



**Universidad Autónoma de Baja California**  
**Posgrado en Manejo de Ecosistemas de Zonas**  
**Áridas**

Propuesta de índice de percepción de calidad del agua costera  
(CAC): un caso de estudio en Ensenada, Baja California, México.

TESIS

PARA CUBRIR PARCIALMENTE EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA-

Alexis Gilberto Martínez Serrano

COMITÉ TUTORIAL:

Dr. Bernardino Ricardo Eaton González

Dr. Nain Breslau Martínez Segura

Dra. Mary Carmen Ruíz de La Torre

Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera

Ensenada, Baja California, México. Agosto 2022



## Universidad Autónoma de Baja California

### Posgrado en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

TESIS

Propuesta de índice de percepción de calidad del agua costera (CAC): un caso de estudio en Ensenada, Baja California, México.

PRESENTA-

Alexis Gilberto Martínez Serrano

ATENTAMENTE COMITÉ TUTORIAL:

Dr. Bernardino Ricardo Eaton González

(Director)

Dr. Nain Breslau Martínez Segura

(Sinodal)

Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera

(Codirectora)

Dra. Mary Carmen Ruíz de La Torre

(Sinodal)

Ensenada Baja California, México. Junio 2022

## Índice

Agradecimientos	6
I. Resumen	6
II. Introducción	7
III. Antecedentes	8
<b>III.I- Indicadores y calidad del agua costera</b>	8
<b>III.II- Percepción remota, observación del océano, teledetección de clorofila-a y temperatura</b>	10
<b>III.III- Monitoreo oficial del agua de mar</b>	11
<b>III.IV- Percepción de contaminantes y efectos en la salud</b>	13
<b>III.V- Descargas de agua, distribución y dispersión de partículas suspendidas</b>	15
<b>III.VI- Monitoreo de la calidad del agua costera y zonas de riesgo en la región</b>	15
IV. Objetivo	18
<b>IV.I General</b>	18
<b>IV.II- Objetivos específicos</b>	18
V. Hipótesis	19
VI. Área de estudio	20
VII. Metodología	22
<b>VII.I- Calidad del agua costera y percepción remota</b>	22
<b>VII.I.I- Compilación e integración de la base de datos de muestreos costeros COBTS</b>	22
<b>VII.I.II- Obtención, procesamiento y análisis de imágenes de satélite para la integración de la base de datos de caracterización espectral de las estaciones de muestreo del COBTS</b>	22
<b>VII.I.III- Correlación de la base de datos de muestreo costero con insumos satelitales</b>	24

<b>VII.II- Inventario fuentes de contaminación</b>	<b>25</b>
<b>VII.II.I- Caracterización de las descargas costeras: identificación, registro y base de datos de fuentes de contaminación</b>	<b>25</b>
<b>VII.II.II- Zonificación con base en la distribución de fuentes de contaminación activas</b>	<b>25</b>
<b>VII.III- Calidad del agua costera y percepción social</b>	<b>26</b>
<b>VII.III.I- Zonificación costera</b>	<b>26</b>
<b>VII.III.II- Desarrollo y análisis del instrumento de percepción social</b>	<b>26</b>
<b>VIII. Resultados</b>	<b>28</b>
<b>VIII.I- Calidad del agua costera con base al COBTS e insumos satelitales</b>	<b>28</b>
<b>VIII.I.I- Integración y análisis de la base de datos de muestreos costeros</b>	<b>28</b>
<b>VIII.I.II- Análisis de imágenes de satélite</b>	<b>29</b>
<b>VIII.I.III- Correlación de la base de datos de muestreo costero con insumos satelitales</b>	<b>30</b>
<b>VIII.II- Inventario fuentes de contaminación</b>	<b>30</b>
<b>VIII.II.I- Base de datos de la distribución de fuentes de contaminación</b>	<b>30</b>
<b>VIII.II.II- Zonificación con base en la distribución de fuentes de contaminación</b>	<b>31</b>
<b>VIII.II- Calidad del agua costera con base en percepción social</b>	<b>33</b>
<b>VIII.II.I- Zonificación costera</b>	<b>33</b>
<b>VIII.II.II- Resultados de percepción de usuarios</b>	<b>34</b>
<b>VIII.II.III- Percepción de contaminación</b>	<b>34</b>
<b>VIII.II.III- Percepción de efectos en la salud</b>	<b>37</b>
<b>IX. Discusiones</b>	<b>39</b>
<b>IX.I- Calidad del agua costera con base al COBTS e insumos satelitales</b>	<b>39</b>
<b>IX.II- Inventario fuentes de contaminación</b>	<b>39</b>

<b>IX.III- Calidad del agua costera con base en percepción social</b>	40
X. Conclusión y medidas para el manejo	40
XI. Referencias	42
<b>Información demográfica</b>	53
<b>Percepción de la contaminación</b>	58
<b>Percepción de efectos en la salud humana</b>	60
<b>Alternativas para mejora o gestión</b>	63

## Agradecimientos

Sin duda alguna esta disertación no habría tenido lugar sin el apoyo y cooperación de mi comité, por esto expreso mi más sincera gratitud para el Dr. Bernardino Ricardo Eaton González, el Dr. Nain Breslau Martínez Segura, la Dra. Mary Carmen Ruiz De La Torre y la Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera, gracias por confiar en mí, compartir su trabajo y experiencia en esta etapa de mi formación.

Un especial agradecimiento a la comunidad de usuarios de la playa, por su cooperación en la aplicación de cuestionarios, su colaboración ha sido muy valiosa.

Estoy agradecido con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por su apoyo a través del programa de becas nacionales y en especial a la Universidad Autónoma de Baja California por ayudarme a crecer como profesionista y persona.

Agradezco a mis compañeros y amigos por su apoyo.

Gracias a mi familia, por su apoyo incondicional, consejo en momentos clave y motivarme a seguir adelante.

**Palabras claves:** calidad agua costera, percepción remota, clorofila-a, coliformes fecales.

## I. Resumen

La zona costera del centro de población de Ensenada, Baja California está en constante cambio por la influencia de procesos naturales y antrópicos. Los efectos se reflejan en la calidad del agua, así como en la vida marina y salud humana. Por una parte, uno de los indicadores más utilizados para caracterizar la calidad del agua costera es la clorofila-a, porque está relacionada con la biomasa fitoplanctónica. Además, que su concentración está asociada a la disponibilidad de luz y nutrientes (Fleisher, 1993; Boyer, 2009; EPA, 2012; Preciado, 2015 y Palau, 2019). Por otra parte, los análisis bacteriológicos son ampliamente utilizados como indicadores de calidad del agua costera en zonas donde se realizan actividades recreativas (Pike, 1994; Shyue, 1996; McBride, 1998; Prüss, 1998; Colford, 2007 y Palau, 2019). Por esto, en este estudio, se creó un modelo de correlación de datos satelitales con datos de muestreo de agua, utilizando como base los datos obtenidos del sensor MSI producto nivel 1A de la plataforma satelital sentinel-2 e información de campañas de muestreo del proyecto “Crucero Oceanográfico Bahía Todos Santos” (COBTS), que contiene los datos de clorofila-a y temperatura registrados entre 2017, 2019 y 2020 en muestras tomadas dentro de la bahía de Todos Santos y correspondientes a la franja costera contigua del centro de población de Ensenada. Además, para obtener información adicional se realizó un inventario de descargas de agua como posibles fuentes de contaminación en la zona costera. Con base en dicho

inventario se identificaron 95 descargas activas y seis áreas de posible riesgo. También, se documentó y analizó la percepción de usuarios selectos que practican actividades como: Natación, surf, pesca, buceo y caminata, aplicando cuestionarios de consulta persona a persona que se denominaron: “Instrumento para Evaluación de la Percepción de Indicadores de Contaminación y Efectos a la Salud en Usuarios Selectos del Agua Costera”. A través de este instrumento, se identificaron zonas de riesgo potencial relacionadas a la presencia de contaminación y sintomatología asociada a la exposición en agua con altas concentraciones de organismos patógenos, percibida por los usuarios selectos. Por un lado, los resultados muestran que cinco de las seis zonas son percibidas como constantemente contaminadas por los usuarios selectos. Mientras que los problemas a la salud son poco percibidos por los usuarios selectos. Sin embargo, los problemas oculares son los más percibidos, seguidos de los problemas del oído, la piel, las vías respiratorias y del estómago.

## II. Introducción

Desde la década de los sesenta, en Estados Unidos y Europa se reconocía la necesidad de formar criterios de calidad para los recursos naturales, principalmente para el agua (Vighi, 2006).

Los índices de calidad del agua permiten asignar un valor numérico que expresa la magnitud relativa de un fenómeno o condición compleja (Gupta, 2003). Si bien, se han desarrollado diversos índices de calidad del agua (Horton, 1965; Inhaber, 1975; Cooper, 1998 y Lachhab, 2019), el agua costera ha recibido menor atención. Uno de los indicadores más utilizados en la calidad del agua costera es la clorofila-a, principalmente porque es una señal de la biomasa de fitoplancton, su concentración se asocia a la disponibilidad de luz y nutrientes (Boyer, 2009).

La estimación de parámetros físico químicos a través de la percepción remota es una alternativa de bajo costo, que permite el análisis rápido de contaminantes en áreas grandes o remotas de la superficie (Green, 2000 y Hellweger, 2004). Existen plataformas satelitales que ofrecen imágenes multiespectrales obtenidas con diversos sensores, uno de estos es el Instrumento Multiespectral (MSI, por sus siglas en inglés) a bordo de la plataforma sentinel-2. A partir de 2015 MSI de sentinel-2 captura imágenes multiespectrales compuestas por los valores de reflectancia en 13 bandas del espectro electromagnético con un tiempo de revisita de 5 días, permitiendo estimar parámetros físico químicos como; clorofila-a, temperatura y OD con una resolución espacial de entre 10 y 60 metros (véase anexo 2).

Los efectos en la salud humana por exposición a aguas costeras contaminadas con altas concentraciones de organismos patógenos, han sido bien documentados por la

comunidad científica. Con síntomas percibidos para enfermedades gastrointestinales (diarrea), respiratorias (irritación), cutáneas y otorrinolaringológicas (irritación, lagrimeo y dolor) (Pike, 1994; McBride, Shyue, 1996; Prüss, 1998 y Colford, 2007). También, se ha reportado una relación inversa entre concentraciones bajas de coliformes fecales y alta incidencia de micosis en usuarios de la playa (Mujeriego, 1982). Esto sugiere errores en el método de evaluación de la calidad del agua con base en el análisis bacteriológico, ya que pueden existir otros organismos en el agua que son vectores de infección como: hongos y cianobacterias, que en algunos casos son capaces de provocar efectos adversos en la salud (WHO, 1998). Además de los vectores de propagación, la toma de muestras supone un gran error de sesgo, debido a la variabilidad espacio temporal del fenómeno y de los parámetros medidos *in-situ*, por ello, se ha propuesto la toma de perfiles completos de los indicadores de calidad o eutrofización en la columna de agua (Fleisher, 1993).

### III. Antecedentes

#### III.I- Indicadores y calidad del agua costera

En marzo de 1965 se propuso el primer índice de calidad del agua, el Horton's index, adoptado por la Fundación Nacional de Sanitización (NSF International por sus siglas en inglés) de los EUA (Lumb, 2011). Para 1974 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), desarrolló criterios para los contaminantes y características físicas del agua, que define y permite sus principales usos, entre estos el agua potable y para uso recreacional (Vighi, 2006). Posteriormente, en 1978 estos criterios fueron adaptados por la Comisión Consultiva Europea de Pesca Continental (EIFAC por sus siglas en inglés), y hasta 1994 la Comisión Europea incluyó criterios de toxicidad (BroRasmussen, 1994). A principios de la década del 2000, la Directiva Marco Europea del Agua consideró los efectos ecológicos con base en el control, y estableció que la calidad del agua debe definirse con base en el funcionamiento y estructura de los ecosistemas, en lugar de solo tomar en cuenta características químicas y físicas (Vighi, 2006).

. Además, altas densidades de clorofila-a cercanas o superiores a  $1\mu\text{g/l}$ , sirven como indicador de contaminación por nutrientes que impulsan el crecimiento de algas (Preciado, 2015). Así mismo, es posible que estén relacionadas con el incremento de materia orgánica en descomposición y puede aumentar las concentraciones de residuos suspendidos, mortandad de peces y la producción de gases nocivos (EPA, 2012). Como

se menciona anteriormente la clorofila-a es un indicador de la actividad de organismos autótrofos como las microalgas, productores primarios y responsables del incremento de OD. Además, en la evaluación de la CAC se han utilizado como indicadores, el potencial de hidrogeno (pH), el OD, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los coliformes, el cianuro (CN), el cobre (Cu), el zinc (Zn), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el cromo (Cr) por sus efectos en la vida marina y humana (Shyue, 1993; Gupta, 2003; EPA, 2012 y Juanes, 2013).

Los efectos en la salud humana por exposición a aguas costeras contaminadas con altas concentraciones de organismos patógenos, han sido bien documentados por la comunidad científica. Con síntomas percibidos para enfermedades gastrointestinales (diarrea), respiratorias (irritación), cutáneas y otorrinolaringológicas (irritación, lagrimeo y dolor) (Pike, 1994; McBride, 1998; Prüss, 1998; Colford, 2007; Shyue, 1996). También, se ha reportado una relación inversa entre concentraciones bajas de coliformes fecales y alta incidencia de micosis en usuarios de la playa (Mujeriego, 1982). Esto sugiere errores en el método de evaluación de la calidad del agua con base en el análisis bacteriológico, ya que pueden existir otros organismos en el agua que son vectores de infección como: hongos y cianobacterias, que en algunos casos son capaces de provocar efectos adversos en la salud (WHO, 1998). Además de los vectores de propagación, la toma de muestras supone un gran error de sesgo, debido a la variabilidad espacio temporal del fenómeno y de los parámetros medidos *in-situ*, por ello, se ha propuesto la toma de perfiles completos de los indicadores de calidad o eutrofización en la columna de agua (Fleisher, 1993). Grant (2001), cuestionó el uso de estándares de calidad del agua de mar basados en enterococos fecales. Mientras que Boehm (2009), resaltó la importancia de los estudios epidemiológicos y predicciones de riesgos para la salud humana.

Además, la acumulación de metales pesados en los tejidos de peces encontrados en aguas contaminadas puede provocar enfermedades crónicas y trastornos del crecimiento (Khayatzadeh, 2010). También, en mejillones se han registrado concentraciones superiores a los límites máximos permisibles de coliformes fecales, propuestos por la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos

(FDA por sus siglas en inglés), que sugieren problemas de bioacumulación de coliformes fecales por la probable influencia de descargas de uso doméstico e industrial en las zonas costeras (Orozco, 1988).

En los Estados Unidos, la EPA (2012) utilizó para su reporte de la condición costera de la región oeste cinco parámetros de calidad del agua: nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo inorgánico disueltos (nutrientes esenciales para la producción primaria), clorofila a (indicador de productividad primaria), claridad del agua y OD (relacionados con la concentración de materia orgánica) y las clasificó como: 79% del área buena, 19% aceptable y tan solo el 2% mala.

