que ingresan directamente al ecosistema marino. En el caso de El Gallo, se ha



documentado previamente el impacto de escurrimientos pluviales cargados de contaminantes domésticos, así como el desbordamiento de sistemas de drenaje en temporadas de lluvia intensa (Hernández-Morales & Poot-Delgado, 2018; Hernández-Terrones et al., 2015). A ello se suma el hecho de que esta zona presenta baja salinidad, baja conductividad y elevada carga orgánica, condiciones fisicoquímicas que favorecen la supervivencia de bacterias fecales en el medio marino (Korajkic et al., 2019; Noble et al., 2004)

Además de El Gallo, otros puntos como San Miguel, La Lagunita e Irish Beach mostraron valores de coliformes entre 100 y 300 NMP/100 mL, situándose en una zona de alerta sanitaria. Estos resultados sugieren que, si bien la mayoría de los sitios no sobrepasan los umbrales normativos, existen focos emergentes de contaminación fecal que podrían agravarse por la acumulación de residuos sólidos, la falta de infraestructura de saneamiento y el crecimiento urbano descontrolado en la franja costera. Desde el punto de vista de la salud pública, la presencia de coliformes fecales implica una alta probabilidad de existencia de patógenos entéricos como *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, norovirus o rotavirus, que pueden causar enfermedades gastrointestinales, infecciones dérmicas, otitis e incluso afecciones respiratorias al exponerse al agua contaminada (Jones et al., 2025; Kay et al., 2004). Este riesgo es particularmente alto en las zonas costeras de uso recreativo donde las personas tienen contacto directo con el agua, como ocurre en playas turísticas y áreas de pesca artesanal.

El monitoreo continuo de bacterias fecales es crucial no solo para la protección de la salud humana, sino también para preservar la integridad ecológica de la bahía. La presencia de contaminación microbiológica afecta los ciclos biogeoquímicos, altera la composición del fitoplancton, reduce la diversidad de fauna bentónica y deteriora los servicios ecosistémicos que ofrecen las zonas costeras (Mallin et al., 2000; Wei et al., 2025). Además, la persistencia de estos contaminantes podría comprometer la certificación sanitaria de productos pesqueros y acuícolas, afectando negativamente la economía local. Finalmente, se recomienda reforzar los sistemas de saneamiento municipal, establecer zonas de amortiguamiento hidráulico para retención de escorrentía contaminada, y aplicar tecnologías de tratamiento descentralizado en las comunidades aledañas a la bahía. Asimismo, es urgente actualizar la normativa local en función de los nuevos criterios internacionales de calidad bacteriológica para cuerpos de agua recreativos (USEPA, 2012).

**DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos permiten identificar una serie de procesos sinérgicos entre factores naturales y antrópicos que afectan la calidad del agua en la Bahía de Todos Santos (BTS). La evidencia empírica obtenida muestra que, aunque en términos generales los parámetros fisicoquímicos se mantienen dentro de los rangos normativos, existen áreas con alteraciones significativas, particularmente en la zona de El Gallo, lo que subraya la existencia de focos de presión ambiental agudos. El descenso abrupto en salinidad, conductividad y densidad, junto con concentraciones elevadas de nitrógeno y coliformes fecales en ese sitio, sugiere un patrón persistente de contaminación asociado a descargas urbanas sin tratamiento. Estos hallazgos coinciden con antecedentes documentados en otras bahías dentro de las costas de México, donde la urbanización acelerada y las deficiencias en infraestructura sanitaria han derivado en procesos de eutrofización crónica (Soto-Jiménez & Páez-Osuna, 2001; Vargas-González et al., 2014), donde los procesos de urbanización no planificada y la deficiencia en la infraestructura sanitaria representan factores de alto riesgo ambiental y sanitario.

Desde una perspectiva hidrológica, la identificación de escurrimientos pluviales altamente contaminados y de aportes subterráneos degradados refuerza la necesidad de considerar la interacción entre sistemas superficiales y subterráneos en los análisis de calidad ambiental. En ambientes semiáridos, donde la recarga de acuíferos y la intrusión marina mantienen un equilibrio frágil, estas interacciones pueden incrementar el riesgo de contaminación difusa y deterioro de la calidad del agua costera (Akhtar et al., 2021; Alfarrach & Walraevens, 2018). En términos oceanográficos, los patrones de circulación restringida, la batimetría somera y las zonas de baja energía hidrodinámica, como El Mosquito o La Joya, generan condiciones favorables para la acumulación de materia orgánica, sedimentos contaminados y proliferación de bacterias fecales. Esta dinámica ha sido señalada en estudios internacionales como un factor clave para la formación de zonas hipóxicas y pérdida de biodiversidad bentónica en sistemas costeros urbanizados (Wei et al., 2025).

