



---

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES Y**  
**ESTUDIOS DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHÍA DE OHUIRA, SINALOA. CON  
BASE EN EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA BACTERIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO  
(IQBP) PARA LA BIODIVERSIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO”**

**TESIS**

Que para obtener el título en:

**Ingeniería en Sistemas Ambientales**

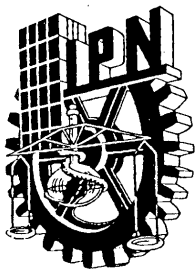
**P R E S E N T A**

Maribel Rojas González

**ASESORA:**

Dra. Norma Patricia Muñoz Sevilla

Ciudad de México, 2019



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**TITULACIÓN NIVEL LICENCIATURA**


**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México el día 30 del mes de enero del año 2018 el que suscribe Maribel Rojas González alumno(a) de la carrera de Ingeniería en Sistemas Ambientales con número de boleta 2012500503 egresado de la **Escuela Nacional de Ciencias Biológicas**, manifiesta que es coautor intelectual del presente trabajo de Titulación bajo la Asesoría del(la) Dra. Norma Patricia Muñoz Sevilla y como coasesor el(la) Dr. Miguel Ángel Rivas Sepúlveda, quiénes ceden **únicamente los derechos del título y del resumen** del trabajo intitulado «Evaluación de la calidad del agua de la Bahía de Ohuira, Sinaloa. Con base en el Índice de la calidad del agua Bacteriológico y Físicoquímico (IQBP) para la biodiversidad de la zona de estudio» al Instituto Politécnico Nacional para su difusión con fines académicos.

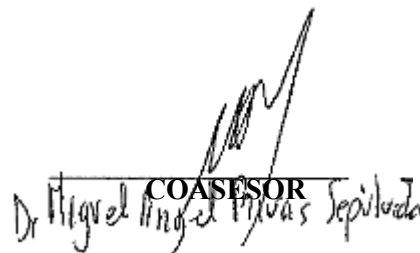
El contenido textual, fotográfico, gráficas y resultados del trabajo se someterán para su publicación y/o patente, por lo que se reserva la información completa de este trabajo exclusivamente para la evaluación y consulta de los miembros del jurado académico del examen de Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Ambientales.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de los autores. Éste puede ser solicitado por escrito al asesor y coasesor de este trabajo dirigiéndose a la ENCB. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**A t e n t a m e n t e**

  
ALUMNO  
Maribel Rojas González

  
ASESOR

  
COASESOR  
Dr. Miguel Ángel Rivas Sepúlveda

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
INTRODUCCIÓN.....	6
JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVO.....	9
OBJETIVOS PARTICULARES.....	9
MARCO TEÓRICO .....	10
SINALOA .....	10
SISTEMA LAGUNAR SANTA MARÍA – TOPOLOBAMPO - OHUIRA.....	12
CALIDAD DEL AGUA.....	20
ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA BACTERIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO (IQBP) .....	21
PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	22
Oxígeno Disuelto .....	22
Clorofila a .....	26
Coliformes Fecales .....	28
Nitrógeno.....	30
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	33
Temperatura .....	35
pH.....	36
Turbidez .....	36
Fósforo .....	38
Salinidad.....	40
Transparencia.....	42
Sólidos Suspendidos Totales.....	42

Materia Orgánica Particulada.....	44
CONTAMINACIÓN MARINA .....	45
MAREA ROJA.....	48
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>49</b>
MATERIALES Y METODOLOGÍA .....	53
TRABAJO DE CAMPO.....	53
TRABAJO DE LABORATORIO .....	54
TRABAJO DE GABINETE .....	55
RESULTADOS .....	56
DISCUSIÓN.....	72
Calidad del agua de la bahía de Ohuira .....	72
Clorofila a.....	74
Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	75
Compuestos Fosfatados .....	76
Compuestos Nitrogenados.....	77
Relación Materia Orgánica Particulada – Oxígeno Disuelto .....	78
Potencial de Hidrógeno .....	78
Salinidad .....	79
Sólidos Suspendidos Totales .....	80
Temperatura.....	80
Transparencia .....	81
CONCLUSIONES .....	82
ANEXOS.....	85
ANEXO 1 .....	85
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....	91

Figura 1 Mapa de clima en el municipio de Ahome, Sinaloa, México. ....	10
Figura 2 Tabla de Hidrografía del municipio de Ahome.....	11
Figura 3 Ubicación de las 6 islas que se encuentran en la bahía de Ohuira, 1) Patos, 2) Bledos, 3) Bleditos, 4) Tunosa, 5) Mazocahui I y 6) Mazocahui II. ....	13
Figura 4 Ubicación de drenes que desembocan en el sistema lagunar Santa María – Topolobampo – Ohuira .....	14
Figura 5 Concentración de OD y consecuencias al ecosistema de estudio.....	23
Figura 6 Porcentaje de saturación y su respectiva caracterización .....	25
Figura 7 valores límites según la OCDE para la clasificación trófica de un cuerpo de agua. ....	26
Figura 8 Ciclo biogeoquímico del Nitrógeno en agua marina .....	31
Figura 9 Descripción de la calidad del agua para DBO5 .....	34
Figura 10 Caracterización del estado trófico de un cuerpo de agua de acuerdo con la relación de otros parámetros. ....	39
Figura 11 Distribución de la salinidad en el planeta, demostrando que en puntos con mayor temperatura existe una mayor salinidad por el efecto de la evaporación. ....	41
Figura 12 Diagrama de la contaminación y los problemas que desencadena .....	45
Figura 13 Ubicación de las 12 estaciones de muestreo de la bahía de Ohuira y Puerto de Topolobampo.....	53
Figura 14 Procedimiento del desarrollo del IQBP.....	55
Figura 15 Representación gráfica del Amonio (NH <sub>4</sub> ) en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017 .....	56
Figura 16 Clorofila a en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que al nivel de los 25 mg/m <sup>3</sup> con referencia al grado en el que empieza a determinarse un cuerpo costero como eutrófico de acuerdo con OCDE en 1982 .....	57
Figura 17 DBO5 en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017”. La línea roja que se encuentra al nivel de los 20 mg/L representan el LMP de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1996 en uso recreativo con contacto directo. ....	58

Figura 18 Materia Orgánica Particulada en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. ....	59
Figura 19 Nitritos en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de los 0.002 mg/L representa el LMP emitido por los CECA de protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras).....	60
Figura 20 Nitratos en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de los 0.04 mg/L representa el LMP emitido por los CECA de protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras).....	61
Figura 21 OD en las 12 estaciones. La línea roja al nivel de los 5 mg/L representa el límite mínimo permitido por los CECA de protección de la vida acuática en agua marina, y la línea roja punteada en los 12 mg/L LMP del semáforo de CONAGUA. ....	62
Figura 22 pH en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de las 8.5 Unidades de pH, LMP de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996. ....	63
Figura 23 PO4 en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de los 0.02 mg/L que representa el LMP de acuerdo con los CECA de protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras). ....	64
Figura 24 Salinidad en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. Las líneas rojas determinan el rango de 27 a 35 UPS de acuerdo con los CECA para camaronicultura. ....	65
Figura 25 SST en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja al nivel de los 20 mg/L establece el LMP referido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT-1996 para contacto directo. ....	66
Figura 26 Temperatura en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja al nivel de los 40°C establece el LMP referido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.....	67
Figura 27 Transparencia en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017.....	68
Figura 28 Coliformes Fecales de las 12 estaciones de muestreo realizados en abril 2016 a marzo 2017.....	69

Figura 29 Tabla de resultados, mínimo, máximo y promedio con un intervalo del 95% de confianza, para cada uno de los parámetros analizados.....	70
Figura 30 Resultado del IQBP para la bahía de Ohuira en el periodo de muestreos de abril 2016 a marzo 2017.....	71
Figura 31 Clasificación del tipo de calidad de agua obtenida por el IQBP.....	85
Figura 32 Gráfica de IQBP para coliformes fecales .....	86
Figura 33 Gráfica de IQBP de Fósforo Total .....	86
Figura 34 Gráfica de IQBP de Nitrógeno Amoniacal. ....	87
Figura 35 Gráfico de IQBP de Nitritos y Nitratos .....	87
Figura 36 Gráfico de IQBP de DBO5 .....	88
Figura 37 Gráfico de IQBP de pH .....	88
Figura 38 Gráfico de IQBP de Sólidos Suspendidos Totales .....	89
Figura 39 Gráfico de IQBP de Turbidez .....	89
Figura 40 Gráfico de IQBP de Saturación de oxígeno disuelto. ....	90
Figura 41 Gráfico de IQBP de Clorofila a Total .....	90

## INTRODUCCIÓN

México es un país rico en recursos, cada estado de la República Mexicana tiene actividades primarias de gran importancia económica; en el caso de Sinaloa se tiene un gran potencial marítimo y en agricultura, representa el 2.9 % de la superficie total del país (Muñoz-Sevilla y Escobedo-Urías, 2004).

En el estado de Sinaloa existe mucha producción primaria, entre la agricultura y ganadería representan un importante porcentaje de valor económico para la República Mexicana, además de ser un estado con pesca comercial y camaronicultura (INEGI, 2009), esto por su extenso territorio y kilómetros de superficie insular y lagunas costeras presentes como lo es la bahía de Ohuira, conectada al sistema lagunar de dos bahías más que son el puerto de Topolobampo y Santa María (Muñoz-Sevilla y Escobedo-Urías, 2004).

Antes de 1992 se han percatado cambios importantes en la calidad del agua de la bahía, sobre todo con el enfoque del cuidado de la biodiversidad de la zona, Escobedo – Urías trabaja esta zona desde 1992, presentando un incremento importante de nutrientes como lo son compuestos fosforados y nitrogenados, encontrando cantidades importantes de nitritos, nitratos y ortofosfatos (Escobedo, 1992).