En España el Ministerio de Sanidad Consumo y Bienestar Social del gobierno español, a través del Sistema de Información Nacional de Aguas de Baño, recaba datos sobre la calidad del agua de uso recreativo en las playas marítimas y continentales. Las cuales, con base en los resultados del análisis de *Escherichia coli* y enterococos fecales son clasificadas como excelente, buena, suficiente e insuficiente (Palau, 2019). En caso de eutrofización, esta institución determina si la concentración de clorofila-a supera los límites establecidos, y en caso de superarlos, lo atribuye a la proliferación de cianobacterias que, a su vez por contacto directo o ingesta, pueden tener efectos en la salud humana con síntomas como irritación en ojos, oídos, boca y garganta (véase anexo 5).

### **III.II- Percepción remota, observación del océano, teledetección de clorofila-a y temperatura**

Los sistemas de percepción remota se componen de tres elementos: Fuente de iluminación, sensor y el objeto de observación (Castillo, 2002). La percepción remota se encarga de la captura, procesamiento y análisis de datos obtenidos a través de los sensores remotos. Permitiendo medir y catalogar la energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie de la Tierra, y relacionar dichas mediciones con su naturaleza y distribución. Uno de sus objetivos es capturar la respuesta de la interacción electromagnética con el agua. En general, estos métodos están basados en la cuantificación de sustancias o partículas en suspensión que alteran la absorción y

reflexión de la energía lumínica, propiedades ópticas inherentes del agua (POI), las variaciones en estas cambian la reflectancia del agua y se conocen como las propiedades ópticas aparentes (POA). Además, estas propiedades dependen de las concentraciones de las sustancias en el agua, es decir que la absorción total estará en función de la sumatoria de absorción de todas las sustancias en el agua (Hafeez, 2018).

Actualmente existen muchos sensores orbitando la tierra, destinados parcial o totalmente a la observación del color del océano como: CZCS, MODIS, MERIS o el IRS-1A y sentinel-2. Las 13 bandas del sensor MSI a bordo del sentinel-2 permite la observación del color del océano especialmente, las longitudes de onda entre los 490 y los 865 nm del espectro electromagnético (Hafeez, 2018). A menudo, se utilizan las relaciones matemáticas entre las reflectividades de diferentes bandas con distintos índices para mejorar las correlaciones y la aplicabilidad espacio temporal de los algoritmos (Matthews, 2011).

Generalmente, el agua clara tiene baja reflectancia en el espectro visible y no tiene reflexión en la región del infrarrojo cercano (NIR). Sin embargo, una alta concentración de clorofila a en el agua, provocan una alta reflectancia en la región verde (500-600 nm) y una alta absorción en las regiones azul y roja debido a la actividad fotosintética (Delegido, 2014; Hafeez, 2018; Aguilar, 2018). La temperatura en la mayoría de las coberturas terrestres reacciona emitiendo longitudes de onda en el infrarrojo lejano o térmico, es decir, entre los 800 y 1400 nm del espectro electromagnético (Sevilla, 2015).

### **III.III- Monitoreo oficial del agua de mar**

En México existe un marco regulatorio de la calidad del agua, y el organismo encargado de administrar, regular, controlar y proteger las aguas continentales y costeras nacionales, es la Comisión Nacional del Agua (Conagua). En 2003, las Secretarías de Marina, Medio Ambiente y Recursos Naturales, de Turismo y Salud, establecieron el Programa Playas Limpias, creando el protocolo nacional para determinar la calidad de agua para uso recreativo de contacto primario. El protocolo tenía por objetivo brindar información confiable y oportuna de los criterios de riesgo basados en las concentraciones de enterococos presentes en el agua de mar, que permita a los usuarios

tomar la decisión de entrar o no al agua de las principales playas turísticas del país (Cofepris, 2020).

La Secretaría de Salud a través de las áreas de protección contra riesgos sanitarios y regulación sanitaria es la responsable de realizar los muestreos de agua de mar en playas para uso recreativo con contacto primario. Los análisis de la calidad bacteriológica son realizados en seis puntos de las playas del centro de población de Ensenada, correspondientes a playa municipal Playa Hermosa, La Joya, Monalisa y Pacífica (Conalep I, Conalep II y El Ciprés), principalmente distribuidas en el centro y sur de la bahía de Todos Santos (Figura 1).

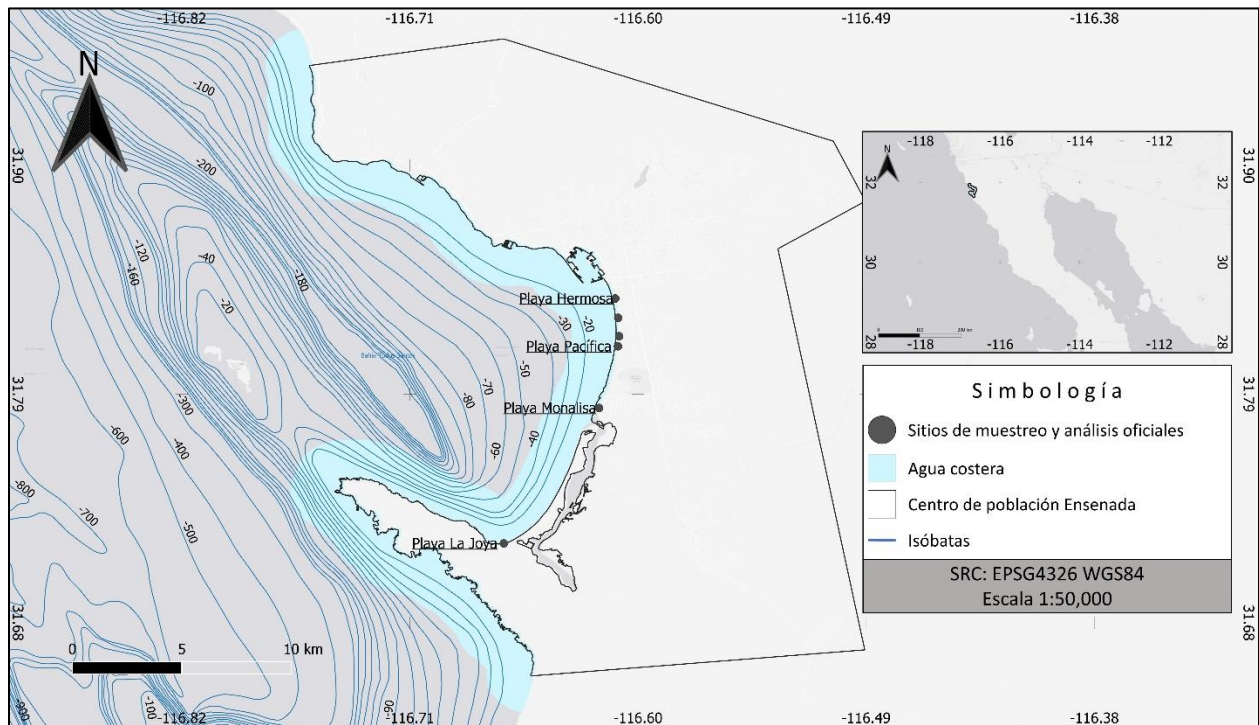


Figura 1. Sitios de muestreo oficiales de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios en las playas contiguas al centro de población de Ensenada: Cofepris. 2020. Manual operativo: Monitoreo de agua de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce.

De acuerdo en la agenda anual de muestreo, el Laboratorio Estatal de Salud Pública es el responsable de recibir, almacenar y analizar las muestras de acuerdo en la metodología autorizada por la Comisión de Control Analítico y Ampliación de Cobertura (CCAyAC). Estos resultados, representan la media aritmética de la concentración de

enterococos por el método de NMP de seis muestras tomadas en el mismo punto de muestreo y cuyos valores oscilan entre los diez y 24,196 NMP/100ml. Sin embargo, cuando por algún motivo justificado se recolectan menos de cuatro muestras puntuales, se considera el valor mayor registrado como resultado del periodo. Los datos son enviados a la Comisión Estatal para la protección contra Riesgos Sanitarios (COEPRIS), a través del Sistema de Transferencia Electrónica de Avance de Proyectos (STEAP) y correo electrónico para su compilación y evaluación. A continuación, la COEPRIS difunde el resultado como se muestra en el Figura 2.

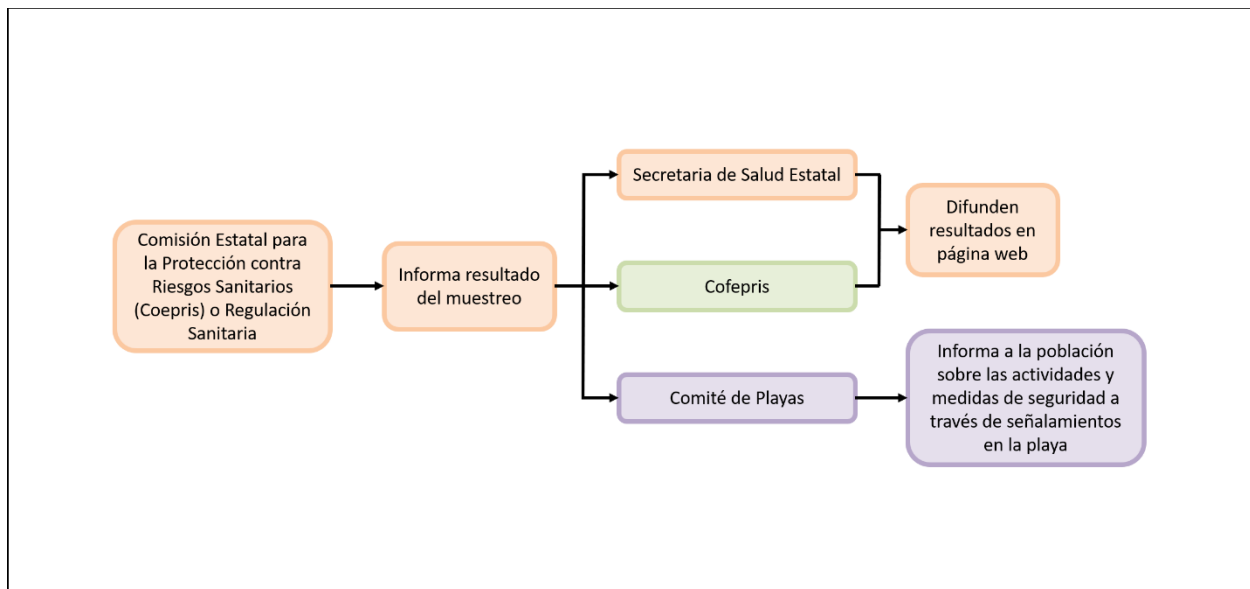


Figura 2. Flujo de comunicación de calidad bacteriológica del agua de mar y riesgos. Tomado de: Cofepris, 2020.

### III.IV- Percepción de contaminantes y efectos en la salud

La zona costera es un área en constante cambio por efecto de procesos naturales y antrópicos que afectan directamente la calidad del agua costera, provocando impactos en la salud humana. La percepción social en el estudio de la calidad del agua costera supone otra alternativa de análisis (Lima, 2003 y Benez, 2010). Los cuestionarios a medida han sido utilizados para el análisis de percepción de contaminantes, percepción de efectos a la salud y propuestas para el manejo en usuarios selectos (Shyue, 1996; Dillman, 2000 y Tran, 2002). De acuerdo con Huber y Gürtler (2004), la integración de métodos cuantitativos y cualitativos resulta complementaria. Por una parte, los métodos

cualitativos ofrecen una perspectiva subjetiva en la que se describe, comprende o interpreta un fenómeno. Por otra parte, los métodos cuantitativos aportan una perspectiva objetiva para explicar, comprobar o pronosticar el fenómeno en estudio.

A través, de métodos cualitativos se ha demostrado una correlación entre variables medidas en campo y utilizadas como indicadores de la calidad del agua con alta incidencia de síntomas para enfermedades gastrointestinales, respiratorias, cutáneas e incluso otorrinolaringológicas en usuarios de la playa (Cheung, 1996). También, Mujeriego (1982) encontró una relación inversa entre concentraciones bajas de coliformes fecales y la alta incidencia de micosis en los usuarios. Esta metodología ha permitido estudiar las diferencias en las tasas de síntomas para nadadores y no nadadores en aguas con distinto grado de contaminación, lo cual indica una relación con la mala calidad del agua, y se ha encontrado buena correlación entre altas tasas de síntomas para enfermedades infecciosas en nadadores y altas concentraciones de organismos patógenos (Cabelli, 1979). Estudios previos han implementado metodologías de percepción similares a nadadores y no nadadores durante el día de exposición a aguas de uso recreativo probablemente contaminadas, y un segundo cuestionario aplicado dentro de un rango de 10 días posteriores al contacto (Cabelli, 1979; Corbett, 1993). Sin embargo, deben tomarse en cuenta otros vectores de propagación como: alimentos refrigerados o preparados de manera inadecuada, condiciones médicas que pueden predisponer a un individuo al contagio o la transmisión de persona a persona con el objetivo de evitar el sesgo metodológico (WHO, 1998). Además, otro tema que puede agregar error a este tipo de análisis, es la presencia de cianobacterias, que son organismos fotosintéticos, que al igual que las algas, poseen clorofila a, liberan oxígeno durante la fotosíntesis y algunas especies producen fuertes toxinas con diversos efectos en la salud humana como daños hepáticos, neurotoxicidad u ontogenia y síntomas gastrointestinales, fiebre e irritaciones de la piel, los oídos, los ojos, la garganta y el aparato respiratorio (WHO, 1998 y Hilborn, 2014).

### **III.V- Descargas de agua, distribución y dispersión de partículas suspendidas**

De acuerdo con Harrison (2001), una vez que las descargas de agua han sido liberadas en los océanos, su distribución está delimitada por los sistemas de circulación oceánica. En la superficie del océano la circulación de las aguas controla la distribución de materiales, particularmente la materia en suspensión y los materiales orgánicos flotantes, provocando una distribución de la contaminación en zonas alejadas de la fuente emisora. Los contaminantes liberados al océano entran en el sistema de transporte controlado por los sistemas de circulación y en los procesos de eliminación de tipo biogeoquímicos siendo depositados finalmente en el sumidero oceánico que representan los sedimentos del fondo. De tal manera, la contaminación puede afectar al agua, la biota y los sedimentos del océano, alcanzando mayores impactos en aguas someras de zonas marinas costeras. Además, en estas zonas se presentan fenómenos de menor escala como las corrientes de retorno y las corrientes litorales que fluyen en las zonas de rompiente a lo largo de la línea de costa influyendo en la mezcla de materiales. De esta forma, las descargas antrópicas pueden aprovechar estos fenómenos para aumentar el proceso de dispersión y acelerar su dilución.

La mayor residencia de partículas en la bahía de Todos Santos se da en las zonas costeras especialmente en la época de otoño e invierno cuando las corrientes son más débiles, acumulándose en la playa municipal y frente a la boca del Estero de Punta Banda principalmente, y menores en verano y primavera cuando las corrientes son más fuertes acumulándose en la boca del puerto de Ensenada (Cervantes, 2013).

### **III.VI- Monitoreo de la calidad del agua costera y zonas de riesgo en la región**

Entre diciembre 1979 y octubre de 1980, los resultados del análisis de muestreos costeros revelaron que en las zonas costeras de los municipios de Ensenada y Tijuana existía una mayor concentración de bacterias en la época de lluvia de invierno (enero) y verano (julio y agosto). Además, el estudio mostro que el sitio de Granada Cove era uno de los puntos de mayor contaminación y riesgos a la salud, probablemente por la influencia de descargas locales (Segovia, 1986).