La presencia persistente de coliformes fecales en sitios recreativos plantea un riesgo sanitario directo y evidencia una deficiencia en la aplicación de normativas ambientales. Aunque no todos los sitios exceden los límites permisibles, el patrón espacial observado indica un proceso de deterioro gradual que puede agravarse con el cambio climático, particularmente ante eventos extremos como lluvias intensas o marejadas. Finalmente, si bien el sistema aún demuestra cierta capacidad de resiliencia hidrodinámica, los resultados del monitoreo evidencian la necesidad de un monitoreo ambiental permanente, la modernización de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales y la actualización del marco normativo, incorporando contaminantes emergentes como microplásticos, antibióticos y metales traza, siguiendo las tendencias de gestión ambiental observadas en otras regiones costeras del mundo.

No obstante, un aspecto importante a considerar es que este trabajo no incluyó la cuantificación directa de contaminantes emergentes como metales pesados y micro plásticos, a pesar de que su presencia en bahías urbanizadas y con intensa actividad portuaria ha sido ampliamente documentada (Andrady, 2017; Gutiérrez-Galindo et al., 2010; Hidalgo-Ruz et al., 2012). La ausencia de estos parámetros constituye una limitación metodológica, pues ambos actúan como disruptores ambientales de alta persistencia y representan riesgos potenciales para la biodiversidad y la salud humana. Sin embargo, los resultados obtenidos aportan una línea base sólida sobre las condiciones fisicoquímicas, nutrimentales y bacteriológicas de la Bahía de Todos Santos, a partir de la cual podrán diseñarse futuras campañas de monitoreo integral que incluyan la caracterización geoquímica de sedimentos, el análisis de micro plásticos y la detección de otros contaminantes emergentes.

## **CONCLUSIONES**

El presente estudio proporciona una caracterización ambiental integral de la Bahía de Todos Santos (BTS), en Ensenada, Baja California, mediante un enfoque multidimensional que abarcó variables geológicas, climáticas, hidrológicas, oceanográficas, fisicoquímicas y microbiológicas. A través de

campañas de monitoreo sistemáticas, se logró identificar los principales factores de presión que alteran la calidad del agua costera en esta región semiárida altamente urbanizada y ambientalmente vulnerable. Los resultados obtenidos revelan la existencia de condiciones ambientales críticas en zonas específicas de la bahía, especialmente en el sitio El Gallo, donde se registraron concentraciones anómalas de nutrientes (nitrógeno total  $>500 \mu\text{M}$ ), sólidos sedimentables ( $>100 \text{ mg/L}$ ) y coliformes fecales ( $>600 \text{ NMP/100 mL}$ ), superando los límites permisibles establecidos por la normativa nacional e internacional para cuerpos de agua recreativos.

La evidencia empírica sugiere que estos niveles elevados de contaminación están asociados a una combinación de descargas urbanas sin tratamiento, escorrentía pluvial contaminada y posibles filtraciones de aguas subterráneas impactadas por actividades humanas. En este contexto, se observó un descenso significativo en la salinidad, densidad y conductividad en zonas receptoras de aportes no marinos, lo cual indica la intrusión de agua dulce contaminada. Asimismo, los sedimentos marinos actúan como sumideros de materia orgánica y contaminantes, con alta acumulación en sectores de baja energía hidrodinámica, como Mosquito, La Joya y Cuatro Milpas, donde las condiciones oceanográficas y geomorfológicas favorecen la retención y recirculación de contaminantes.

Desde el punto de vista biogeoquímico, se identificaron correlaciones estadísticamente relevantes entre los parámetros fisicoquímicos (pH, Eh, CE, salinidad, OD) y las especies de nitrógeno, lo que refuerza la hipótesis de procesos activos de eutrofización y de transformación de materia orgánica en ambientes poco oxigenados. Esta dinámica implica una alteración de los ciclos naturales de nutrientes y una afectación directa a la biodiversidad bentónica, especialmente en zonas de acumulación sedimentaria, donde se incrementa la probabilidad de formación de zonas hipóxicas o anóxicas.