Para dar seguimiento a estos estudios de calidad del agua, el presente trabajo se basa en el estudio que abarca 12 muestreos en 12 diferentes puntos de la bahía con base en las determinaciones del Índice de Calidad del Agua Bacteriológico y Físicoquímico (IQBP), el cual contempla 10 parámetros, los cuales incluye sólidos Suspendidos Totales, Coliformes Fecales, Nutrientes como fosfatos y nitratos, entre otros (Hébert, 1997).

El análisis de los parámetros del índice de calidad del agua (IQBP) y otros fueron realizados por el equipo técnico del laboratorio de “Eutrofización Costera” del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) – Unidad Sinaloa, a cargo de la Dra. Diana Cecilia Escobedo Urías quien proporcionó los datos resultantes del muestreo anual 2016 -2017 del proyecto: “Establecimiento de la línea base de la calidad ecológica de la Bahía de Ohuira, Sinaloa” clave SIP-2016-RE/011.

Los resultados del Índice indican a grandes rasgos la calidad del agua, el cual resultó con una clasificación B lo que significa en la escala del índice que el agua es generalmente satisfactoria para la mayoría de los usos (Hébert, 1996), a pesar de esto, se analizaron particularmente los parámetros para comparar con normatividad vigente, Criterios de la

Calidad del Agua y datos históricos, los cuales presentan resultados contrarios al IQBP, demostrando que en varios estudios que en la calidad del agua de una laguna costera intervienen múltiples variables afectando directa e indirectamente la ecología e interacciones del sitio (Romero y otros, 2014; CONABIO, 2013 y Díaz y otros, 2012) modificando no solo la calidad del agua sino también la vida acuática por la gran cantidad de aportes de contaminantes, siendo los principales los drenes agrícolas, los cuales han acelerado el proceso de eutrofización de la bahía (Escobedo, 1997).

Además de que para tener un panorama más amplio de la calidad del agua y de sus afectaciones en la vida acuática se necesita incluir toxicidad y otros aspectos como índices biológicos, los cuales no son contemplados en el IQBP (Osuna y otros, 1998 y Escobedo, 2010).

## JUSTIFICACIÓN

Debido a la relevancia biológica, económica y social de la bahía de Ohuira es necesario realizar permanentemente estudios de la calidad del agua, es por esto que el presente trabajo se enfoca en el Índice Bacteriológico y Fisicoquímico (IQBP), el cual ya ha sido utilizado en la zona; para dar seguimiento a datos históricos y tener un estatus y así poder dar solución a la problemática ambiental que se presume puede estar implicada en la bahía, y también determinar si la calidad del agua del ecosistema es apta para el desarrollo biológico, económico y social en la región.

## OBJETIVO

Establecer un diagnóstico de la calidad del agua de la bahía de Ohuira mediante el índice de la calidad bacteriológica y fisicoquímica (IQBP) para determinar si el agua es apta para el desarrollo de vida acuática en el sitio.

## OBJETIVOS PARTICULARES

1. Caracterizar la calidad del agua de la bahía de Ohuira con base en los parámetros requeridos en el IQBP.
2. Aplicar y evaluar el IQBP con los resultados obtenidos en el muestreo del periodo abril – septiembre 2016 para comparar y relacionar con datos históricos de la calidad del agua de la misma zona.
3. Concluir si el estado de la calidad del agua de la bahía de Ohuira es el adecuado para el desarrollo de la vida acuática.

# MARCO TEÓRICO

## SINALOA

El estado de Sinaloa está ubicado al Noroeste de la República Mexicana, el cual cuenta con 58,092 Km<sup>2</sup> de superficie, 608 Km de superficie insular, 2,216 Km<sup>2</sup> de lagunas costeras presentes y 656 Km de litoral con 570 de aguas continentales (Muñoz-Sevilla y Escobedo-Urías, 2004).

En general el estado de Sinaloa tiene un clima seco, para el caso del municipio de Ahome es seco cálido (Ver Figura 1), con una temperatura media de 33°C, con mínimas de 5°C en los meses de noviembre a febrero, y máximas de 43°C, teniendo los meses más calurosos de julio a octubre. En cuanto a la precipitación pluvial en promedio anual se tienen 302.2 mm de agua, con una humedad relativa promedio del 65 al 75% (González y otros, 2010).

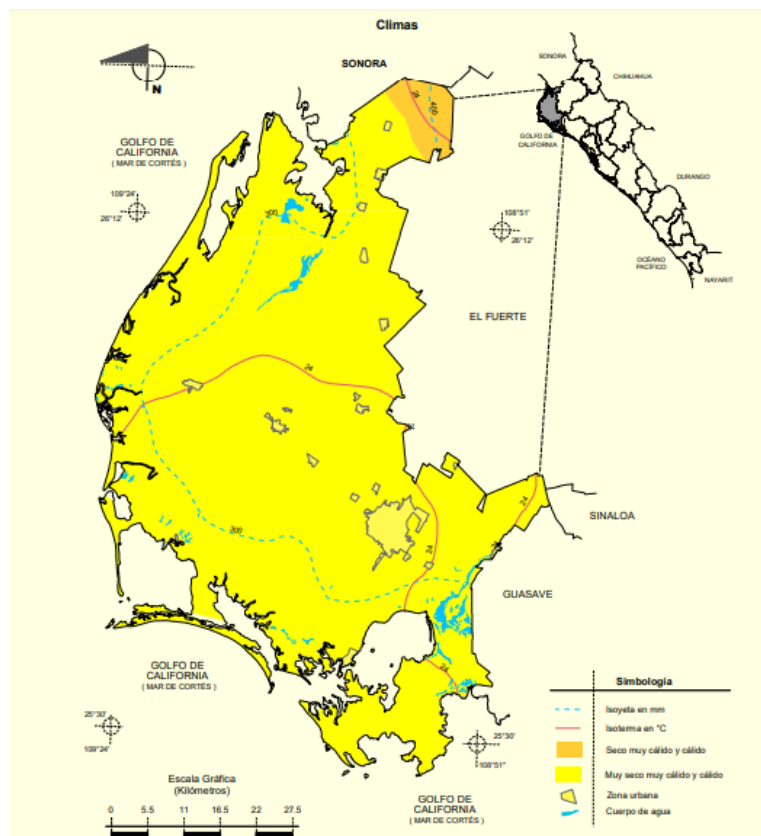


Figura 1 Mapa de clima en el municipio de Ahome, Sinaloa, México.

Fuente: (INEGI,2009)

El municipio de Ahome cuenta con una fisiografía 100% de llanura costera del pacífico, con un tipo de suelo en su mayoría aluvial, como también con suelo lacustre, eólico y litoral. En cuanto a hidrografía, el municipio cuenta con las siguientes características (González-Free y otros, 2010):

Figura 2 Tabla de Hidrografía del municipio de Ahome

<b>Característica hidrológica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Región Hidrológica</b>	Sinaloa
<b>Cuenca</b>	Bahía Lechuguilla – Chuirá – Navachiste (46.80 %)
	Estero Bacorehuis (40.15%)
	Río Fuerte (13.05%)
<b>Subcuenca</b>	Bahía de Lechugilla (5.61%)
	Bahía Navachiste (3.62%)
<b>Corrientes de agua</b>	Perennes: Río Fuerte Arroyo Viejo, Chucura Viva
	Intermitentes: Alto Norte, Alto Sur, Babujaqui, Bachoco, Bacorehuis, Batequis,
	Bayoneta, Balacachic, Barobampo, Buenaventura, Cahuinahua, Camacho, Campo Nuevo, Capoa, Carrizo Grande, Cerro Prieto, Cocorit, Colorado, Concordia, El Bule

Fuente: (INEGI,2009).

En cuanto a características de uso potencial de la tierra se tienen principalmente agrícola y pecuario, donde en un 54.45 % el uso de suelo no es apto para la agricultura un 4.46% es apto para agricultura con tracción animal continua y un 41.09% de agricultura mecanizada continua. Mientras que para el desarrollo de praderas agrícolas se tiene un 30.82% del territorio, para aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal cuenta con un 17.88%, para desarrollo de praderas cultivadas con vegetación diferente al pastizal se cuenta con un 10.27%. El 41.03% del municipio no es apto para el aprovechamiento pecuario (INEGI,2009).

## SISTEMA LAGUNAR SANTA MARÍA – TOPOLOBAMPO - OHUIRA

El sistema lagunar Santa María (o bahía Lechuguilla) – Topolobampo – Ohuira (SM – TOP – OHU) está ubicado en el municipio de Ahome, con un total de 22, 500 Hectáreas (Muñoz-Sevilla y Escobedo-Urías, 2004).

La bahía de Topolobampo es uno de los puertos naturales más importantes del Pacífico mexicano, el cual posee un área de aproximadamente 60 Km<sup>2</sup>, ubicado a 20 Km de la ciudad de Los Mochis, entre los 25° 31'50'' y los 25° 42'00'' de latitud Norte y los 108° 55'55'' y los 109° 15'32'' de longitud Oeste (SEMAR, s.f.). Al Noroeste del sistema se encuentra separado del Golfo de California por las barras de arena que constituyen parte de la laguna de Santa María, mientras que en el Sureste se separa por punta copas de aproximadamente 2 Km de ancho. Topolobampo tiene 3 Km de abertura en la boca de la bahía y tiene 700 metros de separación de la entrada al canal que comunica con la bahía de Ohuira (Escobedo, 1997), la cual tiene un área de 125 km<sup>2</sup> de área, considerada como área de bajos debido a que se presenta una profundidad variable en época de lluvias, además de que cuenta con un ramal que la conecta a la Bahía de Navachiste (CONABIO, 2013).