El análisis de bacterias patógenas de muestreos superficiales de aguas costeras y mejillones de los municipios de Ensenada y Tijuana para la temporada agosto-diciembre de 1984, reveló que el 100% de las muestras de agua superficial de la playa municipal de Ensenada excedía el valor máximo permisible de 200 coliformes fecales/100ml para agua de uso recreativo, considerado por la Secretaria de Salud del gobierno mexicano y que el 75% de las muestras de mejillones en Granada Cove excedían los niveles permitidos de la FDA de 230 coliformes fecales/100gr. Además, los valores más altos se encontraron en septiembre y diciembre, debido probablemente al incremento temporal del volumen de aguas residuales por el turismo en verano, y a la escorrentía exorreica de la temporada de lluvias durante los meses de invierno (Orozco B. M., 1988).

En los meses de mayo a octubre de 1987 se investigó la contaminación de bacterias fecales de las siete principales playas de uso recreativo en la bahía de Todos Santos, comprendidas entre la desembocadura del arroyo El Gallo y la playa El Faro. Las concentraciones bacterianas más altas se presentaron en las aguas adyacentes a la desembocadura del arroyo El Gallo, playa Cueva de los Tigres y Playa Hermosa respectivamente, además de representar alto riesgo para las actividades recreativas ya que excedían los niveles máximos permisibles para aguas de uso recreativo (Jímenez, 1989).

A principios de 1990 la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), solicitó a la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada el apoyo para realizar estudios sobre los efectos de las aguas residuales urbanas e industriales en la calidad del agua de la bahía de Todos Santos. De abril de 1991 a marzo de 1992, se realizaron muestreos de aguas superficiales en la bahía, incluyendo 12 estaciones litorales y se analizó: la concentración de oxígeno disuelto (OD, mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 mg/L), enterococos fecales (CF/100 ml), temperatura (T°C) y salinidad (0/00). Los resultados en el litoral señalaban la línea para delimitar el área apropiada para bañistas. Mostrándose mínima el área para bañistas en abril y máxima durante los meses de octubre, diciembre, enero, febrero y marzo. Así mismo, las concentraciones bacteriológicas de las descargas, se mantuvieron homogéneas en la zona de rompiente, afectando los primeros 4 km adyacentes al vertimiento (Morales, 1992).

La variación espacio temporal de bacterias coliformes totales y enterococos fecales en la Bahía de Todos Santos entre diciembre de 1991 y septiembre de 1996, muestra mayores concentraciones de coliformes se presentaron frente al arroyo El Gallo, disminuyendo hacia el centro sur de la bahía. Así mismo, las concentraciones más altas se registraron durante los meses de abril 1991, octubre de 1992 y abril de 1993 con promedios de 7140/100ml, 7084/100ml y 4222/100ml respectivamente, superando los niveles máximos permisibles para aguas de uso recreativo considerados por la Secretaría de Salud (Orozco, 1996).

En febrero y marzo de 2001, nuevamente se estimó la concentración de bacterias coliformes por el método de NMP, incluyendo el análisis de enterococos por el método Enterolert, y *Escherichia coli* en placas con medio Agar Soya Tripticasa. Los resultados mostraron que las plantas de tratamiento estaban funcionando eficientemente, y que por lo general la calidad bacteriológica del agua de mar estaba libre de microorganismos indicadores de contaminación, aunque algunas estaciones costeras en las cercanías del arroyo El Gallo mostraban mayores concentraciones de coliformes (Orozco, 2002).

Como parte de un esfuerzo binacional entre México y Estados Unidos, se analizó durante el verano de 1998 y el invierno de 1999, la calidad bacteriológica del agua en 19 playas, y diez sitios de descarga de aguas a lo largo de la costa de Tijuana y Ensenada. Los indicadores microbianos de calidad del agua utilizados fueron: coliformes totales, coliformes fecales y enterococos. Los resultados señalaron que la calidad microbiana de las descargas excedía los parámetros microbianos para aguas de uso recreativo de la normatividad mexicana en un 32.7% durante el verano y un 50% durante el invierno. También, en las playas los indicadores microbianos fueron rebasados en un 23.3% durante el verano, y un 17% durante el invierno (Orozco, 2006). Así mismo, distintos autores documentaron que el puerto de Ensenada, y la playa municipal se encontraba bajo la influencia de una gran cantidad de descargas de aguas residuales de uso doméstico e industrial (Muñoz, 1994; Jiménez, 1989; Morales, 1992; Orozco, 1996, 2002, 2006 y Muñoz 2012).

## IV. Objetivo

### IV.I General

Desarrollar un modelo de correlación espacial de la Calidad de Agua Costera con base en información de muestreos costeros, de sensores remotos y de cuestionarios a medida con el fin de determinar la variabilidad espacio temporal de los parámetros de calidad del agua costera adyacente al centro de población de Ensenada, Baja California, México.

### IV.II- Objetivos específicos

- Elaborar una base de información sobre las variables clorofila a y temperatura a partir de muestreos costeros en la Bahía Todos Santos.
- Caracterizar espacial y espectralmente los sitios incluidos en el muestreo costero “Crucero Oceanográfico Bahía de Todos Santos” utilizando como base productos nivel 1A del sensor MSI de la plataforma satelital sentinel-2.
- Generar una base de información espacial de las descargas de agua como potenciales fuentes de contaminación en la zona costera contigua al centro de población de Ensenada.
- Analizar la percepción de los usuarios sobre la calidad del agua costera a partir de indicadores de contaminación y efectos a la salud humana.

## V. Hipótesis

La descarga de aguas contaminadas en aguas costeras aumenta la concentración de nutrientes y el crecimiento de organismos fotosintéticos, que producen un aumento de la concentración de clorofila-a en Stacks, California, San Miguel, Playitas y Playa Hermosa. Lo cual se asocia a una mayor percepción de indicadores de contaminación y efectos a la salud por los usuarios selectos.

## VI. Área de estudio

El área de estudio se localiza en una zona costera con constante dinámica de procesos naturales y antrópicos. La zona se extiende entre los 31° 57.924'N y los 31° 38.222' N, limitada al este por la línea de costa del centro de población de Ensenada y se extiende 2 km al oeste (Figura 3), definiéndose con base en el concepto de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA U.E.), que establece la delimitación del agua costera a partir de la línea de costa y una franja de una milla náutica mar adentro. El puerto de Ensenada, Baja California es uno de los más importantes del Pacífico mexicano y desde la década de 1980 se han incrementado las actividades antrópicas (Gonzalez, 2006). Desde principios de 1990 ya se conocía que por efecto de la descarga de aguas residuales existía una zona carente de vida macroscópica en las cercanías del afluente del arroyo El Gallo, que afecta además la ecología de las playas municipales; así mismo, la presencia del gusano poliqueto *Capitella capitata* registrada en las playas del Puerto de Ensenada, indica el alto grado de contaminación (Jiménez, 1992). Así mismo, se ha demostrado que la falta de servicios públicos de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, afecta directamente la calidad del agua dentro del estero de Punta Banda localizado al sur de la bahía (Granillo, 2012).

El Consejo Nacional de Población (CONAPO), estimó con datos del conteo poblacional que en el 2019 el centro de población de Ensenada alcanzaría los 550,262 habitantes. El aumento de población, ha causado una mayor actividad también en la zona costera, en las playas y aguas del centro de población de Ensenada, en donde además se llevan a cabo concursos de pesca deportiva, surf, regatas y competencias internacionales (COPLADE, 2017). Además, en el Programa de desarrollo urbano del centro de población de Ensenada 2030, se promueven como atractivos turísticos las playas: San Miguel, Playa Hermosa, El Faro, Estero Beach y Estero de Punta Banda.

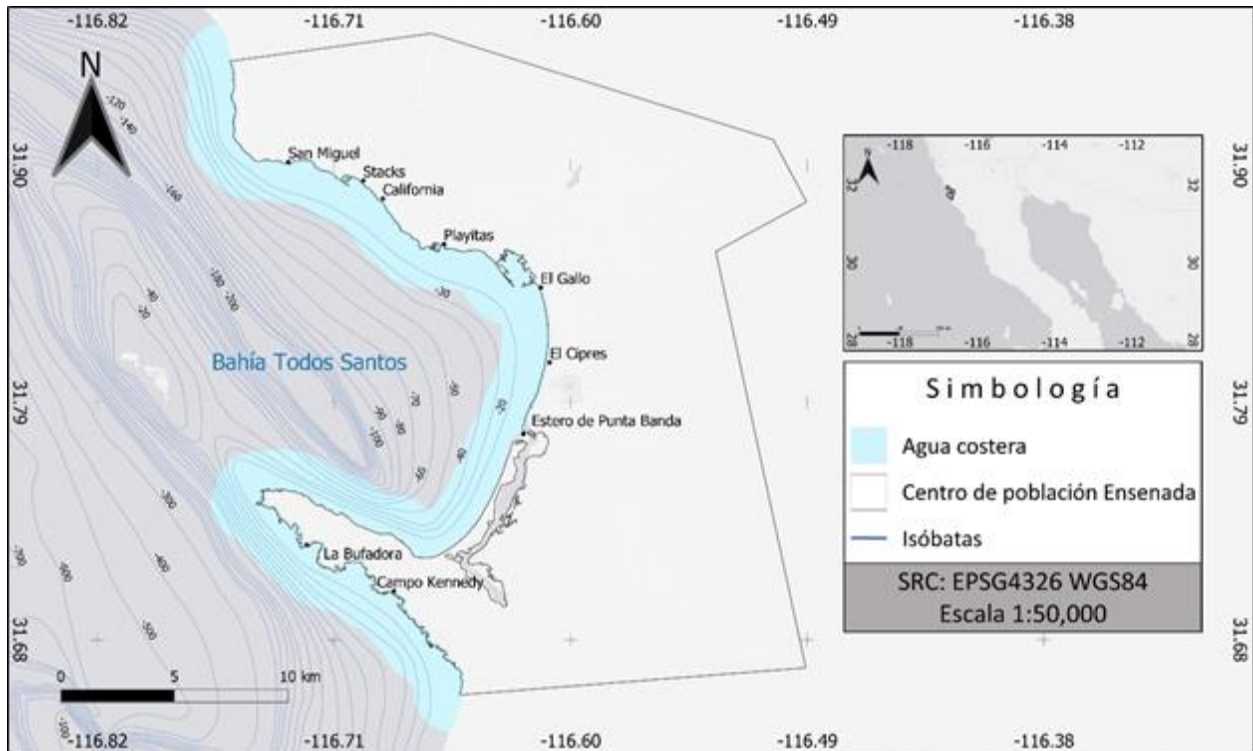


Figura 3: Área de estudio. Elaboración propia con datos del: Instituto Metropolitano de Investigación y Planeación de Ensenada, Baja California. (2008). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada, B.C.* En azul se muestra la franja de agua costera contigua al centro de población de Ensenada.

## VII. Metodología

### VII.I- Calidad del agua costera y percepción remota

#### VII.I.I- Compilación e integración de la base de datos de muestreos costeros

##### COBTS

Se analizó parte de la información generada en el proyecto Crucero Oceanográfico Bahía de Todos Santos (COBTS) en colaboración con la Secretaria de Marina y la Segunda Región Naval y Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California. La base de datos contiene información de muestreos costeros de tres campañas oceanográficas, 4, 5, 6 de abril de 2017, 8 de diciembre de 2019, 24 y 25 de julio de 2020. La base de datos integrada contiene dos variables: Clorofila-a y temperatura (T°C) que se obtuvieron con un perfilador tipo CTD modelo RBRmaestro. Una vez compilada, se analizaron los datos para depurar registros y eliminar registros sin datos. Posteriormente los registros en la base de datos se organizaron de acuerdo en su profundidad, definiéndose tres profundidades: Superficie de 0 a < 2 m, intermedio  $\geq 2$  m a < 5 m y fondo  $\geq 5$  m. Finalmente se elaboró un mapa con la localización geográfica de las estaciones de muestreo (Figura 4).

#### VII.I.II- Obtención, procesamiento y análisis de imágenes de satélite para la integración de la base de datos de caracterización espectral de las estaciones de muestreo del COBTS

Se descargaron tres imágenes multiespectrales del sensor MSI del satélite sentinel-2 desde el portal web EOS Land viewer (véase anexo 3). Las imágenes descargadas corresponden a un periodo de  $\pm$  cinco días de la fecha de muestreo *in-situ*, con una cobertura de nubes inferior al 20%. Posteriormente, se procesaron las imágenes en el software QGIS, aplicando el preprocesamiento predeterminado para imágenes sentinel-2 del complemento de clasificación semiautomática. Consecutivamente, se vinculó el mapa de las 38 estaciones de muestreo del COBTS con las imágenes procesadas, para obtener el valor de reflectancia del píxel en cada una de las 13 bandas del MSI y se calcularon diferentes tipos de “Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada” (NDVI por sus siglas en inglés) para probar las diferentes relaciones posibles del rojo con las bandas del visible e infrarrojo cercano (VNIR) y las bandas de onda corta infrarroja

(SWIR) antes de escoger el mejor correlacionado con la concentración de clorofila-a obtenida del COBTS. Los NDVI se calcularon como vemos en las ecuaciones 1,2,3,4,5 y 6. Además, se calcularon las sumatorias y la media de los valores de reflectancia de las 13 bandas del sensor MSI de sentinel-2, así como de temperatura y clorofila-a. Además, se calcularon estadísticos descriptivos (Media, desviación estándar, mínimo y máximo) de las variables temperatura y clorofila-a en cada una de las 38 estaciones de muestreo del proyecto COBTS.

Tabla I: Estadística descriptiva de los valores de reflectancia (sensor MSI sentinel-2) y las variables temperatura y clorofila-a (instrumento CTD modelo RBR maestro).