El análisis estructural y edafológico de la región mostró que las condiciones geológicas (fallas activas, suelos colapsables, litologías volcánicas) y la urbanización acelerada favorecen la infiltración de contaminantes hacia los acuíferos costeros, agravando fenómenos como la intrusión salina, la sobreexplotación hídrica y la pérdida de conectividad ecológica entre sistemas terrestre-marinos. Este fenómeno es particularmente preocupante en zonas como Maneadero y El Sauzal, donde la presión sobre los recursos hídricos subterráneos es alta y la infraestructura sanitaria resulta insuficiente o deficiente. A pesar de que los patrones oceanográficos de la BTS permiten cierta renovación hídrica estacional mediante corrientes marinas, mareas y oleaje, los resultados indican que esta capacidad de autorregulación no es suficiente para diluir la carga contaminante de origen antropogénico en zonas críticas. Las condiciones de batimetría suave, mareas de baja amplitud y escasa circulación en el interior de la bahía limitan la dispersión efectiva de los contaminantes y propician su acumulación. Este patrón representa un riesgo tanto ecológico como sanitario, especialmente en playas de uso recreativo, donde la exposición directa a bacterias fecales y nutrientes puede generar brotes de enfermedades gastrointestinales o infecciones dérmicas.

En consecuencia, este estudio destaca la necesidad urgente de fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental continuo, integrar la vigilancia fisicoquímica y microbiológica con tecnologías de sensores y plataformas geoespaciales, y actualizar el marco regulatorio ambiental, incorporando contaminantes emergentes como micro plásticos, metales traza y compuestos orgánicos persistentes. Asimismo, se recomienda avanzar hacia un modelo de gobernanza ambiental participativa que articule la acción institucional con el conocimiento científico y la corresponsabilidad social. La Bahía de Todos Santos constituye un caso emblemático de presión antropogénica en ecosistemas costeros semiáridos y plantea desafíos críticos para el ordenamiento ecológico, la sostenibilidad del recurso hídrico y la protección de la salud pública. Solo mediante una planeación territorial integral, basada en evidencia científica y con enfoque ecosistémico, será posible restaurar las funciones ecológicas de este ecosistema costero estratégico y garantizar su resiliencia frente al cambio climático y al crecimiento urbano futuro.



## REFERENCIAS

Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A., & Umar, K. (2021). Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*, 13(2660), 35. <https://doi.org/10.3390/w13192660>

Alfarrah, N., & Walraevens, K. (2018). Groundwater overexploitation and seawater intrusion in coastal areas of arid and semi-arid regions. *Water*, 10(143), 24. <https://doi.org/10.3390/w10020143>

Álvarez-Aguilar, A., Rodríguez-Villanueva, V., Macías-Zamora, J. V., Ramírez-Álvarez, N., & Hernández-Guzmán, F. A. (2017). Spatio-temporal analysis of benthic polychaete community structure in the north-western coast of Baja California, Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97(5), 993–1005. <https://doi.org/10.1017/S0025315417000637>

Álvarez-Vázquez, H. (1994). Basic Concepts to Develop a Marine Pollution Monitoring Program at the Tijuana-Ensenada Corridor, Baja California, Mexico [Master of Science]. Oregon State University.

Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>

Araujo-Leyva, O., Rodríguez-Villanueva, L. V., & Macías-Zamora, J. V. (2020). Biodiversity of polychaetous annelids in Bahía de Todos Santos, Baja California México. *Zoosymposia*, 19(1), 51–71. <https://doi.org/10.11646/zoosymposia.19.1.10>

Arreola-Serrano, A. S., Mendoza-Espinosa, L. G., Hernández-Cruz, A., Daesslé, L. W., & Villada-Canela, M. (2022). Quantifying the pollutant load into the Southern California Bight from Mexican sewage discharges from 2011 to 2020. *Frontiers in Water*, 4(993713), 9.

Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849–2861. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>

Brender, J. D. (2020). Human health effects of exposure to nitrate, nitrite and nitrogen dioxide (M. A. Sutton, A. Bleeker, C. Masso, S. Reis, K. E. Mason, K. W. Hicks, N. Raghuram, & M. Bekunda, Eds.; pp. 283–294). Springer Nature.

Carbajal-Martínez, D., Wanner, C., Diamond, L. W., Peiffer, L., Fletcher, J. M., Inguaggiato, C., & Contreras-López, M. (2024). Behavior of amagmatic orogenic geothermal systems: insights from the Agua Blanca Fault, Baja California, Mexico. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 25, 23. <https://doi.org/10.1029/2023GC011145>

Carriquiry, J. D., Jorgensen, P., Villaescusa, J. A., & Ibarra-Obando, S. E. (2016). Isotopic and Elemental Composition of Marine Macrophytes as Biotracers of Nutrient Recycling Within a Coastal Lagoon in Baja California, Mexico. *Estuaries and Coasts*, 39(2), 451–461. <https://doi.org/10.1007/s12237-015-9992-9>

Caso, M., González-Abraham, C., & Ezcurra, E. (2007). Divergent ecological effects of oceanographic anomalies on terrestrial ecosystems of the Mexican Pacific coast. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 10530–10535. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0701862104](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0701862104)

Castro, R., Martínez-Díaz de León, M. A., Durazo, R., & Gil-Silva, E. (2006). Spatial influence and oceanic thermal response to Santa Ana events along the Baja California peninsula. *Atmósfera*, 19(3), 195–211.