La bahía de Ohuira cuenta con un total de 6 islas de gran importancia ecológica, algunas de las cuales se encuentran protegidas por acuerdos internacionales como Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y como Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y de la Fauna Silvestre (Reyes, s.f.), sitios para el cuidado de manglares RAMSAR (SEMARNAT-CONANP, 2012), áreas de cuidado para la biodiversidad, Áreas Naturales Protegidas de control estatal y por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONACyT, 2014), consideradas como Patrimonio de la Humanidad (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO por sus siglas en inglés), Reserva de la Biosfera por estar dentro del Golfo de California (CONABIO, 2008). El sistema lagunar SM – TP -OHU cuenta con 4 especies de mangle, los cuales son: *Rhizophora*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, albergando a un 84% de las aves acuáticas migratorias (Amado, 2010).



*Figura 3 Ubicación de las 6 islas que se encuentran en la bahía de Ohuira, 1) Patos, 2) Bledos, 3) Bleditos, 4) Tunosa, 5) Mazocahui I y 6) Mazocahui II.*

Fuente: (Google Earth, 2018).

Mientras que en Topolobampo se encuentra la Isla Maviri y en Santa María una isla con el mismo nombre que la laguna (CONABIO, 2013).

En el municipio de Ahome se desarrollan diferentes actividades productivas de relevancia económica, como la ganadería y la agricultura, con vastas hectáreas de cultivo de algodón, maíz, sorgo y otras legumbres, además de la industria azucarera la cual es un fuerte sustento económico para las familias aledañas. Dentro de la bahía se desarrolla la pesca y la acuicultura, principalmente las granjas para el cultivo de camarón y almejas (INEGI, 2018 y SEMAR, s.f.).

El puerto de Topolobampo es considerado un “puerto de altura” debido a su importancia e infraestructura, con la cual puede recibir barcos de grandes dimensiones con portacontenedores y graneleros. Está comunicado con la carretera internacional México 15, con el aeropuerto internacional de Los Mochis y con el ferrocarril de FERROMEX, que es la Ruta de Tránsito Internacional “T” de Nogales-Topolobampo-Nogales, cruzando el Estado de Sonora y la parte norte de Sinaloa (SEMAR, s.f.).

El puerto fue inaugurado en 1991 por la Administración Portuaria Integral (API), la cual cuenta con varias terminales, las cuales son:

- Petróleos y derivados
- Transbordadores
- CEMEX
- Carga General
- Especializada en cobre y sus derivados
- Graneles agrícolas
- Fertilizantes

Según la API, tiene proyectos de cultivo de camarón y ostiones, arrecifes artificiales y cuenta con certificaciones ISO 9001 y 14001 En cuidado al Medio Ambiente y Cultura de Protección al Ecosistema y de Industria Limpia por PROFEPA (API,2014).

Dentro del sistema no existen desembocaduras de ríos, pero sí de drenes agrícolas y descargas de agua residual (Figura 4).

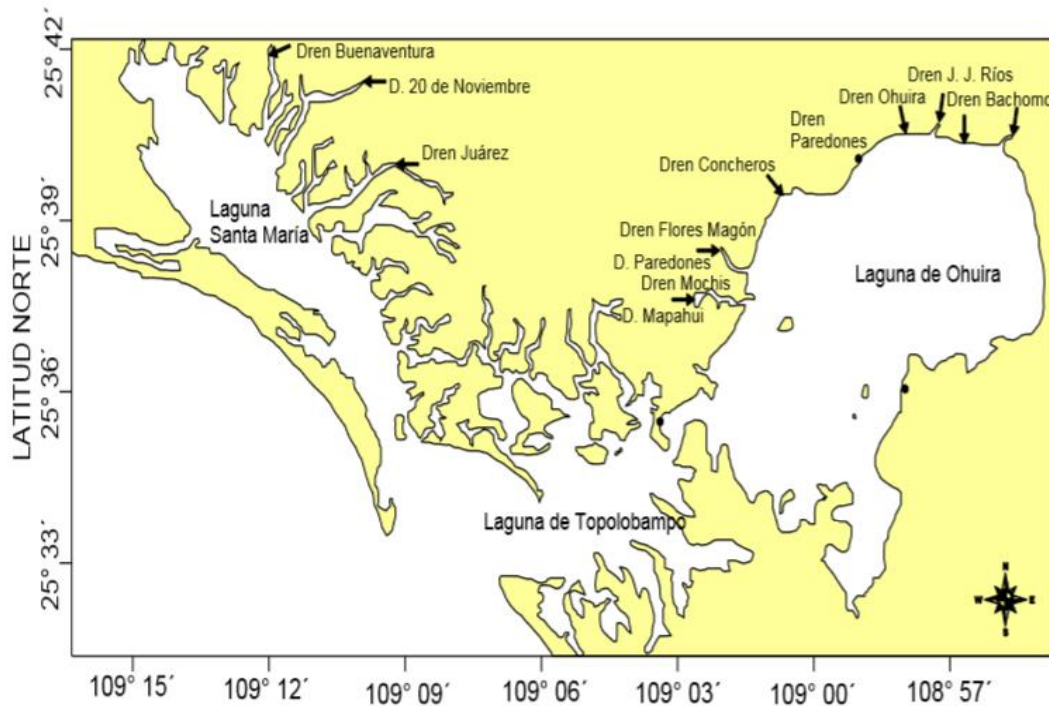


Figura 4 Ubicación de drenes que desembocan en el sistema lagunar Santa María – Topolobampo – Ohuira

Fuente: (SEMAR, s.f.).

Las actividades económicas del lugar son encabezadas por el turismo, siguiéndole la agricultura, la ganadería, acuicultura, la pesca (tanto comercial como deportiva), la minería, conservación y enlatado de mariscos, empacadoras de frutas, legumbres y carne; la refinación del petróleo en la Terminal Marítima y Ductos, el ingenio azucarero Los Mochis, el Corredor Industrial Mochis – Guasave y el Parque Ecológico Industrial y Comercial de Topolobampo (SEMAR, s.f.).

De los distritos de riego existentes en Sinaloa, se cuentan con el Río Fuerte, Valle del Carrizo, Guasave, Mocorito, Culiacán – Humaya – San Lorenzo y Elota – Piaxtla (Llanes, 2004).

Los principales giros industriales con descargas de agua residual son la acuicultura, la industria azucarera, servicios, agropecuaria y alimentaria (Llanes, 2004).

La problemática presente en la bahía de Ohuira es debido a su modificación territorial y contaminación por la agricultura intensiva, desecación de pantanos y canales de uso agrícola, así como la descarga de agua industrial de ingenios azucareros, aguas residuales domésticas y metales pesados, aun a pesar de la tala de los manglares, los que aun se conservan sirven como filtros de sustancias químicas y metales pesados que se descargan en la bahía (CONABIO, s.f.).

El sistema lagunar SM-TOP-OHU se encuentra dentro de las Islas y Áreas Protegidas de Golfo de California en el 2005 y 2007, siendo el sitio No. 2025 Ramsar con 22, 500 Ha de superficie, perteneciendo a su vez al Patrimonio de la Humanidad con importancia natural por la UNESCO (UNESCO, 2017 y Ramsar, 2011).

La importancia de los sistemas lagunares radica en sus funciones ecológicas, como:

- Estabilización del litoral
- Reducción de la escorrentía de inundaciones
- Amortiguamiento en tormentas
- Aprovechamiento de nutrientes
- zona de alimentación y anidación de una gran cantidad de especies

(CONABIO, 2018)

Es por esto la importancia del cuidado de las zonas de manglar y las lagunas costeras como ambientes sensibles por degradación debido a actividades antropogénicas, mala calidad del agua por descargas de aguas residuales, escorrentía agrícola, que, además, afectan al paisaje en la zona costera (RAMSAR, 2011).

De acuerdo con la Ficha Informativa Ramsar versión 2009 – 2012 se postuló al sistema lagunar por 7 criterios Ramsar, entre los cuales se justifican por:

1. Anidación de la Garza colorada *Egretta rufescens*, ave sujeta a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Zavala, 2011).
2. Crianza de tortugas (golfina, prieta, laúd y carey) las cuales también están dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, y en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Zavala, 2011).
3. Flora en protección conforme la NOM – 059-SEMARNAT -2010, IUNC Species Survival Commission y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES por sus siglas en inglés), las cuales son el manglar (mangle colorado, blanco, botoncillo y madre sal), algunas cactáceas (*Peniocereus marianus*, viznaguita endémica de Topolobampo y Cabeza de viejo), además de otras como la Saya, el árbol santo o guayacán (Zavala, 2011).

4. Colonias anidantes de Pelicano café, Cormorán Orejón, Garza rojiza y la Garza nocturna Corona Clara, que igualmente se encuentran sujetas a protección especial conforme la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Zavala, 2011) abundan en las islas bajo protección ambiental.
5. Son zonas de alimentación para las ya mencionadas especies de fauna y también para la Cigüeña Americana, Gaviota Mexicana, Gaviota Bajacaliforniana, Charrán Mínimo y Charrán Elegante (Zavala, 2011).
6. Existen poblaciones mayores a 2 millones de Cercetas de Alas Verdes Americanas, así como más de 4 millones de individuos de Pato Cucharón Norteño y otras especies de patos con números de población similares a los anteriores, de especies como Pijije Alas Blancas, Pijije Canelo, Pato Golondrino, Cerceta Alas Azules, Pato Friso, Pato Chacuán, Pato Cabeza Roja, Pato Boludo Menor, Pato Calvo y el Ganzo de collar (Zavala, 2011).
7. Así mismo el octavo y último criterio Ramsar pone de manifiesto la importancia del sistema costero como zona de alimentación para numerosas especies de peces de importancia comercial; 10 especies de la familia *Sciaenidae* y *Haemulidae*, 9 especies de la familia *Carangidae*, 8 especies de la familia *Gerreidae*, 7 de *Paralichthyidae* y 5 especies de *Engraulidae*, así como la presencia del Bagre Cuatete, Robalo Espina Larga, Pámpano Plateado, Corvineta Parda, y otras de un elevado valor económico como las Anchoas o Boquerones, Cabrilla Verde de Arena y Cabrilla de Roca. Además de que las lagunas costeras son zona de crianza de Camarón de diferentes tipos (Zavala, 2011).