ID	Suma bandas	Media bandas	Y temperatura superficial	SD temperatura superficial	Max temperatura superficial	Min temperatura superficial	Y clorofila-a superficial	SD clorofila-a superficial	Max clorofila-a superficial	Min clorofila-a superficial	N
1	0.3703	0.03086	21.0952877	0.129555183	21.23076786	20.82455518	13.54990551	0.489283721	14.57140129	12.79469732	40
2	0.448	0.03733	21.25035113	0.005241462	21.25706614	21.23433386	10.84800601	0.208139063	11.2669756	10.51578574	29
3	0.505	0.04208	21.5158732	0.047306961	21.57254735	21.42517211	10.6673798	0.513505998	11.54048236	9.974338893	45
4	0.4896	0.0408	21.33538899	0.449113989	21.71460567	19.89173295	7.564520513	1.295681158	9.312644057	5.63758673	42
5	0.5194	0.04328	20.36988311	0.142726186	20.50276351	20.10375922	1.89088662	1.051928405	4.106556143	0.207117121	41
6	0.4461	0.03718	21.45287972	0.1173028	21.52518798	21.1402769	1.353108711	0.22319388	1.875212511	1.160966354	43
7	0.517	0.04308	21.69634036	0.028246322	21.72500288	21.58784648	1.368373701	0.077576252	1.574728781	1.231776032	86
8	0.4197	0.03498	18.70407025	2.150150645	20.7922474	15.62618721	1.564012947	1.272294969	4.221159602	0.193687028	21
9	0.2993	0.02494	17.24692707	0.24671841	17.41848976	16.63657715	1.063322303	0.211131478	1.445371683	0.868774246	41
10	0.2109	0.01758	15.96099851	0.343080338	16.42601084	15.42044689	1.475397664	0.65519027	3.326014716	0.210815262	28
11	0.3399	0.02833	18.43008806	0.522218078	19.33150426	17.71938112	1.295469028	0.065105856	1.404614271	1.236719863	19
12	0.4874	0.04062	17.73042782	0.342399267	18.01417009	16.96792038	1.362188598	0.213101281	1.828499144	1.091090943	38
13	0.3274	0.02728	16.41407248	0.053543046	16.5450769	16.3540863	7.661779385	1.655582675	11.26868842	4.312054203	106
14	0.2524	0.02103	16.62119439	0.066785003	16.71273255	16.51141273	2.711724236	0.70956516	3.783572141	0.210893118	113
15	0.2565	0.02138	16.84696106	0.057600268	16.979269	16.78282659	2.191044074	0.400405906	2.873593937	1.407690784	107
16	0.2597	0.02164	17.61376235	0.048855404	17.75204382	17.55024135	0.363553473	0.038853716	0.460927629	0.307396364	109
17	0.1722	0.01435	17.02417212	0.039006217	17.06029519	16.89026422	1.048407219	0.235367913	1.691163063	0.814275318	95
18	0.1691	0.01409	16.97108769	0.056456344	17.02346813	16.83363425	1.369999232	0.384614638	2.664825333	1.07446877	99
19	0.1624	0.01353	16.58490146	0.073513425	16.64547253	16.39500871	3.991578356	2.795383606	11.83937005	0.203146485	124
20	0.2221	0.01851	16.95407075	0.079781937	17.04139073	16.70701585	0.785401636	0.076124041	0.941452459	0.627888986	134
21	0.3637	0.03031	16.23974167	0.014877369	16.2093055	16.27186943	1.193902353	0.04504587	1.286718199	1.119952279	53
22	0.3609	0.03008	16.09625852	0.0678021	16.58775951	16.33993229	0.450492243	0.023884888	0.802080774	0.714241281	18
23	0.3416	0.02847	16.77666066	0.141921822	16.9464109	16.55497917	0.859486735	0.039998723	0.946230836	0.81032744	20
24	0.3346	0.02788	16.9157148	0.078127815	17.00401428	16.71702221	0.978327237	0.029330095	1.060393021	0.917908952	48
25	0.3787	0.03156	17.41671029	0.036884842	17.45751589	17.31973197	1.523369065	0.040488846	1.606422297	1.458648699	24
26	0.3498	0.02915	16.97203343	0.003165861	16.98055491	16.96733457	0.666057271	0.012269006	0.691916972	0.639188287	43
27	0.3464	0.02887	16.94592137	0.004872467	16.96174613	16.94009045	0.694724027	0.021450056	0.747394546	0.649684044	58

28		0.3308	0.02757	17.02837439	0.002172155	17.03246718	17.02264264	0.709823256	0.024977252	0.749185489	0.628859129	53
29		0.3344	0.02787	16.70530669	0.006914748	16.71173521	16.68696231	1.129128802	0.052870589	1.268392274	1.054270496	43
30		0.3351	0.02793	16.76065556	0.038338435	16.81536064	16.71446486	1.8211527	0.122280492	2.024628244	1.674936268	31
31		0.3351	0.02793	17.22630011	0.00640014	17.23968012	17.22030319	1.431925065	0.069539252	1.549903477	1.331200218	21
32		0.3099	0.02583	18.16283782	0.009664628	18.17568928	18.14974807	2.1640808	0.021634457	2.204139012	2.122963493	14
33		0.3436	0.02863	18.17414499	0.006414224	18.1881154	18.16566345	2.365148145	0.049921968	2.456202484	2.279357304	16
34		0.3001	0.02501	16.09492941	0.005152675	16.10213853	16.08824291	1.528830187	0.103395309	1.722417075	1.373224897	82
35		0.3131	0.02609	15.91491062	0.006025358	15.92296367	15.90222627	0.623466666	0.048593035	0.846729392	0.555430478	70
36		0.3467	0.02889	16.78905918	0.036181439	16.94972438	16.7473907	2.047711499	0.151233219	2.517678935	1.745282831	94
37		0.3579	0.02983	17.08766298	0.096023931	17.23552112	16.95027303	1.579623919	0.05725777	1.70392455	1.466062369	19
38		0.3619	0.03016	17.47216945	0.013173888	17.51475416	17.4552285	1.579145852	0.106829143	1.791679441	1.417540316	27

$$\text{Ecuación 1. } NDVI6 = \frac{\text{banda 08} - \text{banda 4}}{\text{banda 08} + \text{banda 4}}$$

$$\text{Ecuación 2. } NDVI6 = \frac{\text{banda 05} - \text{banda 4}}{\text{banda 05} + \text{banda 4}}$$

$$\text{Ecuación 3. } NDVI6 = \frac{\text{banda 06} - \text{banda 4}}{\text{banda 06} + \text{banda 4}}$$

$$\text{Ecuación 4. } NDVI6 = \frac{\text{banda 07} - \text{banda 4}}{\text{banda 07} + \text{banda 4}}$$

$$\text{Ecuación 5. } NDVI6 = \frac{\text{banda b8a} - \text{banda 4}}{\text{banda b8a} + \text{banda 4}}$$

$$\text{Ecuación 6. } NDVI6 = \frac{\text{banda 11} - \text{banda 4}}{\text{banda 11} + \text{banda 4}}$$

### VII.I.III- Correlación de la base de datos de muestreo costero con insumos satelitales

Se integraron las bases de datos de la caracterización espectral de las estaciones de muestreo con la base de datos de los registros del proyecto COBTS, en donde se relacionaron las variables de clorofila-a y temperatura (T°C) medidas *in-situ* con los valores espectrales para las 13 bandas de cada escena del sensor MSI de sentinel-2.

Los datos se analizaron en el software Excel para obtener el modelo de correlación, utilizando el coeficiente de Pearson. Donde, los valores cercanos a +1 indican una correlación positiva y los valores cercanos a <1 indican correlación negativa (Mukaka, 2012). De acuerdo con Calcina (2014), valores inferiores a 0.45 son considerados una

correlación baja. Por otra parte, los valores entre 0.46 y 0.55 son considerados correlaciones medias y los valores mayor iguales a 0.56 se consideran correlaciones altas.

## **VII.II- Inventario fuentes de contaminación**

### **VII.II.I- Caracterización de las descargas costeras: identificación, registro y base de datos de fuentes de contaminación**

Con el fin de elaborar un inventario de descargas de agua en la franja costera contigua al centro de población de Ensenada, se realizó una inspección costera a pie, entre el 19 de enero de 2021 y el 15 de febrero de 2021, para la identificación de descargas que probablemente contaminan, principalmente tuberías de descarga en zonas costeras. Una vez identificadas se tomaron sus coordenadas, se fotografió y clasificó dentro de tres grupos: Activas (todas aquellas que presentaban humedad, presencia de algas o descarga de agua en el momento de su identificación), inactivas (aquellas que no presentaban humedad, algas o descarga de agua en el momento de su identificación) y sin información (aquellas que por su ubicación complicaba la inspección visual). Finalmente, incluyendo todos los registros se integró la información en una base de datos denominada “Descargas de Agua en la Zona Costera” (DAZC) y se elaboró un mapa (Figura 6).

### **VII.II.II- Zonificación con base en la distribución de fuentes de contaminación activas**

La zonificación se realizó mediante el análisis de puntos de calor. Para lo anterior, la base de datos DAZC se procesó con el software QGIS. Para esto, solo se utilizaron las descargas activas aplicando el proceso predeterminado matriz de distancia. Una vez obtenida la matriz se calcularon estadísticos descriptivos (Media y desviación estándar). Posteriormente, utilizando los resultados de los estadísticos descriptivos se calculó el radio mínimo y radio máximo. También, se aplicó la herramienta mapas de calor al mapa de las descargas activas, utilizando el radio mínimo y radio máximo. Además, se identificaron las zonas de potencial riesgo utilizando el radio mínimo (Figura 7), y se incluyó un punto de control donde después de una revisión exhaustiva no se encontraron descargas en la zona costera.

### **VII.II.III- Correlación de las zonas de potencial riesgo con insumos satelitales**

Se integraron las bases de datos de la caracterización espectral de las zonas de potencial riesgo o puntos calientes generados a partir de la base de datos de los registros del inventario DAZC, en donde se relacionó la variable de descargas activas observadas *in-situ* con los valores espectrales para las 13 bandas de cada escena del sensor MSI de la plataforma satelital sentinel-2.

Los datos se analizaron en el software Excel para obtener el modelo de correlación, utilizando el coeficiente de Pearson. Donde, los valores inferiores a .45 son considerados una correlación baja. Por otra parte, los valores entre .46 y .55 son considerados correlaciones medias y los valores mayor iguales a .56 se consideran correlaciones altas (Calcina, 2014).

### **VII.III- Calidad del agua costera y percepción social**

#### **VII.III.I- Zonificación costera**

Se realizó una segmentación de la costa dentro del Centro de población de Ensenada, a partir de dos criterios: Barreras costeras naturales o antrópicas (Puertos, marinas o esteros), las zonas de potencial riesgo con base en los resultados de las DAZC. Así, se realizó la zonificación del área de estudio (Figura 8).

#### **VII.III.II- Desarrollo y análisis del instrumento de percepción social**

Se utilizó como base el método de diseño a medida para la creación de un cuestionario dirigido a usuarios (Dillman, 2009). El cuestionario mixto incluyó cuatro categorías analíticas: I) Información demográfica (opción múltiple); II) percepción de la contaminación (escala de Likert); III) percepción de efectos en la salud humana (escala de Likert) y IV) alternativas para mejora o gestión (abiertas). Los resultados de este instrumento se vincularon a la zonificación del área costera previamente definida (véase anexo 6). Los datos fueron analizados con estadística descriptiva y se estimó el factor de impacto (Ecuación 2) de la percepción de contaminantes y percepción de efectos en la salud humana, en cada zona del área de estudio. También, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson entre el factor de impacto de los indicadores de percepción y la

cantidad de descargas de agua en cada una de las zonas. Finalmente, se identificaron las alternativas propuestas por los usuarios selectos para mejora y manejo.

$$\text{Ecuación 2. } \textit{Factor de impacto} = \frac{\textit{media de la frecuencia}}{\textit{m\u00e1xima frecuencia}}$$

## VIII. Resultados

### VIII.I- Calidad del agua costera con base al COBTS e insumos satelitales

#### VIII.I.I- Integración y análisis de la base de datos de muestreos costeros

Se compilaron los registros del proyecto COBTS, que contiene datos de tres campañas de muestreo: la primera con 49,100 registros obtenidos en el año 2017, la segunda con 145,111 registros del año 2019 y la tercera con 15,576 registros del año 2020. Después de su procesamiento, la base de datos se integró con 32,746 registros correspondientes a: 23,498 datos del año 2017, 5,007 datos del año 2019 y 4,241 datos del año 2020.

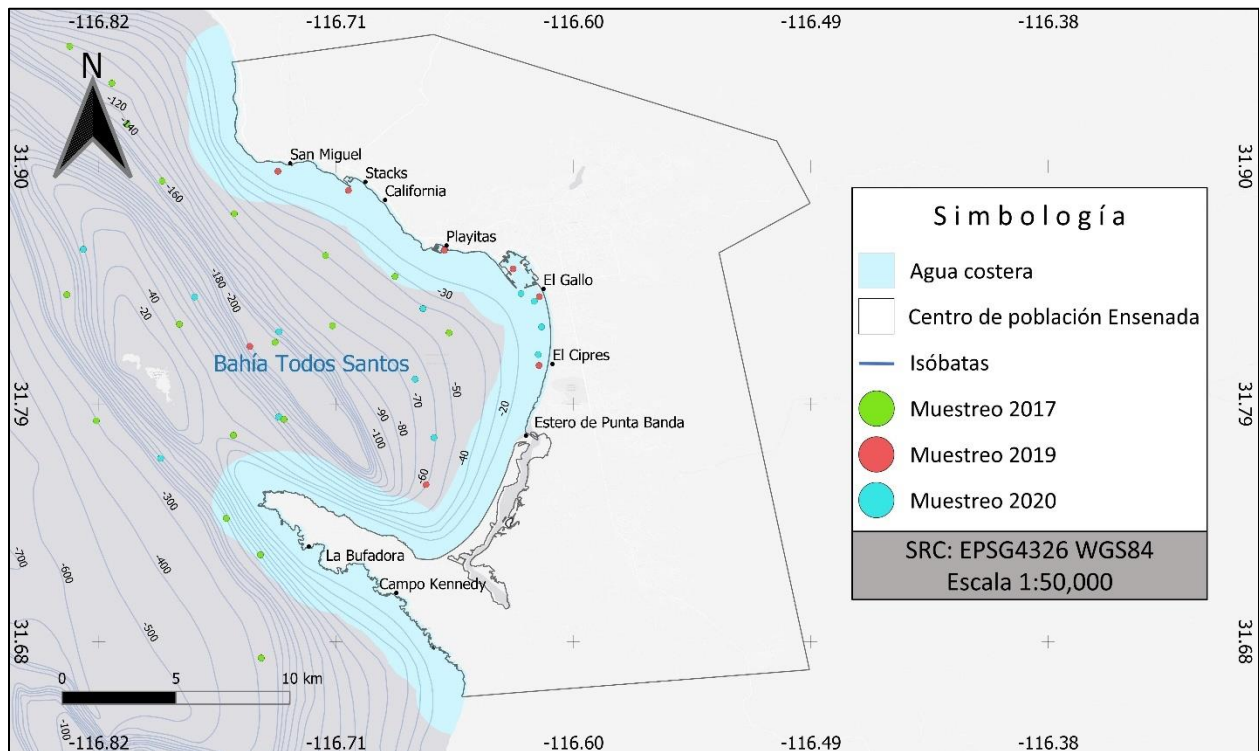


Figura 4: Mapa de distribución de las estaciones de muestreo del COBTS 2017, 2019 y 2020. *Crucero Oceanográfico Bahía de Todos Santos* y del Instituto Metropolitano de Investigación y Planeación de Ensenada, Baja California. 2008. Se muestran las estaciones de muestreo correspondientes al COBTS, en verde 18 estaciones de 2017, en rojo ocho estaciones de 2019 y en azul 12 estaciones de 2020.

Los registros promedio de superficie del COBTS, señalan altas concentraciones de clorofila-a. Principalmente los tres registros del año 2020 en lo que corresponde a la playa municipal Playa Hermosa, playa Pacífica (Conalep I) y en la entrada al Puerto de

Ensenada, y que exceden ampliamente el umbral de eutrofización mencionado por Preciado (2015). Así mismo, cuatro de los seis registros del año 2019 rebasan el umbral mencionado en la playa de San Miguel, la playa Stacks, la playa Playitas y la playa El Ciprés. Finalmente, para el año 2017 solo uno de los tres registros excede el umbral y se ubica en las cercanías de la península de Punta Banda (Figura 5).