Chapra, S. C., Camacho, L. A., & McBride, G. B. (2021). Impact of global warming on dissolved oxygen and bod assimilative capacity of the world's rivers: Modeling analysis. *Water*, 13(2408), 20. <https://doi.org/10.3390/w13172408>

Chiappa-Carrara, X., Enríquez, C., Papiol, V., Mariño-Tapia, I., & Reyes-Hernández, C. (2019). Pacific coast of Mexico. In C. Sheppard (Ed.), *World Seas: An Environmental Evaluation Volume I: Europe, the Americas and West Africa* (2nd ed., pp. 655–671). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00045-0>

COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). (2024). Manual operativo: monitoreo de la calidad del agua de uso recreativo de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce. [www.gob.mx/cofepris](http://www.gob.mx/cofepris),

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2014). *Política Pública Nacional para la Sequía*.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2022). *Estadísticas del Agua en México 2021*.

De Basabe-Ibarra, J. E. (2024). *Las aguas turbias de Ensenada y el desastre provocado* [Master in Science]. Benemérita Universidad de Guadalajara.

Devlin, M., & Brodie, J. (2023). Nutrients and Eutrophication. In A. Reichelt-Brushett (Ed.), *Marine Pollution-Monitoring, Management and Mitigation* (pp. 75–100). Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10127-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10127-4_4)

Donnellan, A., Arrowsmith, R., & DeLong, S. (2017). Spatio-temporal mapping of plate boundary faults in California using geodetic imaging. *Geosciences*, 7(15), 26. <https://doi.org/10.3390/geosciences7010015>

Dubey, D., & Dutta, V. (2019). Nutrient enrichment in lake ecosystem and its effects on algae and macrophytes. In V. Shukla & N. Kumar (Eds.), *Environmental Concerns and Sustainable Development: Volume 2: Biodiversity, Soil and Waste Management* (Vol. 2, pp. 81–126). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6358-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6358-0_5)

Durazo, R., Flores-Vidal, X., Castro, R., Ocampo-Torres, F. J., Saavedra, J., Rodríguez-Padilla, I., & Larrañaga, M. (2024). Surface circulation in Todos Santos Bay, Baja California, México. *Continental Shelf Research*, 273, 105171. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105171>

Dwight, R. H., Caplan, J. S., Brinks, M. V., Catlin, S. N., Buescher, G., & Semenza, J. C. (2011). Influence of variable precipitation on coastal water quality in southern California. *Water Environment Research*, 83(12), 2121–2130. <https://doi.org/10.2175/106143011x12928814444574>

Encalada-Fleites, R. R., & Millán-Núñez, E. (1990). Impact of Industrial and domestic waste waters on the benthic communities of Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 16(4), 121–139. <https://doi.org/10.7773/cm.v16i4.706>

Fernández, V., Silva, R., Mendoza, E., & Riedel, B. (2018). Coastal flood assessment due to extreme events at Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 165, 319–333. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.09.007>

Filonov, A., Lavín, M. F., Ladah, L. B., & Tereshchenko, I. (2014). Spatial variability of internal waves in an open bay with a narrow steep shelf in the Pacific off NW Mexico. *Continental Shelf Research*, 78, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.01.015>

Fletcher, J. M., & Munguía, L. (2000). Active continental rifting in southern Baja California Mexico: Implications for plate motion partitioning and the transition to seafloor spreading in the Gulf of California. *Tectonics*, 19(6), 1107–1123. <https://doi.org/10.1029/1999TC001131>

Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P., & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*, 320(5878), 889–892.

González-Acevedo, Z. I., García-Zarate, M. A., & Flores-Lugo, I. P. (2019). Emerging contaminants and nutrients in a saline aquifer of a complex environment. *Environmental Pollution*, 244, 885–897. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.104>

González-Flores, J. G. (2024). A Comprehensive Approach to Effective Coastal Environmental Management for Todos Santos, Baja California Sur, Mexico [Master of Resource Management]. Simon Fraser University.

Gracia-Marroquín, D., Cerca, M., López-Martínez, M., Bonini, M., & Orozco-Esquivel, T. (2025). Structural geology and geochronology of the Comondú Group in the Tembabichi area, Baja California Sur, México. *Journal of Maps*, 21(1), 15. <https://doi.org/10.1080/17445647.2025.2499010>

Gutiérrez-Galindo, E. A., Muñoz-Barbosa, A., Mandujano-Velasco, M. R., Daesslé, L. W., & Orozco Borbón, M. V. (2010). Distribution and enrichment of silver and cadmium in coastal sediments from Bahía Todos Santos, Baja California, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85, 391–396. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0103-0>

Häder, D. P., Banaszak, A. T., Villafañe, V. E., Narvarte, M. A., González, R. A., & Helbling, E. W. (2020). Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total Environment*, 713, 136586. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136586>

Hernández-Morales, S. G., & Poot-Delgado, C. A. (2018). Total Coliforms in Tourist Boardwalk. *Conciencia Tecnológica*, 55, 14–18.