Varios estudios de biodiversidad han reportado la identificación de aproximadamente 170 especies de macroinvertebrados de relevancia comercial – económica de los cuales destacan moluscos y crustáceos (Díaz-Gaxiola y otros, 2012), mientras que Triguero Salmerón (2017) hace mención de 53 especies de moluscos con un 60% de gasterópodos, 38% bivalvos y 2% de cefalópodos también estudios relacionados con las macroalgas, mencionan que por lo menos en el Golfo de California se tienen 160 especies registradas, junto con 6 nuevas que se han visto en las costas de Sinaloa en el periodo del 2004 al 2007 (Aguilar y otros, 2009).

En cuanto a la fauna bentónica presente existen una gran variedad de cnidarios, moluscos, poliquetos, decápodos, isópodos y stomatopodos (Aguilar y otros, 2009).

Los vertebrados terrestres presentes son mapaches, ratas canguro, coyotes y la iguana negra. Los vertebrados marinos presentes son lobos marinos, delfines en específico “nariz de botella” (Zavala, 2011), algunas crías de ballenas (Acosta y Vázquez, 2009) y peces (*Poeciliopsis lucida*, *P. presidionis*, *P. viriosa*, y de especies amenazadas *Catostomus bernardini*, *Oncorhynchus chrysogaste*) (CONABIO, 2013), además del Barrilete negro (*Euthynnus lineatus*), Bonito del Pacífico Oriental (*Sarda chiliensis*), Lisa Hospe (*Mugil hospes*), Ronco armado (*Bairdiella armata*), Corvina enana (*Cynoscion nannus*), Sierra del Pacífico (*Scomberomorus sierra*), Robalo aleta prieta (*Centropomus medius*), Robalo aleta amarilla (*Centropomus robalito*), Pargo azul – dorado (*Lutjanus viridis*), Lisa rayada (*Mugil cephalus*), Pargo colorado (*Lutjanus colorado*), Huachinango del Pacífico (*Lutjanus peru*), Jurel voráz (*Caranx sexfasciatus*), Pez espada (*Xiphias gladius*), entre otros, dentro del Golfo de California que representa la Zona pesquera II (CONABIO, 2018).

Además de las 4 especies de tortugas protegidas dentro de la NOM-029-SEMARNAT-2010 (tortuga golfina, de carey, prieta y laúd), existen reptiles, entre estos se cuenta con la iguana negra, víbora de cascabel, boas (Amado, 2010) y cocodrilos (Acosta y Vázquez, 2009).

Un estudio de las plantas de las islas del norte de Sinaloa, reporta que se tienen 278 especies de plantas vasculares en las islas del norte de Sinaloa, de estas se contemplan 8 especies dentro de la tipificación de protección especial de la NOM-059-SEMARNAT-2010, 20 especies dentro del apéndice II de CITES 2005 y una especie en la lista roja de especies amenazadas, tipificada como Riesgo bajo, en la UICN 2004 (Saturnino y otros, s.f.).

Referente a la flora existente en la zona del sistema lagunar se encuentra el bosque espinoso con abundancia de mezquite, cardón, copal, palo colorado, nopales, la Sina, Aguama y maguey la característica vegetación de dunas costeras y un poco de vegetación halófila con matorral y xerófilo (Acosta y Vázquez, 2009).

De acuerdo con el Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental la bahía de Ohuira se encuentra dentro del Ordenamiento del Golfo de California, este ordenamiento es de tipo marino y se encuentra registrado en la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) 2.2.4.21.1.7b, UGC 11 de tipo marino con una superficie que cubre 20, 483.66 ha (SEMARNAT, 2018).

El Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (OEMGC) entró en vigor el 30 de diciembre de 2006 con el Decreto por el cual se aprobó el Programa del OEMGC (SEMARNAT,2006), el cual cubre al sistema lagunar SM – TOP – OHU se encuentra dentro

de la Región Ecológica No. 18.6, de Unidad Ambiental Biológica No.18 “Llanuras Costeras y Deltas de Sinaloa”, con política ambiental de restauración y aprovechamiento sustentable, teniendo un nivel de atención prioritaria media, rectores del desarrollo de agricultura e industria, un coadyuvante del desarrollo social es la ganadería. Otro sector de interés es la termoeléctrica de CFE. Dentro de este Ordenamiento Ecológico se reporta una población de 1, 966, 343 habitantes en el 2010, con regiones indígenas Mayo – Yaqui, con un estado ecológico actual inestable desde el 2012 hasta una estimación a largo plazo (año 2033) a crítico (SEMARNAT, 2018).

## CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es “un atributo que mide las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido” (SEMARNAT, 2014); de esto depende el uso que se le puede dar, por ejemplo, puede ser de uso potable para consumo humano, recreación, agricultura, industria y la vida acuática (SEMARNAT, 2014).

Para poder determinar la relación del uso del agua con su calidad, se crearon los Índices de Calidad del Agua, los cuales son metodologías que involucran diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos estandarizados y así poder dar un rango de estimaciones, que se pueden cuantificar y categorizar con una descripción general, símbolo o color (SEMARNAT, 2008).

Para el caso de México, en la época de los años setentas se implementó el Índice de Calidad del Agua (ICA) para el monitoreo de cuerpos de agua superficiales y subterráneos en toda la República Mexicana, el cual contaba con 18 parámetros (Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), Coliformes Fecales (CF), Coliformes Totales (CT), Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Conductividad eléctrica, Fosfatos Totales, Grasas y Aceites, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos y Nitritos, Alcalinidad, Color, Dureza total, potencial de Hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Cloruros, Sólidos disueltos y Turbiedad) ponderados en un porcentaje, siendo 0 el valor de peor calidad del agua y 100 un agua de excelente calidad (SEMARNAT, 2008).

Se consideró la mejora del criterio del índice y se concluyó solamente hacer uso de tres parámetros representativos que son DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, los cuales son reportados en la Red Nacional de Monitoreo (SEMARNAT, 2014). La selección de estos parámetros es debido a que cuantifican la cantidad de materia orgánica total y biodegradable presente en un cuerpo de agua (SEMARNAT, 2008).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en su informe 2013 – 2014 de calidad del agua, establece que “el baño recreativo en aguas de mar contaminadas produce, como daño más frecuente, enfermedades gastrointestinales, irritación de la piel e infecciones en ojos y oídos”, esto debido a la contaminación que llega desde ríos y arroyos directamente al mar y zonas costeras, siendo principalmente por el vertido directo de las aguas residuales municipales e industriales no tratadas provenientes de las poblaciones establecidas en ellas (SEMARNAT, 2014).

## ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA BACTERIOLÓGICO Y FISICOQUÍMICO (IQBP)

El Índice de la Calidad del Agua Bacteriológico y Fisicoquímico (IQBP) fue desarrollado por Hébert Serge y su equipo bajo el programa de seguimiento del ecosistema acuático del Ministerio de Medio Ambiente y Vida Silvestre, una de cuyas metas es monitorear la calidad del agua (Hébert, 1997).

El índice es derivado del Programa de Acción de las aguas Quebec (PAEQ) en la calidad del agua de los ríos. Este índice se basa en los descriptores convencionales de la calidad de agua, tales como la DBO<sub>5</sub>, SST, Fósforo y Coliformes Fecales. Estos descriptores son buenos indicadores de las diversas formas de contaminación, porque:

- Se ven afectados por los vertidos municipales, actividades agrícolas y de determinados tipos de residuos industrial.
- Son fáciles de medir en el agua a un costo relativamente bajo.
- Existen, para la mayoría de estos descriptores, los criterios para evaluar si la calidad del agua es adecuada para soportar ciertos usos y mantener la vida acuática.

Por lo tanto, es importante inferir sobre las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas de los ecosistemas; estos son los principales parámetros regulados.

El uso de este tipo de enfoque también tiene limitaciones. Por ejemplo, los descriptores de medida de la calidad del agua convencional y el uso de IQBP no proporcionan información sobre la presencia o el efecto de sustancias tóxicas en los ecosistemas acuáticos, ni de la pérdida o la degradación de los hábitats, esenciales para mantener la vida acuática con enfoques complementarios como el Índice de Integridad Biótica (IBI), basándose en diferentes grupos de organismos como macroinvertebrados, peces, anfibios y otros; o el índice global biológico (IBG), basado en la composición de las comunidades bentónicas, los cuales se deben usar si se quiere hacer un diagnóstico más en general (Hébert, 1997).

## PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA

### Oxígeno Disuelto

A la cantidad de Oxígeno presente en el agua, como resultado del balance final entre la producción y/o generación de oxígeno y el consumo u oxidación de éste, se le conoce como Oxígeno Disuelto (OD) (Goyenola, 2007).

Este parámetro es muy importante determinar para estudios de agua costera. Existen múltiples factores que afectan la concentración de OD en el agua de mar, estos son:

- Temperatura
- Salinidad
- Actividad biológica
- Movimientos de la masa de agua (corrientes)
- Evaporación y aportes de agua

Las zonas de alta productividad biológica son zonas generalmente de baja concentración de OD (Icochea, 2007 et. al Miyake y Saruhashi, 1956).

La ley de Henry explica la solubilidad de un gas en un líquido a temperatura constante, siendo proporcionalmente directa a la presión parcial del gas. Por lo que los factores que afectan la solubilidad del Oxígeno son la temperatura; que es inversamente proporcional, es decir, a mayor temperatura existe menor OD en los cuerpos de agua y a una menor temperatura hay mayor cantidad de OD presente. La presión con la cual se observa que a mayor profundidad existe una mayor presión y por lo tanto una menor presencia de oxígeno. Y, por último, la concentración de sales, a mayor concentración existen menos espacios intermoleculares para la presencia del oxígeno (Manahan, 2007).