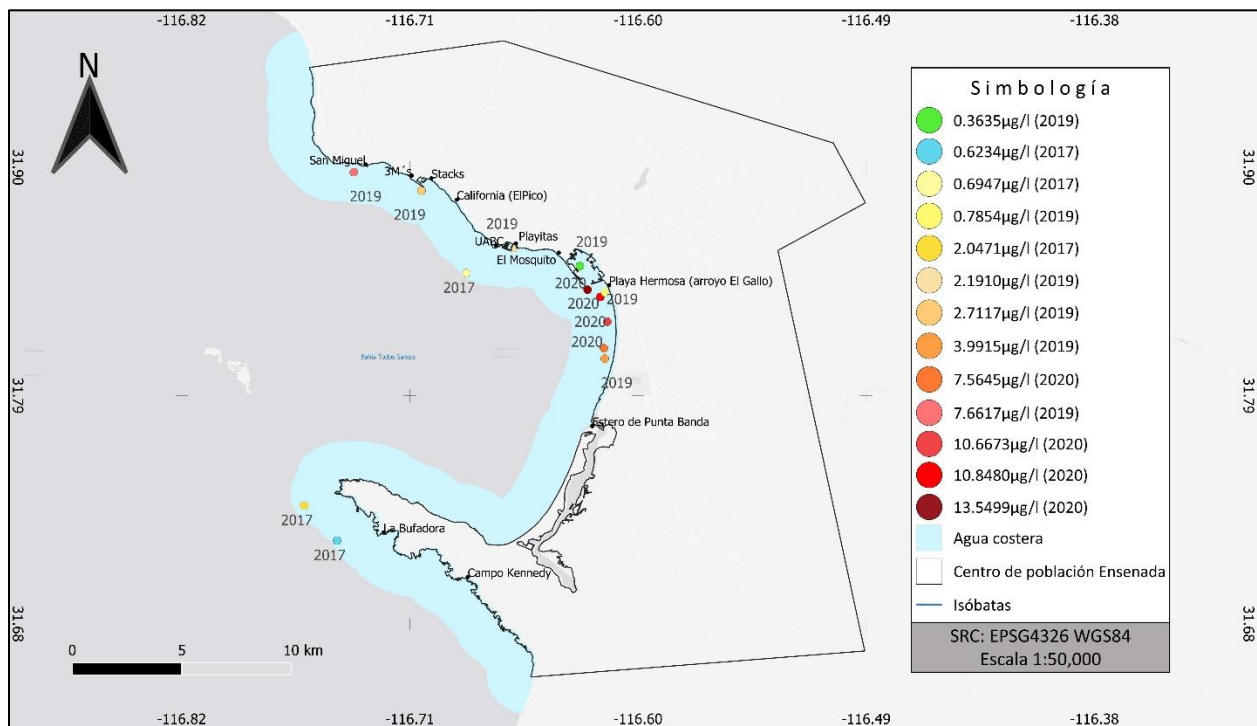


Figura 5: Mapa de las concentraciones de clorofila-a en el agua costera con datos del COBTS registrados entre 2017, 2019 y 2020. *Crucero Oceanográfico Bahía de Todos Santos* y del Instituto Metropolitano de Investigación y Planeación de Ensenada, Baja California. 2008. Los puntos de colores en el mapa muestran la ubicación de las estaciones de muestreo. En la simbología se muestran las concentraciones de clorofila-a en µg por litro y el año de su registro.

### VIII.I.II- Análisis de imágenes de satélite

Una vez procesadas las imágenes satelitales se integró una base de datos que contiene los registros de los valores de reflectancia de pixel de las 13 bandas del sensor MSI de sentinel-2, así como las sumatorias y promedios correspondientes a las 38 estaciones del COBTS.

### VIII.I.III- Correlación de la base de datos de muestreo costero con insumos satelitales

Los resultados de la integración de datos de muestreos costeros y la base de datos del análisis de imágenes de satélite muestran una correlación de 0.5470 entre el NDVI6 y la clorofila-a registrada en el COBTS. Mientras que la correlación fue nula en el punto control.

Tabla II: Correlación de los modelos NDVI (1 al 6), temperatura y clorofila-a.

	NDVI	NDVI 2	NDVI 3	NDVI 4	NDVI 5	NDVI6	NDVI7	Ȳ temperatura superficial	Ȳ clorofila-a superficial
NDVI	1								
NDVI 2	0.5453426295	1							
NDVI 3	0.5720025387	0.8082115709	1						
NDVI 4	0.4800291001	0.714777594	<b>0.8737369863</b>	1					
NDVI 5	0.5935643071	0.444329776	0.6431240511	0.606980535	1				
NDVI6	0.3822069165	<b>0.7336087147</b>	0.5803501743	0.4901288082	0.05798725919	1			
NDVI7	0.1606294445	0.5822837856	0.4333850972	0.4025924844	0.05275848853	<b>0.8883688585</b>	1		
Ȳ temperatura superficial	0.1152121711	0.4046174669	0.372359757	0.3742785352	0.1101311574	<b>0.5660139955</b>	0.3900900413	1	
Ȳ clorofila-a superficial	0.1625574777	0.2468772882	0.2690879804	0.2875150135	0.1100568375	<b>0.5470031062</b>	0.4316376494	<b>0.5900976073</b>	1

### VIII.II- Inventario fuentes de contaminación

#### VIII.II.I- Base de datos de la distribución de fuentes de contaminación

Se identificaron un total de 110 descargas de agua que pueden ser fuentes de contaminación en la zona costera, de las cuales 95 se encuentran activas, 13 inactivas y dos sin información con una mayor distribución al norte del área de estudio, (Figura 6).

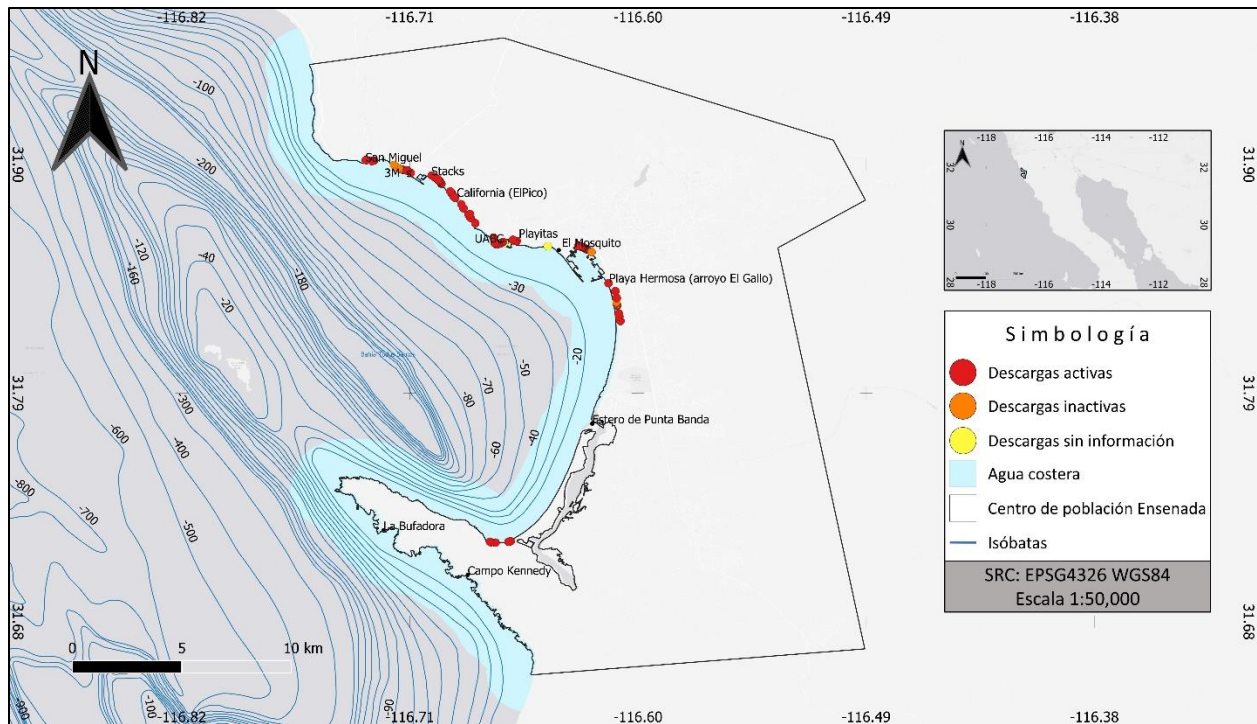


Figura 6: Mapa de distribución de las descargas de agua en la zona costera en febrero 2021. Fuente: Elaboración con datos propios. *Descargas de Agua en la Zona Costera. 2021.* y del Instituto Metropolitano de Investigación y Planeación de Ensenada, Baja California. 2008. *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada, B.C.* En rojo se muestran las descargas activas, en naranja las descargas inactivas y en amarillo las descargas sin información.

### VIII.II.II- Zonificación con base en la distribución de fuentes de contaminación

Con base en el análisis de la DAZC, se identificaron seis principales zonas de riesgo, según la frecuencia y distribución de los sitios de descarga, dentro de un radio de 1.79 km. El norte de la bahía muestra mayor frecuencia, donde la zona con mayor influencia de descargas potencialmente contaminantes son la zona II (Stacks – California – UABC) seguida de la zona IV (puerto Ensenada), zona III (Playitas – El mosquito), zona V (El gallo – Playa hermosa - Ciprés) y zona I (San Miguel – 3M´s) respectivamente. Por último, tenemos la zona VI con la menor frecuencia al sur de la bahía en lo que corresponde a los alrededores de playa La Jolla. Sin embargo, en el sitio se encuentra una descarga de la planta de cultivo acuícola propiedad del “Grupo Marítimo Miramar S.A. de C.V.”. que puede ser una fuente potencial de contaminación.

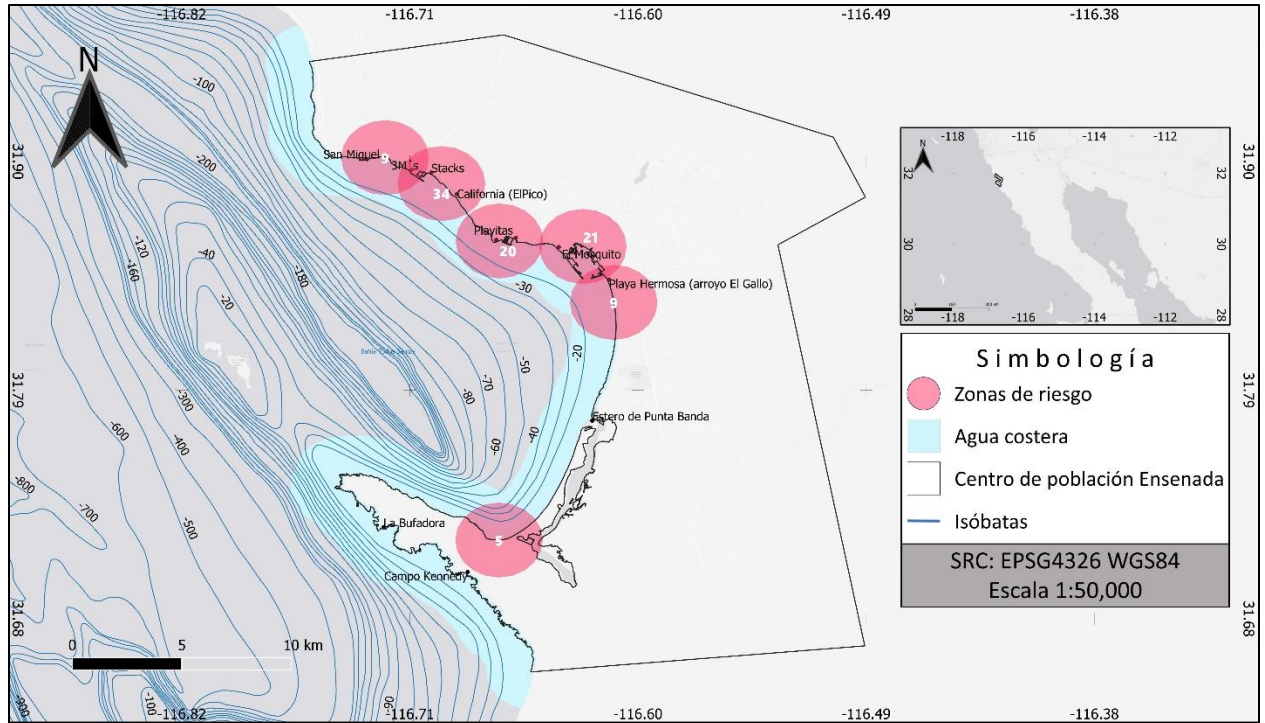


Figura 7: Mapa de zonas de riesgo con base en las descargas de agua en la zona costera dentro de un radio de 1.79 km para febrero 2021. Fuente: Elaboración con datos propios. *Descargas de agua en la zona costera. 2021.* y del Instituto Metropolitano de Investigación y Planeación de Ensenada, Baja California. 2008. *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada, B.C.* Los polígonos circulares en color rosa representan un área de 10.12 km<sup>2</sup>, en blanco se muestra la cantidad de descargas en la zona costera.

### VIII.II.III- Correlación de las zonas de potencial riesgo con insumos satelitales

Los resultados de la integración de datos de las zonas de potencial riesgo y la base de datos del análisis de imágenes de satélite muestran una alta e inversa correlación de -0.6959 entre la banda dos y los registros de descargas activas del DAZC en las zonas de potencial riesgo. Esto puede indicar que alguna sustancia transportada en estas descargas influye en la absorción de energía electromagnética de la banda dos del MSI.

## VIII.II- Calidad del agua costera con base en percepción social

### VIII.II.I- Zonificación costera

Con base en la definición de las zonas de riesgo se obtuvieron seis zonas para el análisis de la percepción de CAC en usuarios selectos. Tales zonas son: Zona I (San Miguel – 3M's), zona II (Stacks – California – UABC), zona III (Playitas – El mosquito), zona IV (Puerto Ensenada), Zona V (El Gallo – Playa hermosa – Ciprés) y zona VI (Boca del estero de Punta Banda – El retiro).

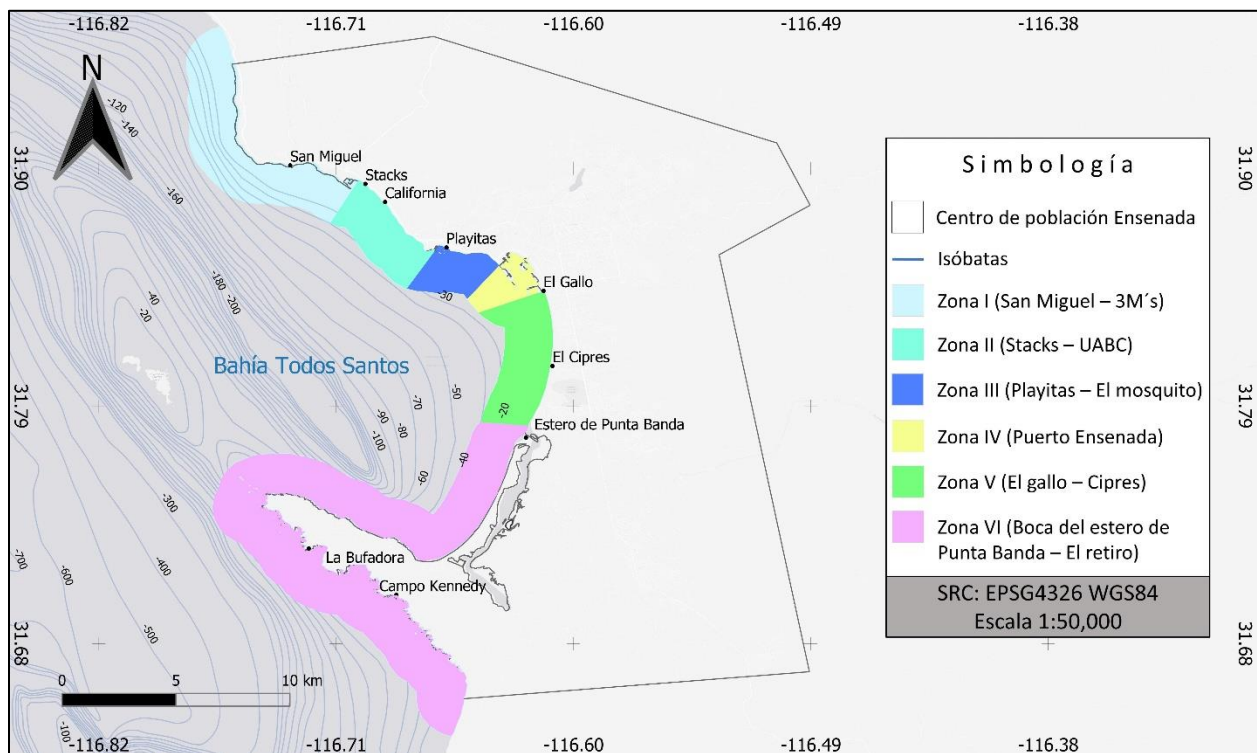


Figura 8: Mapa zonificación del agua costera con base en los criterios de segmentación, para los análisis de percepción de contaminantes y percepción de efectos en la salud humana en

usuarios selectos marzo 2021. Fuente: Elaboración con datos propios. 2021. y del Instituto Metropolitano de Investigación y Planeación de Ensenada, Baja California. 2008. *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada, B.C.* Se muestra una segmentación en seis áreas del agua costera contigua al centro de población de Ensenada. En color negro se indican sitios de referencia, principalmente playas.