Hernández-Terrones, L. M., Null, K. A., Ortega-Camacho, D., & Paytan, A. (2015). Water quality assessment in the Mexican Caribbean: Impacts on the coastal ecosystem. *Continental Shelf Research*, 102, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.015>

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science and Technology*, 46, 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>

Holdsworth, R. E., van Diggelen, E. W. E., Spiers, C. J., de Bresser, J. H. P., Walker, R. J., & Bowen, L. (2011). Fault rocks from the SAFOD core samples: Implications for weakening at shallow depths along the San Andreas Fault, California. *Journal of Structural Geology*, 33, 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2010.11.010>

Howard, M. D. A., Kudela, R. M., & Mclaughlin, K. (2017). New insights into impacts of anthropogenic nutrients on urban ecosystem processes on the Southern California coastal shelf: Introduction and synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 186, 163–170.

Huerta-Díaz, M. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Hernández-Ayón, M., Segovia-Zavala, J. A., García-Esquivel, Z., López-Zarate, H., Siqueiros-Valencia, A., & Galindo-Bect, S. (2008). Diagnosis of trace metal contamination in sediments: The example of Ensenada and El Sauzal, two harbors in Baja California, Mexico. *Marine Environmental Research*, 66(3), 345–358. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.05.008>

Hutchins, D. A., & Capone, D. G. (2022). The marine nitrogen cycle: new developments and global change. *Nature Reviews Microbiology*, 20(7), 401–414. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00687-z>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2001a). Síntesis de información geográfica del estado de Baja California.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2001b). Síntesis de Información Geográfica del Estado de Baja California.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2006). Síntesis geográfica de Baja California.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). Cartas Edafológicas. Escala 1:250,000 Serie II. Continuo Nacional Ensenada. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236236>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). Actividades económicas de Baja California, México. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/economia/default.aspx?tema=me&e=02>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). Sistema de Consulta, Espacio y datos de México Mapa Interactivo (<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espaciodydatos/default.aspx?ag=02>).

Iturraspe, R. J., Fank, L., Urciuolo, A. B., & Lofiego, R. (2021). Effects of urban growth on coastal and continental wetlands in the semiarid environment of Tierra del Fuego, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, 75, 139–165. <https://doi.org/10.14198/INGEO.17586>

Jiang, J.-J., Lee, C.-L., & Fang, M.-D. (2014). Emerging organic contaminants in coastal waters: Anthropogenic impact, environmental release and ecological risk. *Marine Pollution Bulletin*, 85, 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.045>

Johnson, M. E., Lin, T.-Y., & Su, S.-J. (2024). Comparison of Coastal Geology and Subtropical Storms Impacting Taiwan and Mexico's Baja California Sur Around the Tropic of Cancer in the Pacific Basin. *Journal of Coastal Research*, 40(5), 972–993. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-24a-00002.1>

Jones, M. L., Clare Leonard, A. F., Bethel, A., Lamb, E., Gaze, W. H., Taylor, T., Singer, A. C., Ukoumunne, O. C., & Garside, R. (2025). Recreational exposure to polluted open water and infection: A systematic review and meta-analysis protocol. *Environment International*, 200, 109371. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109371>

Kay, D., Bartram, J., Prüss, A., Ashbolt, N., Wyer, M. D., Fleisher, J. M., Fewtrell, L., Rogers, A., & Rees, G. (2004). Derivation of numerical values for the World Health Organization guidelines for recreational waters. *Water Research*, 38, 1296–1304. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.032>

Khan, M. Y. A. (2024). Evaluating the Spatial Variations in Bed Sediment and Their Depositional Environments Using Particle-Size Analysis of Wadi Fatima, Saudi Arabia. *Water*, 16(24), 3553. <https://doi.org/10.3390/w16243553>

Korajkic, A., Wanjugi, P., Brooks, L., Cao, Y., & Harwood, V. J. (2019). Persistence and Decay of Fecal Microbiota in Aquatic Habitats. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 83(4), 10–36. <https://doi.org/10.1128/mbr.00000-2019>

Lares, M. L., Marinone, S. G., Rivera-Duarte, I., Beck, A., & Sañudo-Wilhelmy, S. (2009). Spatial variability of trace metals and inorganic nutrients in surface waters of Todos Santos Bay, México in the summer of 2005 during a red tide algal bloom. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(4), 707–716. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9210-x>

Ledesma-Vázquez, J., Johnson, M. E., Gonzalez-Yajimovich, O., & Santamaría-Del-Angel, E. (2009). Gulf of California Geography, Geological Origins, Oceanography, and Sedimentation Patterns. In M. E. Johnson & J. Ledesma-Vázquez (Eds.), *Atlas of coastal ecosystems in the western Gulf of California* (pp. 1–10).