El OD es un indicador de contaminación del agua, así mismo, es esencial para determinar los usos que se le pueden dar (Peña, 2007)

La importancia del estudio de la concentración del OD, es debido a que es un factor limitante para la vida acuática, sobre todo para la producción primaria en fase lumínica y oscura; se puede tomar como una concentración normal los 5 ml/L de OD. Así como algunos organismos son poco tolerantes a las bajas concentraciones de OD (3 ml/L), tal es el caso de los cardúmenes (Icochea, 2007 et. al Wheaton, 1982).

El OD resulta ser diferente en la columna de agua. Para el caso del agua superficial marina, la cual está en contacto directo con la atmósfera suele ser de entre 1.0 ml/L y 8.5 ml/L, frecuentemente existen valores por arriba de este rango, por zonas de bajas temperaturas o zonas con alta actividad fotosintética, donde el agua llega a tener una sobresaturación (Icochea, 2007).

Para el caso de valores muy bajos se puede inducir la presencia de materia orgánica por vertimientos que contienen un alto contenido de nutrientes y consumen desmedidamente el oxígeno (Goyenola, 2007).

Existen diferentes métodos para determinar la cantidad de OD presente en muestras de agua; una de ellas se establece en la Norma Técnica NMX-AA-012-SCFI-2001, la cual establece la metodología de prueba para la determinación de OD en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. También se utilizan medidores de Oxígeno Disuelto electrónicos que emiten resultados en mg/L y/o % de saturación.

Para determinar la concentración de OD existen 2 métodos, el primero es la titulación de Winkler y el segundo es por medio de electrodos de membrana (Sawyer, 1978). Para México existe la NMX-AA-012-SCFI-2001 la cual indica cómo determinar el OD en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (NMX-A-012-SCFI-2001).

La solubilidad del oxígeno en el agua depende de dos factores determinantes, temperatura y presión, los cuales se involucran en la ley de Henry. La solubilidad en agua dulce varía de 14.6 ml/L a 0°C hasta 7 mg/L a 35°C bajo una presión de 760 mmHg. (Sawyer, 1978)

Algunos rangos de concentración y sus efectos se describen en la siguiente tabla:

*Figura 5 Concentración de OD y consecuencias al ecosistema de estudio*

<b>OD en mg/L</b>	<b>Tipificación</b>	<b>Efectos</b>
0	Anoxia	Muerte de organismos aerobios
0 – 5	Hipoxia	Afectación o muerte de especies aerobias sensibles
5 - 8	Aceptable	Concentración de OD adecuada para la vida de la mayoría de las especies acuáticas y microorganismos aerobios
8 - 12	Buena	

> 12

Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética, en algunos casos puede resultar contraproducente para la vida acuática
---------------	--

Fuente: (Goyenola, 2007).

A diferencia de la concentración del Oxígeno Disuelto encontrado en el agua, existe otro parámetro el cual expresa el contenido de OD, en porcentaje, en su punto de saturación a una temperatura y presión específica (López, 2018). Es decir, el porcentaje de saturación expresa la concentración del OD en cuanto a su solubilidad máxima en una presión y temperatura determinada. Cuando la concentración de OD es igual a la concentración de saturación, se tiene, entonces un 100% de porcentaje de saturación (Goyenola, 2006). Concluyendo que el porcentaje de saturación es relevante para la vida acuática, debido a que este parámetro indica si el agua es apta para el desarrollo de la vida acuática, en tales condiciones.

#### SATURACION

Es cuando el agua contiene una cantidad mayor al límite en las condiciones que se presenta, sobre todo en presión y temperatura, captando así una cantidad mayor a lo normal

#### SOBRESATURACIÓN

Ahora, si la concentración de OD es mucho mayor, es decir, la solubilidad del OD aumenta a lo máximo, se dice que el agua esta sobresaturada, lo que provocará que el agua ceda oxígeno a la atmósfera (Goneyola, 2006)

El porcentaje de saturación es “el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinadas” Cuando el agua está sobresaturada es que el OD rebasa el 100% del porcentaje de oxígeno permitido (Roldán y Ramírez, 2008).

Figura 6 Porcentaje de saturación y su respectiva caracterización

<b>Tipificación de OD</b>	<b>% OD</b>
<i>Sobresaturación</i>	≥ 101 %
<i>Excelente</i>	90 – 100 %
<i>Adecuado</i>	80 -89 %
<i>Aceptable</i>	60 – 79%
<i>Pobre</i>	< 60%

Fuente: (Vernier, 2007)

De acuerdo con lo anterior para obtener una calidad del agua buena o aceptable en lo que respecta al Oxígeno Disuelto es necesario tener valores intermedios, es decir ni exceder el 100% de saturación ni pasar a valores por debajo del 60%, debido a que pueden existir afectaciones biogeoquímicas y en los microorganismos aerobios presentes en el ecosistema (Goyenola, 2007).

El Límite Mínimo Permisible (LMP) de acuerdo con los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (CECA) es de 5 mg/L de OD para protección de la vida acuática en agua marina y ambientes costeros (CCA, 1989).

## Clorofila a

Existen diferentes tipos de pigmentos en la naturaleza, uno de ellos es la Clorofila a, de color verde, con el que cuentan los vegetales, algas, cianobacterias y microorganismos autótrofos con cloroplastos o fotosistemas que procesan la luz solar a través de la fotosíntesis para obtener energía química y desempeñar sus funciones (L. Oliver y Stanley, 1970).

La importancia de los pigmentos en el agua costera, en específico de la clorofila a, los cuales indican la biomasa fitoplanctónica, permiten un análisis más acertado en cuanto a la deducción del estado trófico de un cuerpo de agua, tal como lo consideran varios autores para Índices Tróficos (Contreras – Espinoza y otros, 1994).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1982 realizó la clasificación trófica según las concentraciones de Clorofila a, como se muestra en la siguiente tabla:

Figura 7 valores límites según la OCDE para la clasificación trófica de un cuerpo de agua.

<b>Categoría trófica</b>	<b>P total (µg/L)</b>	<b>Clorofila a (µg/L)</b>	<b>Transparencia (m)</b>	
			<b>Media</b>	<b>Mínimo</b>
<i>Ultraoligotróficos</i>	< 4.0	< 2.5	> 12.0	> 6.0
<i>Oligotrófico</i>	< 10.0	< 8.0	> 6.0	> 3.0
<i>Mesotrófico</i>	10 -35	8.0 -25	6.0 -3.0	3.0 -1.5
<i>Eutrófico</i>	35 – 100	25 -75	3.0 – 1.5	1.5 -0.7
<i>Hipertrófico</i>	> 100	> 75	< 1.5	< 0.7

Fuente: (Moreno y otros, 2010).

Varias Organizaciones e instituciones toman muy en cuenta el monitoreo de la clorofila, tal es el caso del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), el cual elabora un boletín periódico del comportamiento de la Clorofila en el Pacífico Mexicano, el cual describe las normales de clorofila de acuerdo con un análisis detallado de imágenes satelitales (INAPESCA,

2018), el cual emitió para el mes de Diciembre 2016 valores normales de 0.1 a 3 mg/m<sup>3</sup> para el Golfo de California, donde en comparación con el mes de noviembre existió un incremento de 0.5 a 1.0 mg/m<sup>3</sup> (Vásquez y Jiménez, 2016). Analizando los datos de acuerdo con años pasados se logró observar un aumento considerable de 3 a 5 mg/m<sup>3</sup> en Isla Tiburón, límite entre los Estados de Sonora y Sinaloa; mientras que para el área que comparte el estado de Sinaloa con Nayarit el incremento fue menor, de 1 a 3 mg/m<sup>3</sup> (Vásquez y Jiménez, 2016).

Desde el mes de enero del año 2017, en los muestreos del proyecto “Establecimiento de la línea base de la calidad ecológica de la Bahía de Ohuira, Sinaloa” clave SIP-2016-RE/011, se reportaron los florecimientos algales nocivos, con lo cual existió un aumento en la cuantificación de clorofila a emitida por los boletines de INAPESCA, llegando a destacar los 8 mg/m<sup>3</sup> en toda el área sur del Golfo de California. En el caso del reporte de marzo 2017 también se detectó un incremento importante de Clorofila a, desde Isla Tiburones hasta Mazatlán, se alcanzaron valores mayores a los 6 mg/m<sup>3</sup> los cuales estuvieron asociados con el reporte de florecimientos nocivos en la zona, éste se explica por la estacionalidad (Vásquez y Jiménez, 2017).

## Coliformes Fecales

Los Coliformes Totales son un grupo de especies bacterianas indicadoras de contaminación; dentro de éstas se encuentra el subgrupo de las bacterias llamadas Coliformes Fecales, las cuales, se diferencian de las primeras por ser exclusivamente de origen fecal (Spring, 2007). Los Coliformes Fecales se definen como bacterias bacilo Gram negativo, las cuales pueden fermentar lactosa y generar gas a una temperatura de 45 °C dentro de un lapso de 24 horas. Dentro del grupo se hallan las especies de *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, y por algunos autores también la especie *Citrobacter*.(Spring, 2007).

Estos microorganismos provienen del intestino de humanos y animales de sangre caliente, cuando son expulsados del tracto digestivo y se encuentran en condiciones idóneas, se reproducen fácilmente (Campos, 2003).

La importancia del estudio de los Coliformes Fecales en la calidad del agua es debido a que son indicadores de contaminación fecal en el agua y alimentos. Estos microorganismos cuentan con una elevada resistencia a altas temperaturas, también revelan la presencia de otras bacterias patógenas, ya que se desarrollan en condiciones similares (Campos, 2003).