### VIII.II.II- Resultados de percepción de usuarios

Se aplicaron 56 cuestionarios a usuarios selectos que realizaron actividades como surf, natación, buceo libre o autónomo, pesca y caminata en alguna de las seis zonas de estudio. El 100 por ciento de la población cuestionada es mexicana y fue representada por 60.71 por ciento de género masculino y 39.29 por ciento de género femenino. Así mismo, el 85.72 por ciento de los cuestionados forman parte del grupo de edad de entre 20 y 59 años, mientras que el porcentaje restante se divide en partes iguales en los grupos de edad de 10 a 19 años y 60 y más es decir 7.14 por ciento respectivamente. Los resultados muestran el factor de impacto en la escala del 0 al 1 para la percepción de indicadores de contaminación y efectos a la salud (véase Tabla III y Tabla IV). Mientras que los valores cercanos al 0 representan un impacto nulo o poco frecuente, los valores cercanos al 1 muestran un impacto constante o permanente.

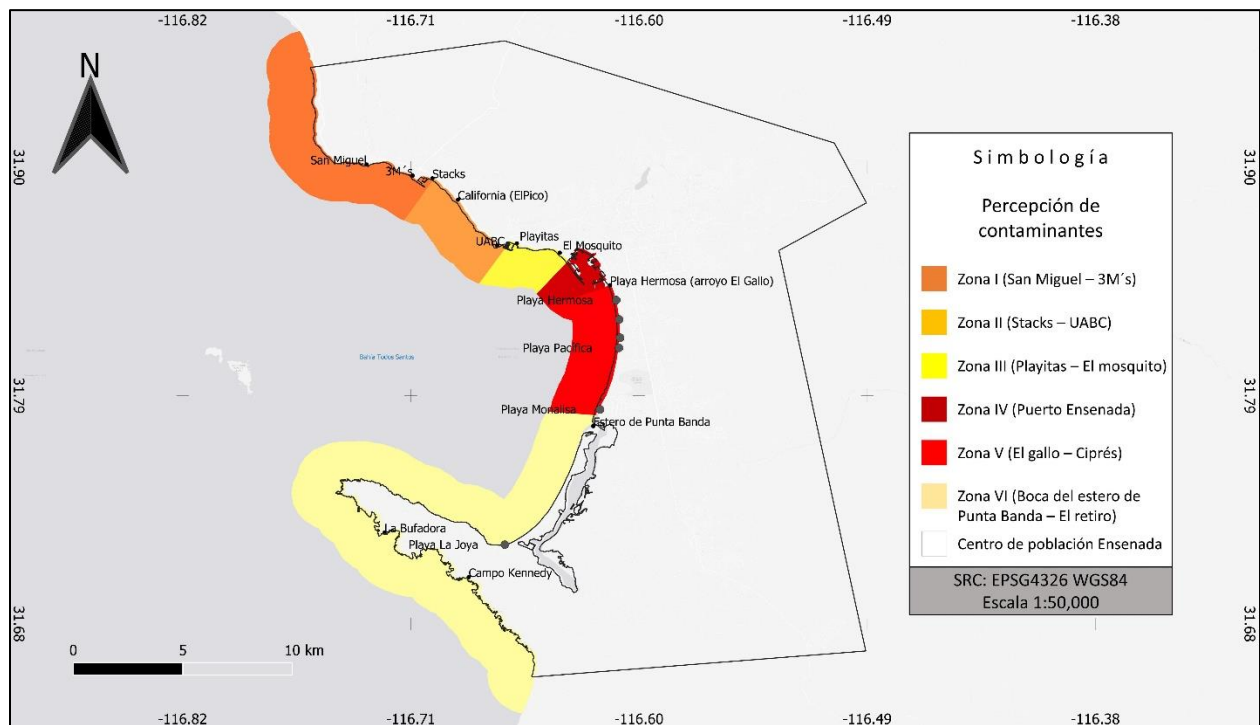
### VIII.II.III- Percepción de contaminación

De acuerdo en la percepción de los usuarios selectos la zona IV es la más contaminada, seguida de la zona V, I, II, III y VI respectivamente (Tabla III y Figura 9). Sin embargo, a excepción de la zona VI todas las zonas se califican como constantemente impactadas. La contaminación con residuos sólidos como plástico, metales, maderas o resinas es la más percibida, seguida de la descarga de aguas, materia orgánica, grasas y aceites o espumas respectivamente. Finalmente, la percepción de la descarga de aguas obtuvo valores más altos en las zonas I y II.

Tabla III: índice de percepción de contaminación en usuarios selectos del agua costera.

Indicadores de percepción de contaminantes							
Indicador	Materia orgánica	Grasas, aceites y espumas	Plástico, metales, maderas o resinas	Descarga de aguas	Factor de impacto	Reconocimiento del problema	Tamaño de muestra

Zona I (Salsipuedes - San Miguel - 3M's - Manchuria)	0.625	0.5833	0.875	0.7917	0.7188	0.875	8
Zona II (Stacks - California - UABC)	0.6667	0.5556	0.875	0.7407	0.7095	1	9
Zona III (Coral & Marina - Playitas - El Mosquito)	0.6389	0.5	0.9167	0.6667	0.6806	1	12
Zona IV (Puerto Ensenada - Marina Armada de México)	0.75	0.5833	0.9583	0.6667	0.7396	1	8
Zona V (El Gallo - Playa Hermosa - Estero Beach)	0.697	0.5455	0.9697	0.7273	0.7348	0.9091	11
Zona VI (Barra del estero de Punta Banda - La Joya - La Bufadora - Campo Kennedy - El Retiro)	0.375	0.375	0.7083	0.4167	0.4688	0.5	8



**Figura 9.** Factor de impacto con base en el análisis de percepción de contaminantes en usuarios selectos 2021. Fuente: Elaboración con datos propios y del IMIP, 2008.



### VIII.II.III- Percepción de efectos en la salud

De acuerdo en la percepción de los usuarios selectos la zona I es en la que más problemas a la salud se perciben, seguida de la zona II, VI, III, V y IV respectivamente (Tabla II y Figura 10). No obstante, todas las zonas se califican con impactos poco frecuentes a la salud. Además, los problemas oculares son los más percibidos, seguidos de los problemas del oído, la piel, las vías respiratorias y del estómago.

Tabla IV. Factor de impacto percepción de efectos en la salud humana en usuarios selectos febrero 2021.

Indicadores de percepción para efectos en la salud humana								
Indicador	Problemas de la piel	Problemas de los ojos	Problemas del oído	Problemas de las vías respiratorias	Problemas del estómago	Factor de impacto	Reconocimiento del problema	Tamaño de muestra
Zona I (Salsipuedes - San Miguel - 3M's - Manchuria)	0.1667	0.2917	0.3333	0.25	0.125	0.2333	0.75	8
Zona II (Stacks - California - UABC)	0.1852	0.3333	0.2593	0.1852	0.1111	0.2148	1	9
Zona III (Coral & Marina - Playitas - El Mosquito)	0.1667	0.2778	0.25	0.1389	0.1389	0.1944	0.83	12
Zona IV (Puerto Ensenada - Marina Armada de México)	0.125	0.2083	0.125	0.0417	0.0417	0.1083	0.63	8
Zona V (El Gallo - Playa Hermosa - Estero Beach)	0.1818	0.3333	0.2121	0.0909	0.1212	0.1879	0.64	11

Zona VI (Barra del estero de Punta Banda - La Joya - La Bufadora - Cambo Kennedy - El Retiro)	0.125	0.3333	0.25	0.125	0.1667	0.2	0.5	8
---	-------	--------	------	-------	--------	-----	-----	---

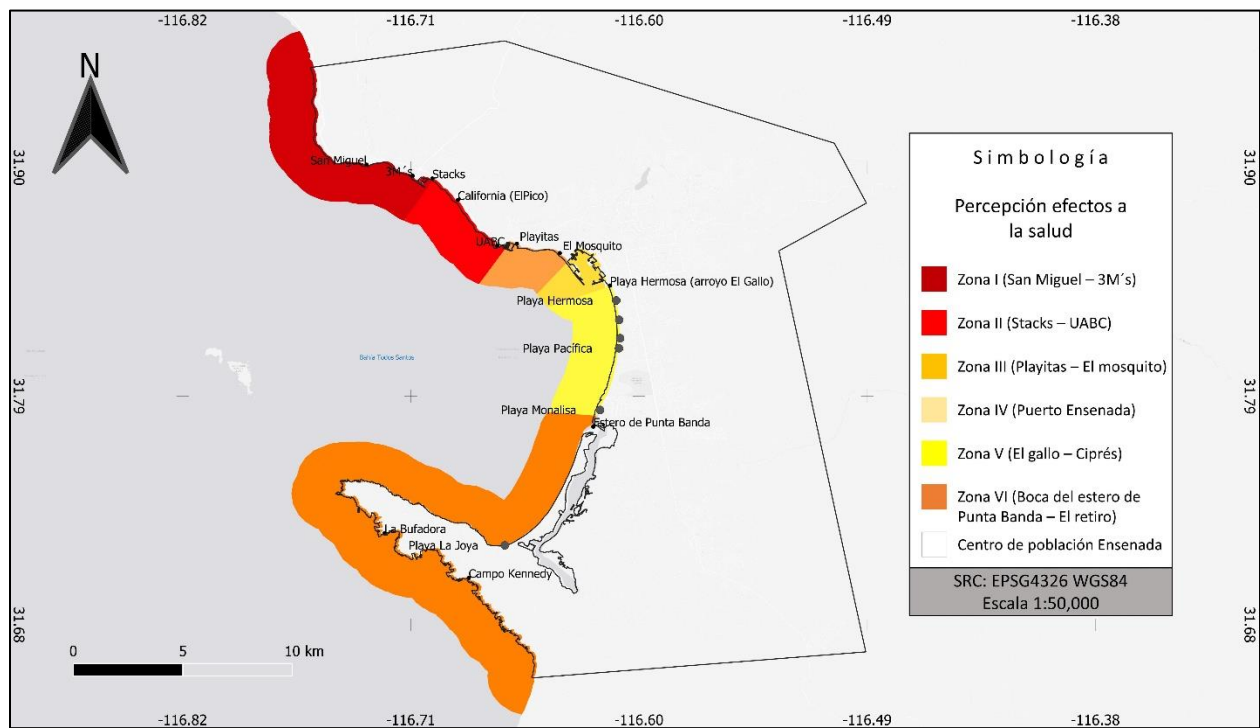


Figura 10: Factor de impacto con base en el análisis de percepción de efectos en la salud humana en usuarios selectos 2021. Fuente: Elaboración con datos propios y del IMIP, 2008.

## IX. Discusiones

### IX.I- Calidad del agua costera con base al COBTS e insumos satelitales

De acuerdo con los criterios propuestos por Preciado (2015), los datos de la concentración de clorofila-a en superficie, obtenidos del COBTS entre 2017, 2019 y 2020, sugieren altos niveles de eutrofización en el área de estudio, principalmente en los sitios identificados como de potencial riesgo por las descargas de agua y posibles fuentes de contaminación. Sin embargo, como lo define la EPA (2012), es necesario hacer análisis de nutrientes como nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo inorgánico disuelto.

### IX.II- Inventario fuentes de contaminación

Después de una exhaustiva búsqueda no se encontró un registro público sobre la distribución de las fuentes de contaminación. Aunque, desde principios de la década de 1980 se han realizado numerosos trabajos que reconocen los problemas de contaminación, por el posible efecto de la descarga de aguas residuales de origen doméstico e industrial, dentro de la franja costera correspondiente la Centro de Población de Ensenada, principalmente en las cercanías del centro turístico Granada Cove, Puerto de Ensenada y la playa municipal Playa Hermosa (Segovia, 1986; Orozco, 1988; Jiménez, 1989; Morales, 1992; Muñoz, 1994; Orozco 1996, 2002, 2006 y Muñoz 2012). Por lo anterior, se realizó un inventario de fuentes de descargas, que incluye la ubicación, estado y origen probable de la descarga, así como un registro fotográfico que pueda servir como información base para trabajos futuros. A diferencia de lo mencionado en trabajos previos, con base en el DAZC se identificaron seis sub zonas de riesgo. La sub zona cinco abarca los sitios de muestreo oficial en las playas de Playa Hermosa y Pacífica (Conalep I, Conalep II y El Ciprés). Además, la sub zona seis alberga el muestreo oficial en playa La Joya. Por otra parte, cuatro de las sub zonas no albergan sitios de muestreo con información bacteriológica oficial, estas sub zonas se localizan principalmente al norte del área de estudio en lo que corresponde al Sauzal y cercanías, especialmente en las playas de Stacks, California, El Pico, 3M's, San Miguel, UABC y Playitas. Finalmente, las fuentes de contaminación están bien correlacionadas con la banda 2 (azul) del sensor MSI de sentinel-2, esto puede sugerir que alguna sustancia transportada en las descargas afecta las propiedades ópticas del agua.

### **IX.III- Calidad del agua costera con base en percepción social**

El análisis de correlación de los resultados del cuestionario, mostraron una alta correlación entre la percepción de problemas respiratorios y las descargas encontradas por sub zona. Además, se encontró una alta correlación entre la percepción de problemas respiratorios y el factor de impacto de contaminación. Estos resultados apuntan a que existe un impacto de las descargas en la CAC, y coinciden con trabajos previos que sugieren que las zonas del puerto de Ensenada y la playa municipal Playa Hermosa sufren las consecuencias de las descargas de uso doméstico e industrial (Segovia, 1986; Orozco, 1988; Jiménez, 1989; Morales, 1992; Muñoz, 1994; Orozco 1996, 2002, 2006 y Muñoz 2012). Sin embargo, es necesario analizar las características, químicas, físicas y biológicas de las descargas para demostrar la influencia de estas.

El resultado del NDVI6 mostro una correlación media de 0.5470 sin embargo, es recomendable alimentar la base de datos con más registros e incrementar la robustez del modelo mejorando su correlación y la aplicabilidad de los insumos satelitales en este tipo de investigaciones. Además, algunos registros in-situ sugieren niveles de eutrofización dentro de la zona costera propuesta al inicio de esta investigación.