Límites Permisibles de Contaminantes En Las Descargas de Aguas Residuales En Cuerpos Receptores Propiedad de La Nación, Pub. L. No. NOM-001-SEMARNAT-2021, 22 (2022).

Linacre, L., Durazo, R., Hernández-Ayón, J. M., Delgadillo-Hinojosa, F., Cervantes-Díaz, G., Lara-Lara, J. R., Camacho-Ibar, V., Siqueiros-Valencia, A., & Bazán-Guzmán, C. (2010). Temporal variability of the physical and chemical water characteristics at a coastal monitoring observatory: Station ENSENADA. *Continental Shelf Research*, 30, 1730–1742. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.07.011>

Long, E. R., MacDonald, D. D., Sherri Smith, C. L., Fred Calder, C. D., & Bldg, D. (1993). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments.

López-Sandoval, D. C., Lara-Lara, J. R., Lavín, M. F., Álvarez-Borrego, S., & Gaxiola-Castro, G. (2009). Productividad primaria en el Pacífico oriental tropical adyacente a Cabo Corrientes, México. *Ciencias Marinas*, 35(2), 169–182. <https://doi.org/10.7773/cm.v35i2.1530>

Luján, V., & Romo, J. M. (2010). Audiomagnetotelluric investigation of seawater intrusion using 2-D inversion of invariant impedances. *Geologica Acta*, 8(1), 51–66.

Macías-Zamora, J. V., Mendoza-Vega, E., & Villaescusa-Celaya, J. A. (2002). PAHs composition of surface marine sediments: a comparison to potential local sources in Todos Santos Bay, B. C., Mexico. *Chemosphere*, 46, 459–468. <https://www.researchgate.net/publication/237036811>

Madhav, S., Ahamad, A., Singh, A. K., Kushawaha, J., Chauhan, J. S., Sharma, S., & Singh, P. (2020). Water Pollutants: Sources and Impact on the Environment and Human Health. In D. Pooja, P. Kumar, P. Singh, & S. Patil (Eds.), *Sensors in water pollutants monitoring: role of material* (pp. 43–62). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_4)

Magaña, V., Zermeño, D., & Neri, C. (2012). Climate change scenarios and potential impacts on water availability in northern Mexico. *Climate Research*, 51(2), 171–184. <https://doi.org/10.3354/cr01080>

Mallin, M. A., Williams, K. E., Esham, E. C., & Lowe, R. P. (2000). Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological Applications*, 10(4), 1047–1056. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1047:EOHDOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1047:EOHDOB]2.0.CO;2)

Mateos, E., & Colorado, G. (2017). Modelación numérica de la circulación de la Bahía de todos Santos, B. C., México.

Mateos, E., & Marinone, S. G. (2017). Variabilidad de corrientes por propagación de ondas en bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 43(3), 191–201. <https://doi.org/10.7773/cm.v43i3.2775>

Mateos, E., Marinone, S. G., & Parés-Sierra, A. (2009). Towards the numerical simulation of the summer circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, B.C. Mexico. *Ocean Modelling*, 27(1–2), 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2008.11.002>

Mathos-Rodríguez, V. H. (2022). Tasas de respiración de comunidades microbianas dominadas por dinoflagelados formadores de florecimientos algales nocivos (*Lingulodinium polyedra* y *Noctiluca scintillans*) en muestras naturales de la Bahía de Todos Santos [Bachelor in Oceanology]. Universidad Autónoma de Baja California.

Mendoza-Espinosa, L., & Barraza-González, M. (2005). Laposibilidad del riego de productos agrícolas con aguas residuales tratadas en el valle de Manedero, Baja California. *Revista Universitaria de La UABC*, 3(50), 24–29.

Michaud, F., Calmus, T., Royer, J.-Y., Sosson, M., Bandy, B., Dymont, J., Bigot-Cormier, F., Chambert, A., & Bourgois, J. (2007). Right-lateral active faulting between southern Baja California and the Pacific plate: The Tosco-Abreojos fault. *The Geological Society of America*, 422(Special paper), 287–300.