Una fuente significativa de propagación son las aguas residuales urbanas que se descargan a cuerpos de agua natural, o el arribo de drenes que contengan cargas de agua con contacto de desechos animales. Es por esto, sustancial el realizar pruebas analíticas, constantes, de Coliformes Fecales, para evitar la proliferación de enfermedades contagiosas por tener contacto o ingesta de agua contaminada con dichos microorganismos. Además de ser un parámetro importante en el agua para consumo humano, uso recreativo, acuicultura y pesca, y vida acuática (Spring, 2007).

El Centro de Calidad Ambiental (CCA) expide la Norma Mexicana NMX-AA-42-1987 se explica el método para la cuantificación de Número más Probable de Coliformes Fecales presentes en el agua, además de *Escherichia coli*. Esta norma técnica, establece el método de prueba del Número Más Probable (NMP) en tubos múltiples (SCFI, 2015).

Para verificar si la calidad del agua es adecuada según su uso existe normatividad para referenciar el parámetro de los Coliformes Fecales, por ejemplo, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación (SEMARNAT, 2003), la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los LMP de contaminantes para las

aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, en la que se presenta el LMP de 240 NMP/100 ml en contacto directo y 1000 NMP/100 ml en contacto indirecto (SEMARNAT, 1998). Así mismo los CECA que establecen un máximo de 200 NMP/100ml en agua dulce o marina (CCA, 1989).

## Nitrógeno

Los ciclos biogeoquímicos son las descripciones detalladas de los elementos químicos más abundantes y necesarios en el planeta Tierra. Uno de estos es el ciclo del Nitrógeno (Figura 6) el cual se desarrolla básicamente en 5 etapas, las cuales son: fijación, amonificación, nitrificación o mineralización, asimilación y desnitrificación (Iñón, 2017).

En el caso del ciclo del nitrógeno en agua es un poco diferente y más complejo; la principal fuente de nitrógeno son los aportes continentales y la solubilidad del nitrógeno atmosférico en el agua, además de la presencia de materia orgánica por excreciones o muerte de vegetales y animales, la cual puede flotar o hundirse por efecto de la gravedad (Cifuentes y otros, 1997 b).

El ciclo del Nitrógeno se constituye básicamente por 6 pasos o procesos que se explican a continuación, así mismo se muestra ilustrativamente el ciclo del nitrógeno en agua marina en la Figura 7:

1. El Nitrógeno gaseoso de la atmósfera se disuelve en el agua por medio de la superficie.
2. Cuando el nitrógeno gaseoso entra en el medio acuático ocurren diversos procesos de descomposición, por medio de bacterias que transforman al nitrógeno en amonio, este proceso se llama “**Fijación**”.
3. Algunas bacterias convierten el amonio en Nitritos (*Nitrosomonas*) y otras en Nitratos (*Nitrospira*), ambos procesos son llamados “**Nitrificación**”.
4. La “**Asimilación**” es otro proceso derivado del amonio y nitritos. En este se comprende la disolución por muchos microorganismos, algas y fitoplancton presentes en el agua, los cuales introducen el nitrógeno a su organismo.
5. La “**Remineralización**” es el proceso por el cual el nitrógeno contenido, después de la descomposición de Materia Orgánica, Partículas Orgánicas de Nitrógeno y Nitrógeno Orgánico Disuelto se transforman fisicoquímicamente en amonio.
6. Mientras que la “**Desnitrificación**” es la parte que completa el ciclo con algunos microorganismos que degradan nitratos y nitritos nuevamente en nitrógeno elemental, el cual puede volver a ser parte de la atmósfera (Robidart, 2011).

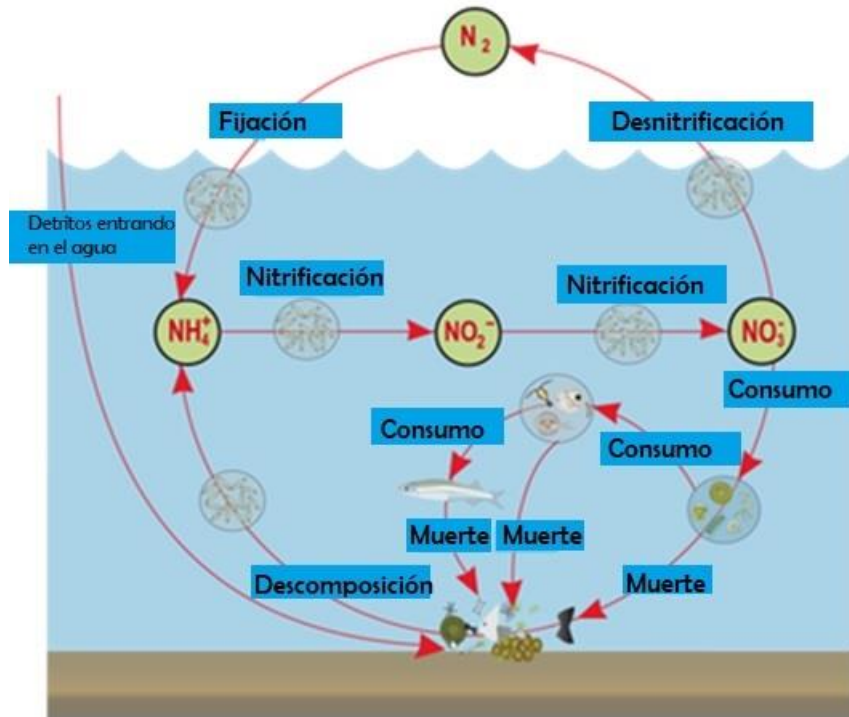


Figura 8 Ciclo biogeoquímico del Nitrógeno en agua marina

Fuente: (Sargent, 2012).

El ciclo se puede ver desequilibrado por un incremento desmedido de diferentes fuentes de nitrógeno, tal como la adición de fertilizantes y agroquímicos a las plantas y los suelos, aguas residuales y otros aportes como drenes y agua contaminada. En el caso del agua marina estos aportes modifican la cantidad de nutrientes presentes, los cuales afectan el estado trófico del cuerpo de agua en cuestión (Sargent, 2012).

El límite descrito en la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 25 mg/L de Nitrógeno Total (SEMARNAT, 2003), mientras que, en los CECA, para la protección de vida acuática en agua marina (aguas costeras) se tiene como LMP 0.01 mg/L de Nitrógeno amoniacal (CCA, 1989).

## *Nitratos y Nitritos*

Tal como se explicó en el punto 3 del ciclo del Nitrógeno, los nitratos y nitritos son resultado de la oxidación del Amonio y Amoniaco, por lo que son fundamentales para el crecimiento de las plantas, pero el exceso de estos compuestos químicos puede provocar afectaciones en la salud humana, sobre todo si se rebasan los límites para agua potable. En el caso de cuerpos de agua, sobre todo marina, las principales fuentes contaminantes de cargas con nitratos y nitritos son vertidos de agua residual y afluentes de drenes agrícolas (Calleros y otros, 2012).

Los nitratos y nitritos generalmente están presentes en agua de pozo. Estos compuestos también se generan por la contaminación, por desechos de animales muertos, aguas provenientes de lecherías o de uso ganadero, los fertilizantes utilizados en la agricultura, descargas de aguas residuales urbanas, y aportes de agua de fosas sépticas (Calleros y otros, 2012).

Los encargados de formar nitritos y nitratos naturalmente son bacterias presentes en suelo, agua y sedimentos (Espericueta y Osuna, 2001).

La vida marina se ve afectada por el exceso de compuestos derivados del Nitrógeno, algas, zooplancton, peces y crustáceos son los principales perjudicados. Se han realizado varios estudios para determinar el grado de toxicidad en camarones por nitratos y nitritos, y se ha demostrado que la ingesta de 1 mg/L para Nitratos y de 1.5 a 6.4 mg/L tiene afectaciones en las larvas de camarón en cuanto a su crecimiento (Espericueta y Osuna, 2001).

Debido a la importancia del monitoreo de la calidad del agua, en México se tienen las Normas Técnicas NMX-AA-079-SCFI-2001 Determinación de Nitratos en Aguas Naturales, Potables, Residuales Y Residuales Tratadas, y la NMX-AA-099-SCFI-2001 que determina el Nitrógeno de Nitritos en Aguas Naturales Y Residuales.

Los LMP para  $\text{NO}_3^-$  es de 0.04 mg/L y para  $\text{NO}_2^-$  es de 0.002 mg/L para el uso de protección de la vida acuática en agua marina y aguas costeras, de acuerdo con los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (CCA, 1989).

## Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno o DBO<sub>5</sub> es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica (MO) oxidada por medios biológicos, reportada en mg/L, a lo largo de 5 días debido a que en este lapso se oxida del 65 a 70% del total de la MO (Lermann y otros, 2007).

Esta determinación se utiliza para cuantificar el grado de contaminación de un cuerpo de agua que se ve influenciado por descargas de agua residual, tanto urbana, industrial y agrícola. El valor obtenido refiere la cantidad de materia orgánica presentada, es decir, si existe una mayor cantidad de MO entonces los microorganismos presentes requerirán una mayor cantidad de oxígeno para degradarla (Andreo, s.f.).

Un factor importante que influye en la determinación de este parámetro es la temperatura, por lo que la determinación debe realizarse a 20°C (Andreo, s.f.).

El método de prueba para determinar DBO<sub>5</sub> viene explicado en la Norma Técnica NMX-AA-028-SCFI-2001 la cual es aplicable a aguas naturales, residuales y residuales tratadas (SCFI, 2001).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establece parámetros de acuerdo con el Índice de Calidad del Agua que se utiliza en México para la red de Monitoreo de la Calidad del Agua (Figura 7 tabla de descripción de la calidad del agua para DBO<sub>5</sub>), entre estos parámetros se encuentra el semáforo del contenido de MO en cuerpos de agua superficiales y costeros.