El producto de la zonificación costera con base en la distribución de las fuentes de contaminación sugiere otras zonas y puntos de interés para el análisis de la calidad del agua. Principalmente, evidencian el potencial de estos registros para que Cofepris considere otros puntos de muestreo al norte de la bahía en playas como Stacks, California, El Pico, 3M's, San Miguel, UABC y Playitas. Además, esto puede ayudar a mejorar las metodologías del monitoreo y regulación de actividades como las descargas de la planta de cultivo acuícola propiedad del "Grupo Marítimo Miramar S.A. de C.V."

## **X. Conclusión y medidas para el manejo**

Algunos resultados indican algún grado de eutrofización en la zona costera en sitios como Playa Hermosa, Conalep I, Puerto Ensenada, San Miguel, Stacks, Playitas y El Ciprés.

El modelo de correlación de insumos satelitales sentinel-2 y los registros del DAZC, sugieren que alguna sustancia transportada en las descargas de aguas residuales es

detectada por la banda dos que corresponde al color azul y puede estar relacionada a la presencia de algún contaminante.

También, es recomendable realizar análisis específicos de nutrientes como nitrógeno inorgánico disuelto y fosforo inorgánico disuelto en el agua costera y agua descargada que permitan establecer la relación entre los indicadores y la contaminación.

Por otra parte, es imprescindible en robustecer el modelo de correlación del análisis de percepción social, estableciendo y coordinando la aplicación del cuestionario a usuarios selectos con los muestreos de clorofila-a, temperatura, oxígeno disuelto y enterococos que permitan identificar sitios de potencial riesgo para la salud humana a través del tiempo y que puedan servir como información base para los tomadores de decisiones.

Además, de las recomendaciones metodológicas y para los tomadores de decisiones sugerimos elaborar y difundir instrumentos de comunicación como infogramas de los indicadores de contaminación y efectos a la salud por contacto con organismos patógenos, si es que la autoridad competente Cofepris no toma en cuenta los resultados de esta investigación, para suplir al menos las responsabilidades del comité de playas limpias responsable de la difusión de los resultados bacteriológicos en los sitios de muestreo oficial.

## XI. Referencias

- Aguilar, M. J. (2018). Las propiedades ópticas inherentes satelitales como indicadores de eventos de florecimientos fitoplanctónicos.
- Benez, M. C. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera norte*, 22(43).
- Boehm, A. B. (2009). A sea change ahead for recreational water quality criteria.
- Boyer, J. N. (2009). Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA,. *Ecological Indicators*, 9(6), S56-S67. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.11.013>.
- BroRasmussen, F. C.-F. (1994). EEC water quality objectives for chemicals dangerous to aquatic environments. *Rev Environ Contam Toxicol* 137, 83–110.
- Cabelli, V. J. (1979). Relationship of microbial indicators to health effects at marine bathing beaches. *American journal of public health*, 69(7), 690-696. Obtenido de <https://doi.org/10.2105/ajph.69.7.69>
- Calcina, C. Y. (2014). El clima institucional y su incidencia en el desempeño laboral de los docentes de la facultad de ciencias sociales de la Universidad Nacional del Altiplano y facultad de ciencias de la educación Universidad Andina Nestor. *PERÚ 2012. Comuni@cción*, 5(1), 22-29. Recuperado en 08 de diciembre de 2021, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2219-71682014000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682014000100003&lng=es&tlng=es). Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2219-71682014000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682014000100003&lng=es&tlng=es).
- Calderon, R. L. (20 de september de 2008). Health effects of swimmers and nonpoint sources of contaminated water. 21-31. doi:10.1080/09603129109356701
- Castillo, M. Á. (Diciembre de 2002). Percepción remota. (L. L. Argoytia, Ed.) *Ecofronteras*, 71(17), 13-15.

- Cervantes, A. I. (2013). Análisis de circulación y dispersión en la Bahía de Todos Santos, Baja California.
- Cheung, W. H. (1996). Health effects of beach water pollution in Hong Kong.
- Cofepris, C. F. (2020). Manual operativo: Monitoreo de agua de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce. *Manual operativo: Monitoreo de agua de contacto primario en el agua de mar de playas y cuerpos de agua dulce*. Ciudad de México, Estado de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Colford, J. M. (2007). Water quality indicators and the risk of illness at beaches with nonpoint sources of fecal contamination.
- Cooper, J. R. (1998). *Agriculture water quality index*,. Robert B. Annis Water Resources Institute. Recuperado el 10 de enero de 2021, de <https://scholarworks.gvsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=scitechreports>
- COPLADE. (2017). Publicaciones demográficas Ensenada, Baja California.
- Corbett, S. R. (1993). The health effects of swimming at Sydney beaches. *The Sydney Beach Users Study Advisory Group. Am J Public Health.*, 12(83), 1701-1706. doi:10.2105/ajph.83.12.1701.
- Delegido, J. T. (2014). Modelo empírico para la determinación de clorofila-a en. *Revista de teledetección*. doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2014.2295>
- Desortová, B. (1981). Relationship between chlorophyll- $\alpha$  concentration and phytoplankton biomass in several reservoirs in Czechoslovakia. 66(2), 153–169. doi:10.1002/iroh.19810660202
- Dillman, D. (2009). Mail and internet surveys: The tailored design method.
- EPA, (. P. (2012). *Trophic state of coastal waters- Report on the environment*. Obtenido de <https://www.epa.gov/report-environment>
- Fleisher, J. J.-S. (1993). Water and non-water-related risk factors for gastroenteritis among bathers exposed to sewage-contaminated marine waters. *International*

*journal of epidemiology*, 22(4), 698-708. Obtenido de <https://doi.org/10.1093/ije/22.4.698>

Gonzalez, Z. R.-B. (2006). Condiciones fisicoquímicas del Puerto de Ensenada, Baja California, con vistas a la instalación de un sistema de bombeo por energía del oleaje (Sibeo). . *Revista de Investigaciones Marinas*, 27, pp. 171-181.

Granillo, M. A.-R.-L. (2012). *Diagnóstico y restauración de los humedales Ramsar de Baja California*.

Grant, S. B. (2001). Generation of enterococci bacteria in a coastal saltwater Marsh and its impact on surf zone water quality. *Environmental science & technology* 35 (12), 2407-2416. doi:DOI: 10.1021/es0018163

Green, E. M. (2000). *Monitoring coastal water quality*. Paris: UNESCO. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/257395007\\_Remote\\_Sensing\\_Handbook\\_for\\_Tropical\\_Coastal\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/257395007_Remote_Sensing_Handbook_for_Tropical_Coastal_Management)

Gupta, A. K. (2003). A comparison of water quality indices for coastal water. *Journal of environmental science and health, Part A: Toxic/hazardous substances and environmental engineering* 38:11, pp. 2711-272. doi: DOI: 10.1081/ESE-120024458

Hafeez, S. &. (2018). Detection and monitoring of marine pollution using remote sensing technologies. doi:10.5772/intechopen.81657.

Harrison, M. R. (2001). Pollution: Causes, effects and control. *Royal society of chemistry*, 579.

Hellweger, F. &. (2004). Use of satellite imagery for water quality studies in New York harbor. *Coastal and shelf science*., pp. 437-448.

Herrmann, I. &. (2011). LAI assessment of wheat and potato crops by VENUS and Sentinel-2 bands. *Remote sensing of environment*, 115, 2141–2151. 10.1016/j.rse.2011.04.018.

- Hilborn, E. R. (2014). Algal bloom-associated disease outbreaks among users of freshwater lakes--United States, 2009-2010. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 63(1), 11–15.
- Horton, R. K. (1965). An index-number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300-306.
- Inhaber, H. (1975). An approach to a water quality index for Canada. *Water research*, 9(9), 821–833. doi:10.1016/0043-1354(75)90142-6
- Jímenez, G. R. (1989). Contaminación fecal en las principales playas de uso recreativo de la Bahía de Todos Santos, B.C. durante la estación de verano de 1987. 48. Ensenada, Baja California, México.
- Jiménez, P. L. (1992). Efectos de las aguas residuales sobre la macrofauna bentónica de playas arenosas en la bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*, pp. 35-54.
- Juanes, d. I. (2013). Calidad de las aguas litorales en áreas portuarias.
- Khayatzadeh, J. &. (2010). The effects of heavy metals on aquatic animals.
- Lachhab, A. (2019). Water Quality Index of Natural Streams: A Case Study of Five Headwater Streams in Bald Eagle State Forest, Pennsylvania. *American Journal of Water Resources*. 2019;, 7(4), 128-135. doi:10.12691/ajwr-7-4-1.
- Lima, R. T. (2003). *Percepção ambiental e participação pública na gestão dos recursos hídricos: perfil dos moradores da cidade de São Carlos, SP (bacia hidrográfica do rio do Monjolinho)*. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Univer, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; 2003 [citado 2021-06-19]. doi:10.11606/D.18.2003.tde-26032004-102050., Brasil. Recuperado el 4 de enero de 2021, de ; 2003 [citado 2021-06-19]. doi:10.11606/D.18.2003.tde-26032004-102050.
- Lumb, A. S. (2011). A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water qual expo health* 3, 11–24. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0>

- Matthews, M. W. (2011). A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. *International Journal of Remote Sensing*. doi:10.1080/01431161.2010.512947
- McBride, G. B. (AGOSTO de 1998). Health effects of marine bathing in New Zealand. *International journal of environmental health research* 8(3), 173-189. doi:10.1080/09603129873462
- Morales, C. R. (1992). Bacteriología en agua de la bahía de Todos los Santos, B. C. (pág. 276). Ensenada: IX Congreso nacional de oceanografía.
- Mujeriego, R. B. (1982). Recreation in coastal waters, Public health implications. *Vlimes jourmie s etud. Pollutions*, pp. 585 - 594.
- Mukaka, M. M. (2012). A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal : the journal of Medical Association of Malawi*, 24(3), 69–71.
- Muñoz, A. F. (1994). Variabilidad de Cd, Cu y Pb en los aportes de aguas residuales del arroyo El Gallo a la Bahía de Todos Santos durante el periodo mayo–diciembre de 1991. *Variabilidad de Cd, Cu y Pb en los aportes de aguas residuales del arroyo El Gallo a la Bahía de Todos Santos durante el periodo mayo–diciembre de 1991*. Ensenada, Baja California, México.
- Muñoz, B. A. (2012). Relationship between metal enrichments and a biological adverse effects index in sediments from Todos Santos Bay, northwest coast of Baja California, México. *Mar Pollution Bulletin*, 405-409. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.11.023
- Orozco, B. M. (1988). A study of the coliform, streptococci and pathogenic bacteria along the Baja California Coast. *Ciencias Marinas*, 14(3), 1-8.
- Orozco, B. M. (1996). Estudio bacteriológico en la Bahía de Todos Santos. X Congreso nacional de oceanografía.
- Orozco, B. M. (2002). Estudio microbiológico en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Puerto Vallarta: XIII Congreso nacional de oceanografía.

- Orozco, B. M. (2006). Bacteriological water quality along the Tijuana-Ensenada, Baja California, México shoreline. *Mar Pollut Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2006.02
- Palau, M. M. (2019). *Informe técnico: Calidad de las aguas de baño en España 2019*. Madrid: Ministerio de sanidad.
- Percepción remota. (2002). *Ecofronteras*, 71(17), 13-15. Recuperado el 12 de abril de 2021, de <https://revistas.ecosur.mx/>: <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/issue/view/65>
- Pike, E. (1994). Health effects of sea bathing (WMI 9021) - Phase III final report to the department of the environment. *National rivers authority*.
- Preciado, V. M. (2015). *Estimación de concentración clorofila-a, con técnicas de teledetección a partir de un derrame de petróleo [Estimation of chlorophyll-a concentration, with remote sensing techniques from an oil spill]*. Ventana I. Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Prüss, A. (1998). Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Int J Epidemiol.* 27(1), pp. 1-9. doi:doi:10.1093/ije/27.1.1
- Segovia, Z. J. (1986). Calidad bacteriológica del agua de mar en la zona costera noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 12(1), 93-102. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v12i1.482>
- Sevilla, U. d. (2015). *Calor y Calorimetría*. Obtenido de departamento de física aplicada III, Universidad de Sevilla: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Calor\\_y\\_calorimetr%C3%ADa](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Calor_y_calorimetr%C3%ADa)
- Shyue, S.-w. &.L.-C. (24 de December de 1996). An approach to a coastal water quality index for Taiwan. *Oceans 96 MTS/IEEE conference proceedings. The coastal ocean - Prospects for the 21st Century,,* 2, 904-907.
- Tran, K. E. (2002). Public perception of development issues: Impact of water pollution on a small coastal community. *Ocean & coastal management*, 45, . 405-420. doi:10.1016/S0964-5691(02)00077-7.

Vighi, M. F. (2006). The evolution of the environmental quality concept: from the US EPA red book to the European Water Framework Directive. *Environmental science pollution*, 9–14. Obtenido de <https://doi.org/10.1065/espr2006.01.003>

WHO, W. H. (1998). *Guidelines for safe recreational-water environments : Coastal and fresh-waters*. World health organization (WHO).

## Anexos

### Anexo 1

#### Normas mexicanas

Clave	Título de la norma	Año	Referencia
NMX-AA-120-SCFI-2016	Que establece los requisitos y especificaciones para de sustentabilidad de la calidad de playas (cancela a la NMX-AA-120-SCFI-2006).	2016	NMX-AA-120-SCFI-2016, Diario Oficial de la Federación, México, 7 de diciembre de 2016.
NOM-113-SSA1-1994	Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.	1995	NOM-113-SSA1-1994, Diario Oficial de la Federación, México, 25 de agosto de 1995.

Anexo 2

Especificaciones técnicas sensor sentinel-2

Título	Año	Referencia
Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services	2012	Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, European Space Agency (ESA SP-1322/2 March 2012)

Anexo 3

Nombre	Año	Referencia
Sentinel-hub	2020	2020. Sentinel-hub. <a href="https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/">https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/</a>

Anexo 4

Título	Año	Referencia
Informe técnico de calidad de las aguas de baño en España, 2019	2019	Palau, Miguel Margarita., Esperanza Guevara Alemany. Ministerio de Sanidad. Marina Gamo Aranda.2019. Informe técnico de calidad de las aguas de baño en España.

## Otras regulaciones

Clave	Título	Año	Referencia
UNE-EN ISO 9308-3/AC:2000	Calidad del agua. Detección y recuento de Escherichia coli y bacterias coliformes. Parte 3: Método miniaturizado (Número Más Probable) para la detección y recuento de E. coli en aguas superficiales y aguas residuales (ISO 9308-3:1998)	2000	UNE-EN ISO 9308-3/AC:2000. Revista de la normalización española. Madrid, 2000.

Ensenada, Baja California a \_\_/\_\_/\_\_

Este cuestionario fue diseñado como un instrumento para documentar la percepción social de la calidad del agua costera en Ensenada. Dirigida a todos aquellos usuarios que realizan actividades recreativas como: Surf, natación, buceo, pesca o caminata. A continuación, se presenta una serie de preguntas divididas en tres grupos: Análisis de contaminantes, análisis de efectos en la salud humana y análisis de propuestas para el manejo.