Nájera González, A., Marceleño Flores, S., Chávez-Dagostino, R. M., Nájera González, O., & Carrillo González, F. M. (2023). Vulnerabilidad costera y cambio climático: propuesta metodológica de prospectiva participativa basada en las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP). *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 25(9), 1–19. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2023.25.84853>

Navarro-Olache, L. F., Castro, R., Durazo, R., Hernández-Walls, R., Mejía-Trejo, A., Flores-Vidal, X., & Flores-Morales, A. L. (2021). Influence of Santa Ana winds on the surface circulation of Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Atmosfera*, 34(1), 97–109. <https://doi.org/10.20937/ATM.52719>

Nieder, R., & Benbi, D. K. (2022). Reactive nitrogen compounds and their influence on human health: an overview. *Reviews on Environmental Health*, 37(2), 229–246. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0021>

Noble, R. T., Lee, I. M., & Schiff, K. C. (2004). Inactivation of indicator micro-organisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater. *Journal of Applied Microbiology*, 96, 464–472. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02155.x>

Ocampo-Torres, F. J., Esquivel-Trava, B., Osuna, P., & García-Nava, H. (2024). On the wave field as observed in the BTS (Todos Santos Bay, Ensenada, Mexico) Natural Laboratory. *Pan-American Marine Energy Conference*, 56/1-53/1.

Orozco-Borbón, Ma. V., & Delgadillo-Hinojosa, F. (1989). Faecal contamination in surface sediments of Todos Santos Bay, Baja California. *Ciencias Marinas*, 15(1), 47–62.

Pindar, R. L., Batchelor-McAuley, C., Yang, M., & Compton, R. G. (2021). Towards Direct Electroanalysis in Seawater: Understanding the Role of the Buffer Capacity of Seawater in Proton-Coupled Electron Transfer Reactions. *The Journal of Physical Chemistry C*, 125(51), 27949–27958. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.1c09142>

Pinongcos, F., Mladenov, N., Calderon, J., Verbyla, M. E., Kinoshita, A. M., Gersberg, R., & Batikian, C. M. (2022). Chemical and Microbial Markers for Discriminating Sanitary Sewer Contamination in Coastal, Urban Streams. *ACS ES and T Water*, 2, 1747–1759. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.2c00265>

Poot-Delgado, C. A., Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A., & Rendón-von Osten, J. (2015). Annual cycle of phytoplankton with emphasis on potentially harmful species in oyster beds of Términos Lagoon, southeastern Gulf of Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50, 465–477. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572015000400006>

Prol-Ledesma, R. M., & Arango-Galván, C. (2017). Sistemas Geotérmicos de la península de Baja California. <https://www.researchgate.net/publication/371599120>

- Reid, Joseph., Roden, G. I., & Wyllie, J. G. . (1958). Studies of the California Current System.
- Reyes-Márquez, A., Barrera-Huertas, H. A., Sedeño-Díaz, J. E., Morales-Acuña, E., Aguiñiga-García, S., Cervantes-Duarte, R., & López-López, E. (2025). Heavy Metal Pollution in Water and Seston in a Subtropical Coastal Lagoon of the Gulf of Mexico: Hydrometeorological and Anthropic Influence. *Water*, 17, 1929. <https://doi.org/10.3390/w17131929>
- Sánchez, A., Carriquiry, J., Barrera, J., & López-Ortiz, B. E. (2009). Comparación de modelos de transporte de sedimento en la bahía todos Santos, Baja California, México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1), 13–24.
- Sawyer, A. H., Michael, H. A., & Schroth, A. W. (2016). From soil to sea: the role of groundwater in coastal critical zone processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3, 706–726. <https://doi.org/10.1002/wat2.1157>
- Segovia-Zavala, J. A., Rivera-Duarte, I., & Del-Valle-Villorín, F. J. (1988). Effects of organic wastes in the zones adjacent to the effluents of Bahía de Todos Santos: Nutrients. *Ciencias Marinas*, 14(1), 81–94. <https://doi.org/10.7773/cm.v14i1.559>
- Seitzinger, S. P., Kroeze, C., Bouwman, A. F., Caraco, N., Dentener, F., & Styles, R. V. (2002). Global patterns of dissolved inorganic and particulate nitrogen inputs to coastal systems: Recent conditions and future projections. *Estuaries*, 25(4), 640–655. <https://doi.org/10.1007/BF02804897>
- Singh, P. K., Kumar, U., Kumar, I., Dwivedi, A., Singh, P., Mishra, S., Seth, C. S., & Sharma, R. K. (2024). Critical review on toxic contaminants in surface water ecosystem: sources, monitoring, and its impact on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(45), 56428–56462. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34932-0>
- Smucker, N. J., Beaulieu, J. J., Nietch, C. T., & Young, J. L. (2021). Increasingly severe cyanobacterial blooms and deep water hypoxia coincide with warming water temperatures in reservoirs. *Global Change Biology*, 27, 2507–2519. <https://doi.org/10.1111/gcb.15618>
- Soto-Jiménez, M. F., & Páez-Osuna, F. (2001). Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(3), 259–274. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0814>
- SS (Secretaría de Salud), & COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). (2024). Monitoreo de la calidad del agua de uso recreativo de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce. [www.gob.mx/cofepris](http://www.gob.mx/cofepris),
- Stevenazzi, S., Del Gaudio, E., Ruggiero, D., D’Aniso, C., Patelli, A. M., & Ducci, D. (2023). Geochemical and Isotopic Evidence for Investigating the Impacts of Landfills on Groundwater: A Case Study in the Campania Region (Southern Italy). *Sustainability (Switzerland)*, 15, 15822. <https://doi.org/10.3390/su152215822>
- Takarina, N. D. (2020). Distribution patterns of redox potential in intertidal zone of Blanakan coast and their implication on the coastal ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 561(1), 6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012055>
- Tanahara, S., Canino-Herrera, S. R., Durazo, R., Félix-Bermúdez, A., Vivanco-Aranda, M., Morales-Estrada, E., & Lugo-Ibarra, K. del C. (2021). Spatial and temporal variations in water quality of Todos Santos Bay, northwestern Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113148>