Figura 9 Descripción de la calidad del agua para DBO5

<b>CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>COLOR</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>Excelente</i>	Azul	$DBO_5 \geq 3$	Agua no contaminada.
<i>Buena</i>	Verde	$3 < DBO_5 \leq 6$	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
<i>Aceptable</i>	Amarillo	$6 < DBO_5 \leq 30$	Con indicio de contaminación. aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
<i>Contaminada</i>	Anaranjado	$30 < DBO_5 \leq 120$	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
<i>Pésima</i>	Rojo	$DBO_5 < 120$	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Fuente: (CONAGUA, 2017).

La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece como LMP 20 mg/L para contacto directo y 30 mg/L para contacto indirecto (SEMARNAT, 1998).

## Temperatura

La temperatura es la medición del calor, relacionada con la energía interna de un cuerpo. Esta es de ayuda para caracterizar el agua, además de que interviene con otros parámetros como la salinidad, densidad, Oxígeno Disuelto, DBO<sub>5</sub>, la Clorofila y un poco más (Chang, 2009).

En el caso de la interacción Temperatura y pH se hace un rol importante para la degradación aerobia y anaerobia, la cual tiene afectaciones directas en la densidad, viscosidad, solubilidad de los gases y la cinética química de los ciclos presentes en el agua (Martínez, 2019).

El principal aporte de energía calorífica que incide sobre el agua de mar es por el sol, y gracias a su elevada capacidad calorífica es como puede absorber grandes cantidades de radiación solar, con pequeñas variaciones en la temperatura; lo que permite la regulación calorífica de la Tierra (Martínez, 2019).

La radiación que incide en el mar va disminuyendo conforme la profundidad, de los 0 a 200 m de profundidad se tiene la capa con mayor temperatura, después de este límite se reduce drásticamente la temperatura, a esta zona se le denomina termoclina, la cual divide aguas conforme a su densidad y temperatura (Cifuentes y otros, 1995 a).

El cambio de la temperatura en el mar interviene en las mezclas de agua con diferente densidad lo que influye en la dinámica marina y las reacciones químicas de los ciclos que se desarrollan, siguiendo una línea de temperaturas constantes denominada isotermas (Cifuentes y otros, 1995 a).

Dentro de la normatividad mexicana, se establece un LMP de 40°C para descargas de agua en cuerpos de agua o bienes nacionales NOM-001-SEMARNAT-1996. Mientras que para los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua se establecen las condiciones naturales + 1.5 °C como punto máximo a llegar (SEMARNAT, 2003).

## pH

El potencial de Hidrógeno determina la relación existente entre las concentraciones de los iones de Hidrógeno o Hidronio e hidroxilo, esto indica en la escala de pH cuan ácida o básica es el agua (Perlman, 2018).

El pH afecta a diferentes variables dentro de un cuerpo de agua, a su vez éste se ve modificado por la presencia de sustancias y sobre todo sales que le confieren el rango de acidez o basicidad en la que se encuentra el agua. Valores elevados de pH afectan a algunos peces que son sensibles, tanto hasta la muerte. También puede interferir en las reacciones químicas presentes en cuerpos de agua, formando precipitados o analitos dañinos para los organismos acuáticos (Cifuentes y otros, 1997 a).

El agua marina tiene valores alcalinos, de 7.5 a 8.4 unidades de pH (Cifuentes y otros, 1997 a).

De acuerdo con los CECA se determina que no deben existir variaciones mayores a 0.2 unidades de pH (CCA, 1989), tomando como base el valor natural estacional. De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 se debe tener un pH entre 6.5 y 8.5 (SEMARNAT, 2003).

## Turbidez

La presencia de partículas en el agua da una apariencia de opacidad llamada turbidez o turbiedad, esta característica óptica se relaciona con la reducción de la transparencia que existe en el agua debido a la presencia de materia orgánica, sólidos suspendidos, partículas coloidales y una relación directa con el color por materia particulada (Betanzos y otros, 2011).

El turbidímetro o nefelómetro es el instrumento de medición utilizado para determinar la turbidez de muestras de agua, midiendo la refracción de la luz en las partículas suspendidas presentes en la muestra; reportándose por lo regular en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), o en algunos casos en Unidad de Turbidez de la Formazina (FTU) que es la medida adoptada como estándar ISO (CWT, 2004).

El método para determinar la turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas se encuentra en la NMX-AA-038-SCF-2001 (SCFI, 2001).

La determinación de la turbidez es un parámetro importante para la calidad del agua. La presencia de sólidos suspendidos puede indicar contaminación por descargas de agua residual o industrial con cargas elevadas de sólidos y microorganismos que en su mayoría son patógenos, además de que debido a la concentración de estas partículas coloidales existe una menor incidencia de luz por lo que se afecta la actividad fotosintética, lo que reduce la producción de oxígeno, así que por ende existirá una disminución de Oxígeno Disuelto (Cifuentes, 1995 b).

Existe una relación entre la turbidez y el color, esto debido al tipo de partículas, sólidos o microorganismos presentes en el agua. El color café o achocolatado se debe a los sólidos suspendidos (arcillas o limos) por acción de turbulencia o arrastre de las corrientes y el viento; para colores verdosos se debe a la presencia de organismos fotosintéticos como algas o fitoplancton; mientras que aguas que presenten una coloración amarillenta es por la presencia de sustancias húmicas disueltas de biomasa vegetal (Goyenola, 2007 a).

De acuerdo con los CECCA se determina que los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural (CCA, 1989).

## Fósforo

Dentro de los elementos más esenciales para la vida se encuentra el Fósforo, el cual es uno de los nutrientes más estudiados para el desarrollo de la vida acuática, junto con el Nitrógeno controlan el crecimiento algal y de otros microorganismos (Sanabria, 2004).

Por ser un nutriente primordial se hace presente en aguas naturales y residuales donde se encuentra por lo regular en forma de ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), los cuales se pueden clasificar como fosfatos condensados, ortofosfatos y fosfatos orgánicos (Sanabria, 2004).

El análisis de agua para la determinación de Fósforo Total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas se explica en la Norma Técnica NMX-AA-029-SCFI-2001, en la cual se explica el método cloruro estanoso y el método ácido vanadomolibdofosfórico (SCFI, 2001 a).

El estudio del Fósforo tiene dos procedimientos generales:

1. Conversión de la forma de Fósforo a ortofosfato disuelto.
2. Colorimetría del ortofosfato disuelto.

El fósforo total es la cuantificación en conjunto (ya sea con la muestra filtrada o en suspensión), sumando el fósforo reactivo, hidrolizable y orgánico total, es decir todas las formas en las que se encuentra presente el fósforo (Sanabria, 2004).

La presencia del Fósforo en el agua es indispensable, siempre y cuando sea en cantidades muy pequeñas. Lamentablemente se ve incrementada la concentración de éste debido a diferentes fuentes como las descargas de agua residual que pueden contener detergentes polifosfatados, los drenes agrícolas con cargas de agroquímicos fosfatados y lixiviados de residuos con un mal manejo de disposición final (Ongley, 1997).

El fósforo y los Fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de los cuerpos de agua y con el crecimiento excesivo de algas que pueden ser nocivas para la salud humana y vida acuática. En la siguiente tabla se puede encontrar la relación de la productividad y concentración de Fósforo de acuerdo con el estado trófico de un cuerpo de agua (Ongley, 1997).

Figura 10 Caracterización del estado trófico de un cuerpo de agua de acuerdo con la relación de otros parámetros.

<b>Estado Trófico</b>	<b>Materia Orgánica (MG/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio Total de fósforo (MG/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Máximo de clorofila (MG/M<sup>3</sup>)</b>	<b>de Profundidad de Secchi (M)</b>
<b>Oligotrófico</b>	Bajo	8.0	4.2	9.9
<b>Mesotrófico</b>	Medio	6.7	16.1	4.2
<b>Eutrófico</b>	Alto	84.4	42.6	2.45
<b>Hipertrófico</b>	Muy alto	750 – 1, 200	NE	0.4 – 0.5

Fuente: (Ongley, 1997 Adaptado de Janus y Vollenweider, 1981).

Acorde a la NOM-001-SEMARNAT-1996 se establece un LMP 15 mg/L en promedio mensual y 18 mg/L en promedio diario para zonas marinas mexicanas y estuarios, en el caso del Fósforo Total (SEMARNAT, 2003), y comparado con los CECA se tiene un LMP de 0.0001 mg/L para la protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras) de Fósforo Total y 0.002 mg/L para PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (CCA, 1989).