### Información demográfica

Sexo	Masculino	Femenino
Clave	1	2

Edad	0 a 9	10 a 19	20 a 59	60 y mas
Clave	1	2	3	4

Actividad realizada	Surf	Natación	Buceo	Pesca	Caminata
Clave	1	2	3	4	5

Nacionalidad:

Área de estudio

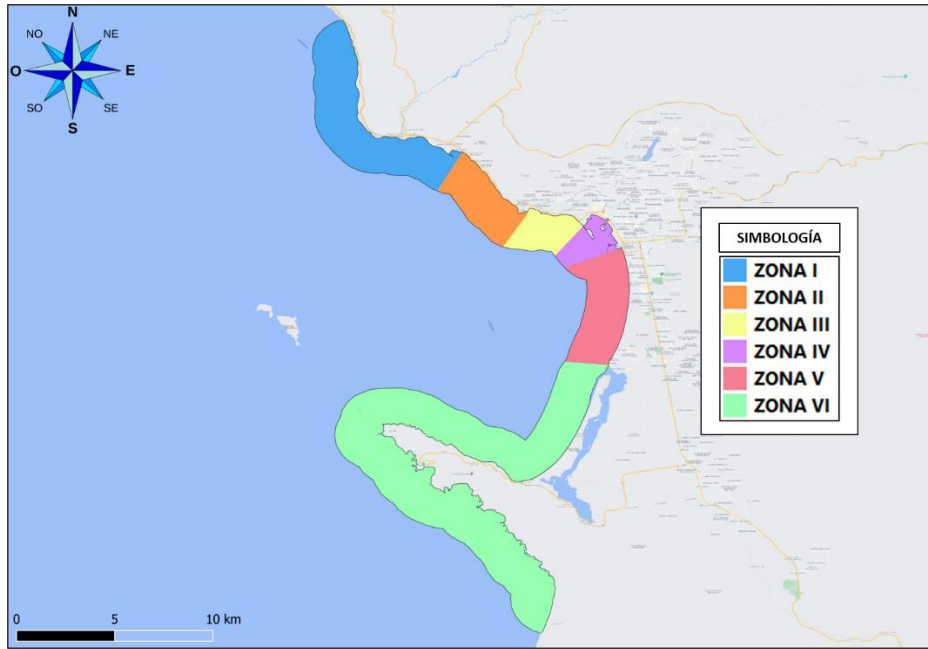


Imagen 1: Área de estudio



Imagen 2: Zona I

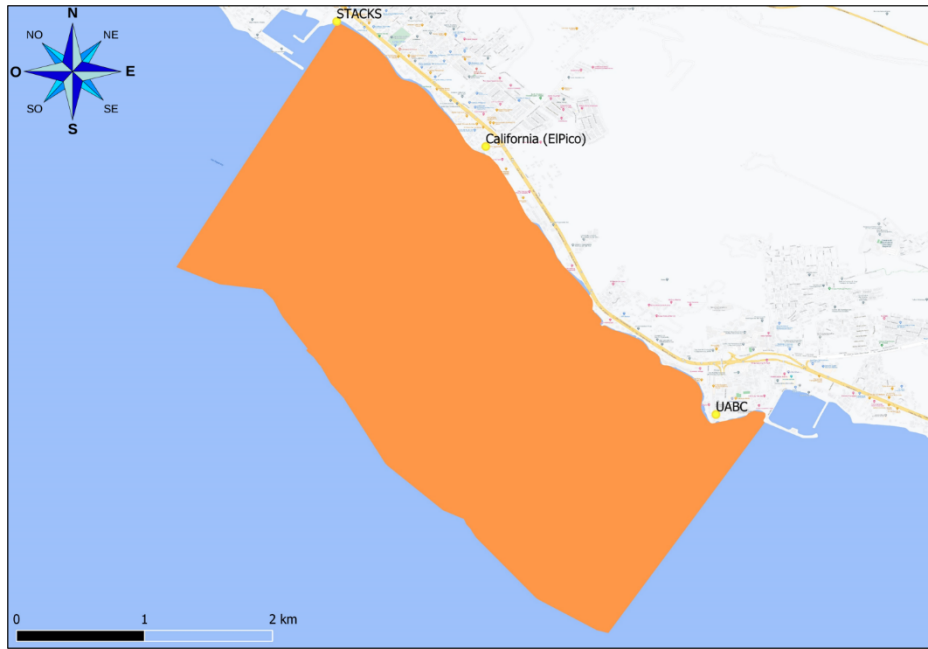


Imagen 3: Zona II



Imagen 4: Zona III

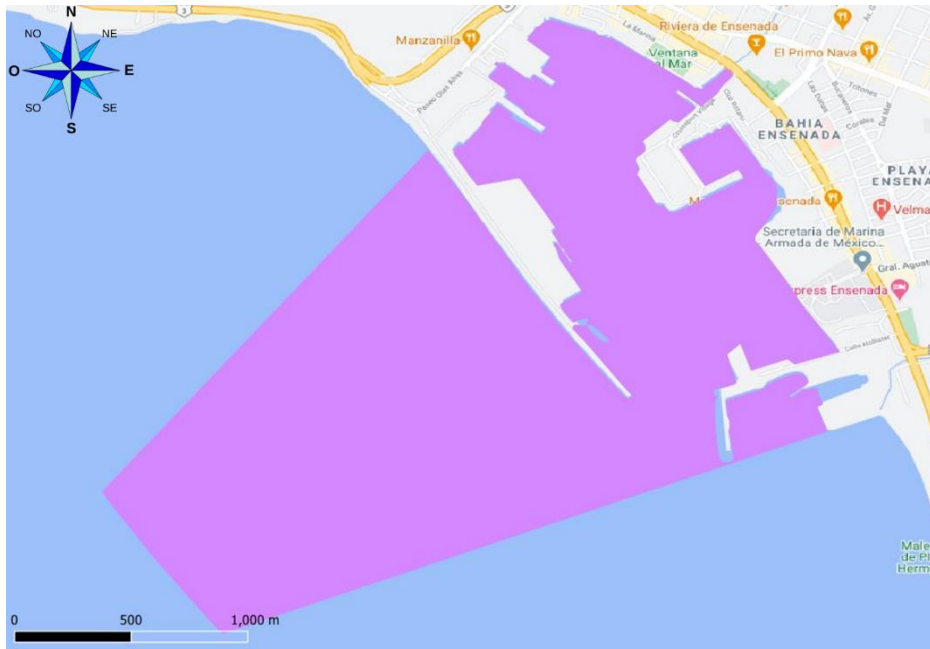


Imagen 5: Zona IV

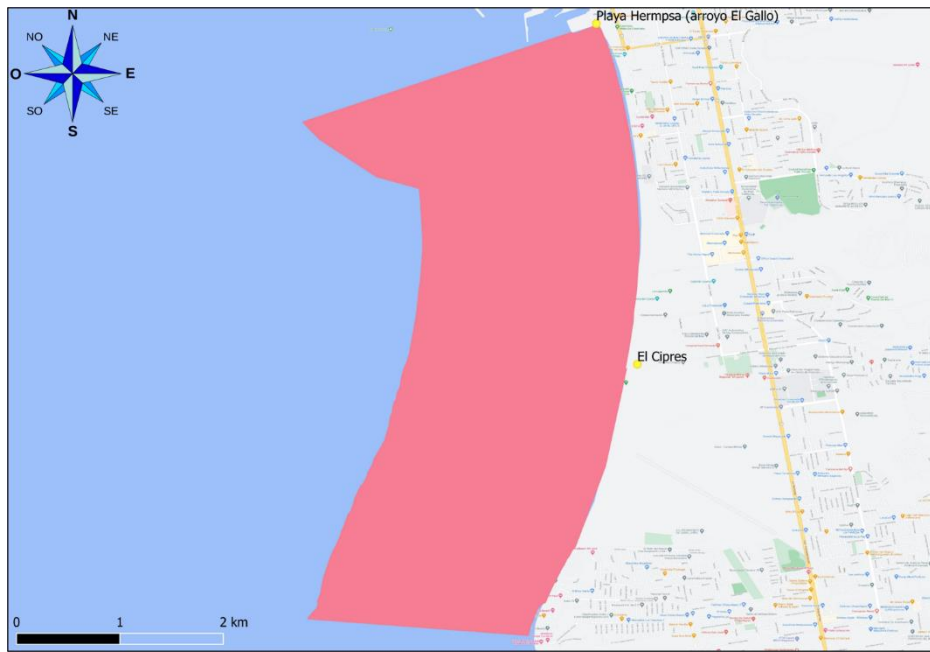


Imagen 6: Zona V

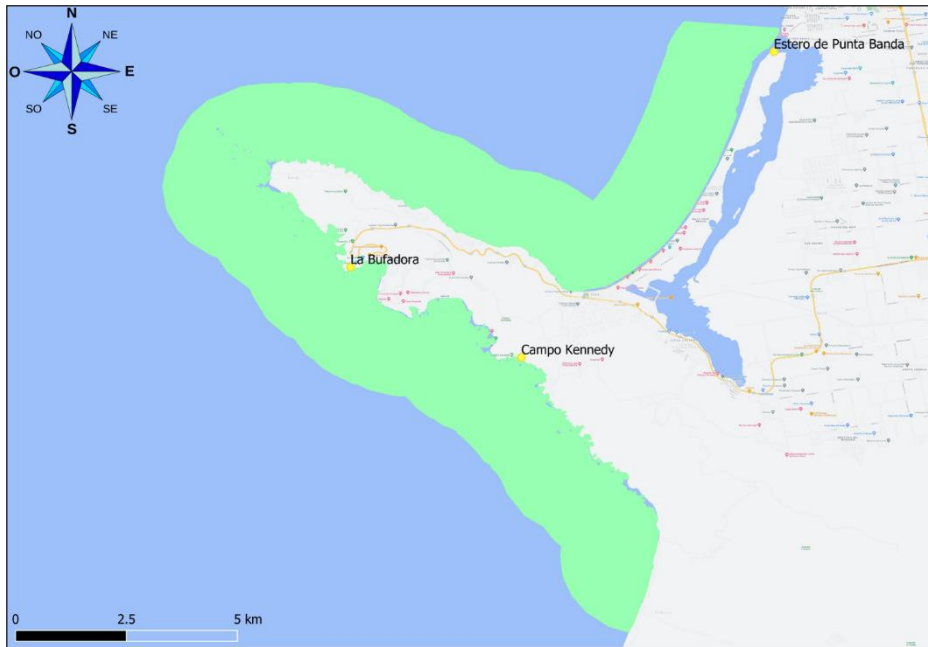


Imagen 7: Zona VI

Zona	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V	Zona VI
Clave	1	2	3	4	5	6

¿Qué zonas frecuenta?

## Percepción de la contaminación

Si su respuesta es positiva a las siguientes preguntas, responda dónde y con qué frecuencia:

Dónde

Frecuencia	Nunca (ninguna de las veces que uso el área)	Poco (1 a 2 ocasiones de cada 10 veces que uso el área)	Comúnmente (3 a 5 ocasiones de cada 10 veces que uso el área)	Constantemente (6 y más ocasiones de cada 10 veces que uso el área)
Clave	0	1	2	3

Indicador asociado	ID	Pregunta	¿Dónde?	Frecuencia
Materia orgánica en descomposición y producción de gases nocivos.	AC1	¿Percibe o a percibido olores desagradables?		
Contaminantes derivados de detergentes e hidrocarburos	AC2	¿Percibe o a percibido grasas, aceites o espumas en la superficie del agua aquí o en los sitios que frecuenta?		
Basura macro	AC3	¿Percibe o a percibido objetos derivados del plástico, metales, maderas o resinas en la playa o dentro del agua aquí o en los sitios que frecuenta?		
Aporte de aguas negras y grises	AC4	¿Identifica o ha identificado descargas de aguas aquí o en los sitios que frecuenta?		

Reconocimiento del problema	AC5	¿Alguna de las condiciones anteriores afecta o ha afectado su criterio para realizar o no la actividad en el agua?		
-----------------------------	-----	--	--	--

## Percepción de efectos en la salud humana

Responda con qué frecuencia a cada una de las siguientes preguntas:

Frecuencia	Nunca (ninguna de las ocasiones)	Poco (1 a 2 ocasiones de cada 10 visitas)	Comúnmente (3 a 5 ocasiones de cada 10 veces que uso el área)	Constantemente (6 y más ocasiones de cada 10 veces que uso el área)
Clave	0	1	2	3

Indicador asociado	ID	Pregunta	¿Dónde?	Frecuencia
Síntomas por exposición a aguas contaminadas con patógenos, dinoflagelados y cianobacterias	AES1	¿Ha presentado síntomas después de estar en contacto con el agua, relacionados con problemas de la piel como: Salpullido, irritación o enrojecimiento?		
Síntomas por exposición a aguas contaminadas con patógenos, dinoflagelados y cianobacterias	AES2	¿Ha presentado síntomas después de estar en contacto con el agua, relacionados con problemas de los ojos como: Ardor o enrojecimiento?		
Síntomas por exposición a aguas contaminadas con patógenos,	AES3	¿Ha presentado síntomas después de estar en contacto con el agua, relacionados con problemas de los		

dinoflagelados y cianobacterias		oídos como: Dolor, ardor o inflamación?		
Síntomas por exposición a aguas contaminadas con patógenos, dinoflagelados y cianobacterias	AES4	¿Ha presentado síntomas después de estar en contacto con el agua, relacionados con problemas de la boca como: Dolor, ardor, o inflamación?		
Síntomas por exposición a aguas contaminadas con patógenos, dinoflagelados y cianobacterias	AES5	¿Ha presentado síntomas después de estar en contacto con el agua, relacionados con problemas del estómago como: Irritación, inflamación, diarrea o vomito?		
Síntomas por exposición a aguas contaminadas con patógenos, dinoflagelados y cianobacterias	AES6	¿Conoce otro caso donde se presentará alguno de los síntomas anteriormente mencionados?		
Ingesta de moluscos bivalvos bioacumuladores de organismos patógenos, dinoflagelados y cianobacterias	AES7	¿En el sitio capturaste y consumiste mariscos de concha como: Almeja, ostión, mejillón o pata de mula antes o después		

		de estar en contacto con el agua?		
Otros vectores de contagio	AES8	¿Estuviste en contacto con alguna persona que presentara estos síntomas antes estar en contacto con el agua?		
Reconocimiento del problema	AES9	¿Alguna de las condiciones anteriores afecta su criterio para realizar o no la actividad en el agua? Sí/No		

## **Alternativas para mejora o gestión**

¿Reconoce o ha reconocido, alguna alternativa para reducir los efectos de uno o varios de los contaminantes que identifica aquí o en los sitios que frecuenta?

¿Reconoce o ha reconocido, alguna alternativa para reducir los efectos en la salud humana por realizar sus actividades aquí o en los sitios que frecuenta?

¿Reconoce o ha reconocido, alguna relación entre los síntomas que ha percibido y algún contaminante aquí o en los sitios que frecuenta?

Anexo 7

Sentinel-2 a			
Banda	Longitud de onda nm	Ancho de banda	Resolución espacial
b01-aerosol	430-450		60
b02-blue	460-520		10
b03-green	540-570		10
b04-red	650-680		10
b05-red edge 1	690-710		20
b06-red edge 2	730-740		20
b07-red edge 3	770-790		20
b08-near infrared 1	780-900		10
b08a-near infrared 2	850-870		20
B09-water vapour	930-950		60
b10-cirrus	1360-1390		60
b11-short wave infrared 1	1560-1650		20
b12-short wave infrared 2	2100-2280		20