Umhoefer, P. J., Dorsey, R. J., Willsey, S., Mayer, L., & Renne, P. (2001). Stratigraphy and geochronology of the Comondú Group near Loreto, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentary Geology*, 144, 125–147. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00138-5)

USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2012). *Recreational Water Quality Criteria*.

Vargas-González, H. H., Arreola-Lizárraga, J. A., Mendoza-Salgado, R. A., Méndez-Rodríguez, L. C., Lechuga-Deveze, C. H., Padilla-Arredondo, G., & Cordoba-Matson, M. (2014). Effects of sewage discharge on trophic state and water quality in a coastal ecosystem of the Gulf of California. *The Scientific World Journal*, 2014(618054), 7. <https://doi.org/10.1155/2014/618054>

Vidal Zepeda, R. (2005). Región 1. Noroeste. In M. Pavón (Ed.), *Las regiones climáticas de México I.2.2* (pp. 19–29). Instituto de Geografía, UNAM.

Villaescusa-Celaya, J. A., Gutieã Rrez-Galindo, E. A., & Flores-Munã Oz, G. (2000). Heavy metals in the fine fraction of coastal sediments from Baja California (Mexico) and California (USA). 108, 453–462. [www.elsevier.com/locate/envpol](http://www.elsevier.com/locate/envpol)


Wei, J., Su, Z., Zheng, Y., Feifei, L., & Wen, D. (2025). Wastewater discharge intensity drives coastal microbial community assembly and pollution history determines their resistance. *Journal of Environmental Management*, 393(127200). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127200>

Wetmore, P. H., Malservisi, R., Fletcher, J. M., Alsleben, H., Wilson, J., Callihan, S., Springer, A., González-Yajimovich, O., & Gold, P. O. (2019). Slip history and the role of the Agua Blanca fault in the tectonics of the North American-Pacific plate boundary of southern California, USA and Baja California, Mexico. *Geosphere*, 15(1), 119–145. <https://doi.org/10.1130/GES01670.1>

WHO (World Health Organization). (2021). *Guidelines on recreational water quality. Volume 1, Coastal and fresh waters*. World Health Organization.

Xin, P., Wilson, A., Shen, C., Ge, Z., Moffett, K. B., Santos, I. R., Chen, X., Xu, X., Yau, Y. Y. Y., Moore, W., Li, L., & Barry, D. A. (2022). Surface water and groundwater interactions in salt marshes and their impact on plant ecology and coastal biogeochemistry. *Reviews of Geophysics*, 60, 54. <https://doi.org/10.1029/2021RG000740>

Zha, X., Hernández Anguiano, J. H., Padilla Benítez, F., Cruz-Falcón, A., Miranda-Avilés, R., Mendoza Cantú, M. E., Perera-Burgos, J. A., Liao, X., Navarro-Céspedes, J. M., Acosta-Reyes, M. A., & Li, Y. (2025). Status of seawater intrusion in Mexico: A review. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 57(102189), 23. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102189>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores, agradecen a los estudiantes de la clase de geología Ambiental, año 2022: González-Riaño Vanessa I., Gutiérrez-Salomón Jaime, Hidalgo-Rodríguez Ricardo A., Márquez-Arellano Pamela B., y Romero-Vera Carla L., por su valiosa colaboración en el muestreo y análisis de las muestras que dieron origen a este trabajo. También se agradece al CICESE por el apoyo de infraestructura prestado para los análisis.