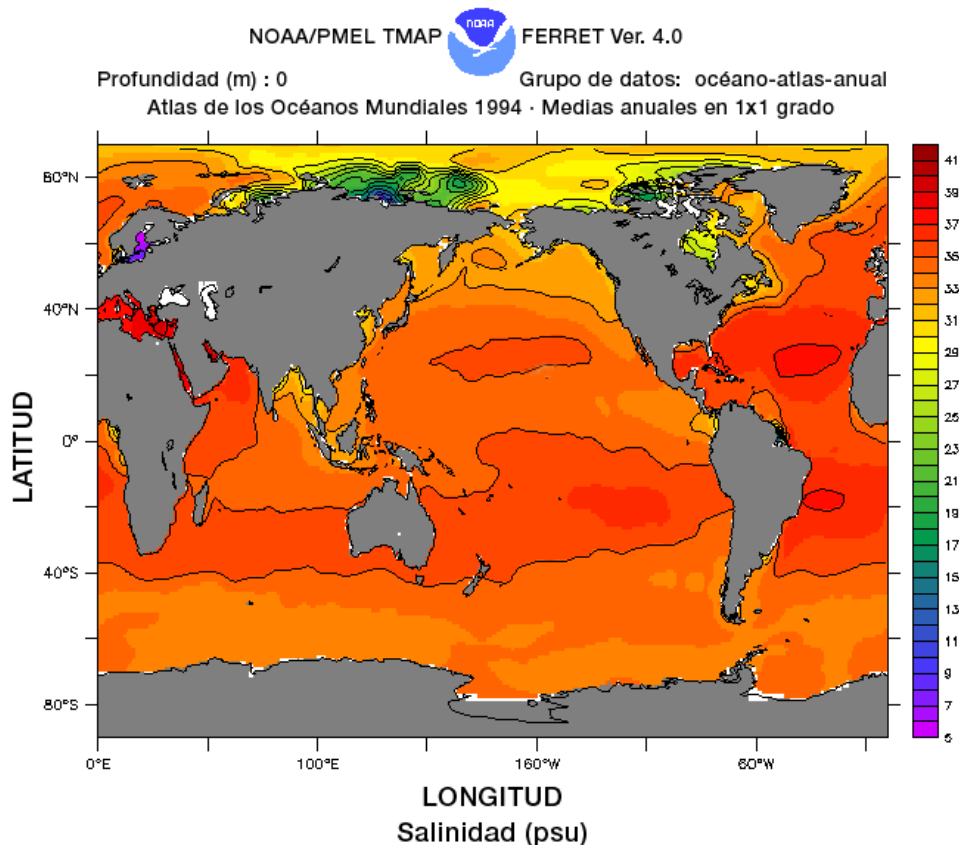
## Salinidad

Al contenido neto de sales en un cuerpo de agua se le llama salinidad, originada principalmente por la erosión de rocas, actividad volcánica y procesos de mineralización o bien de acuerdo con Cifuentes Lemus: *“la salinidad es la cantidad total en gramos de las sustancias sólidas contenidas en un kilogramo de agua del mar”* (Cifuentes y otros, 1997 a).

El agua de mar está compuesta por un 96 % de agua y un 4% de sustancias disueltas, en su mayoría sales de cloruro de sodio (NaCl), siguiendo carbonatos y sulfatos (Cifuentes y otros, 1997 a).

La salinidad se puede determinar de diferentes maneras, midiendo la conductividad eléctrica, la densidad e índices de refracción, reportándose los resultados en partes por mil (ppm), gramos por Kilogramo (°/oo), en porcentaje (%) o en Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) (Bergman, 2001).

Se ha llegado a un valor normal de concentración de salinidad de 35 partes por mil (Cifuentes y otros, 1997 a), la cual se va modificando debido a procesos biológicos, evaporación y dilución por lluvia o desembocaduras de ríos por lo que el rango establecido es de 33 a 37 partes por mil para ser considerada la salinidad de agua de mar (Bergman, 2001).



*Figura 11 Distribución de la salinidad en el planeta, demostrando que en puntos con mayor temperatura existe una mayor salinidad por el efecto de la evaporación.*

Fuente: (Bergman, 2001).

Los mares interiores, golfos y zonas costeras presentan concentraciones de salinidad muy variable, siendo las lagunas costeras y los estuarios las menos constantes en cuanto a valores de salinidad reportados (Cifuentes y otros, 1997 a), esto se refleja en la figura No. 5, donde se representa en la zona ecuatorial (de mayor incidencia solar y por ende elevadas temperaturas) una mayor concentración de sales y en zonas polares, con temperaturas bajas se presenta salinidad menor a 32 UPS (Bergman, 2001).

Algunos parámetros fisicoquímicos se ven afectados por la salinidad, tal como es la densidad, tensión superficial, presión osmótica, solubilidad de gases, el pH y en específico con la temperatura, es importante en la formación de las corrientes marinas, y a su vez es determinante como el medio que sostiene a la vida acuática. Los CECA establecen una normalidad para aguas marinas en áreas costeras de México de 27 a 35 ppm de salinidad (CCA, 1989).

## Transparencia

La transparencia es la capacidad de penetración de la luz incidente en la profundidad de un cuerpo de agua, esta visibilidad se determina con el disco de Secchi, el cual es de ayuda para determinar hasta qué profundidad es posible observar el disco, anotando en metros la distancia a la que dejó de percibirse el disco (Nicovita, 1998), esto se relaciona con la turbidez la cual indica la concentración de partículas suspendidas y dan apariencia de opacidad al agua (Aragón, 2014), lo que impide el campo visual a mayor profundidad.

Es importante determinar la transparencia para poder tomar en cuenta la visibilidad del cuerpo de agua en estudio, cuando la turbidez es baja, la transparencia puede llegar a ser de 400 metros, para aguas con presencia de partículas que den coloración verde o amarillenta al agua pueden llegar a tener una visibilidad de 100 a 200 m de profundidad, mientras que para colores rojizos o anaranjados no pasan de los 20 metros (Cifuentes y otros, 1995 a).

El determinar la transparencia es esencial para estimar modelos de crecimiento de flora y fauna acuática, procesos biogeoquímicos, y presencia de contaminantes, siendo una medida indirecta relacionada con la turbidez (Cifuentes y otros, 1995 a).

## Sólidos Suspendidos Totales

De acuerdo con la NMX-AA-034-SCFI-2015, el conjunto de las partículas en suspensión, coloidales y sedimentables presentes en el agua se les denomina Sólidos Suspendidos Totales (SST), son aquellos sólidos mayores a un diámetro de  $1.5 \mu\text{m}$  los cuales quedan después de haber sido filtrados y retirados los sólidos evaporables (SCFI, 2015).

Los SST son por lo regular partículas que llegan por medio del arrastre del agua en movimientos del cuerpo de agua o por la precipitación pluvial. Algunas de las implicaciones del por qué es importante el estudio de los SST es que estos al contener partículas sedimentables, se depositarán, si se encuentran en gran cantidad, pueden cubrir el fondo del cuerpo de agua tapando larvas, huevos, plantas y algunas especies que se encuentren en los sedimentos, evitando la transferencia de oxígeno, luz y en dado caso, movilidad. Además, en el Tratamiento de Aguas Residuales se debe realizar una comparación entre el afluente (agua de entrada, agua cruda) y el efluente (agua de salida, agua tratada) para verificar que el tren de tratamiento está en condiciones óptimas (Fuentes y Massol – Deyá, 2002).

El elevado contenido de SST en los cuerpos de agua puede ser de manera natural como se describe anteriormente, pero se ve afectado por actividades antropogénicas como descargas de aguas residuales e industriales sin tratamientos previos, drenes agrícolas, residuos sólidos terrestres y lixiviados (SEMARNAT, 2014).

Para el análisis en laboratorio de los SST se tiene la Norma Técnica NMX-AA-034-SCFI-2015 en la cual se explica la metodología para la medición de Sólidos y Sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (SCFI, 2015).

La Norma Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 reporta como límite 20 mg/L de SST en promedio mensual y 24 en promedio diario (SEMARNAT, 2003).

La Norma Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual establece los LMP de contaminación para aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, reporta para contacto directo un contenido máximo de 20mg/L de SST y 30 mg/L para contacto indirecto (SEMARNAT, 1998).

De acuerdo con los CECA, para agua marina costera, se describe que los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más del 10% a partir del valor natural (CCA, 1989).

## Materia Orgánica Particulada

Tal como lo describe la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, la Materia Orgánica Particulada (MOP) es aquella que se encuentra dentro del rango de 50  $\mu\text{m}$  y 2 mm de diámetro, compuestos principalmente por fracciones de plantas, polen, polvo y suelo (FAO, 2012).

La MOP representa fuente de alimento y energía para el suelo, cuando entra en un cuerpo de agua como en lagunas costeras proporciona nutrientes e incrementa el grado de eutrofización si el aporte es elevado.

En el medio marino – costero esta MOP se clasifica como:

- a) Alóctonos: de origen terrestre, ya sea por medio de entradas de ríos, tierra o el aire.
- b) Autóctonos: originados dentro del medio marino, algunos ejemplos son fragmentos de flora, fauna y Carbono Orgánico Particulado (COP).

Las lagunas costeras se caracterizan por ser productivas en cuanto a biomasa primaria y transformar la materia orgánica, pero también a esto y otras características son áreas susceptibles por impactos antropogénicos (Contreras y Castañeda, 2004).

La contaminación por MOP también tiene origen en descargas de agua residual urbana, industrial como la alimenticia, actividades agrícolas y ganaderas, esto afecta notablemente la disposición de Oxígeno Disuelto, ya que la MOP entra en un proceso de descomposición el cual requiere OD para el proceso, desequilibrando la tasa de OD disponible para flora y fauna del medio (Raffo y Ruiz, 2014).

La cuantificación de la MOP tiene por ende relación con el OD y la DBO, esta última es directamente proporcional ya que el objetivo de su cuantificación es el determinar la cantidad de Materia Orgánica oxidada por medios biológicos, por lo que el LMP establecido por La NOM-003-SEMARNAT-1996 para contacto directo es de 20 mg/L y para contacto indirecto es de 30 mg/L (SEMARNAT, 1998), mientras que la CONAGUA establece parámetros de acuerdo con el Índice de Calidad del Agua que se utiliza en México para la red de Monitoreo de la Calidad del Agua (Tabla 4A –para  $\text{DBO}_5$ ), entre estos parámetros se encuentra el semáforo del contenido de MO en cuerpos de agua superficiales y costeros (CONAGUA, 2017).

## CONTAMINACIÓN MARINA

Las actividades marinas como el transporte y la pesca vierten materiales y/o desechos en el mar. Así mismo, se tiene la entrada de sustancias oleosas asociadas al transporte marítimo (buques pesqueros, pequeñas motonaves dedicadas al transporte de mercancías y lanchas), el agua de lastre y las pinturas anti-incrustantes que se desprenden de los artefactos navales (Casanova y Zambrano, 2012).

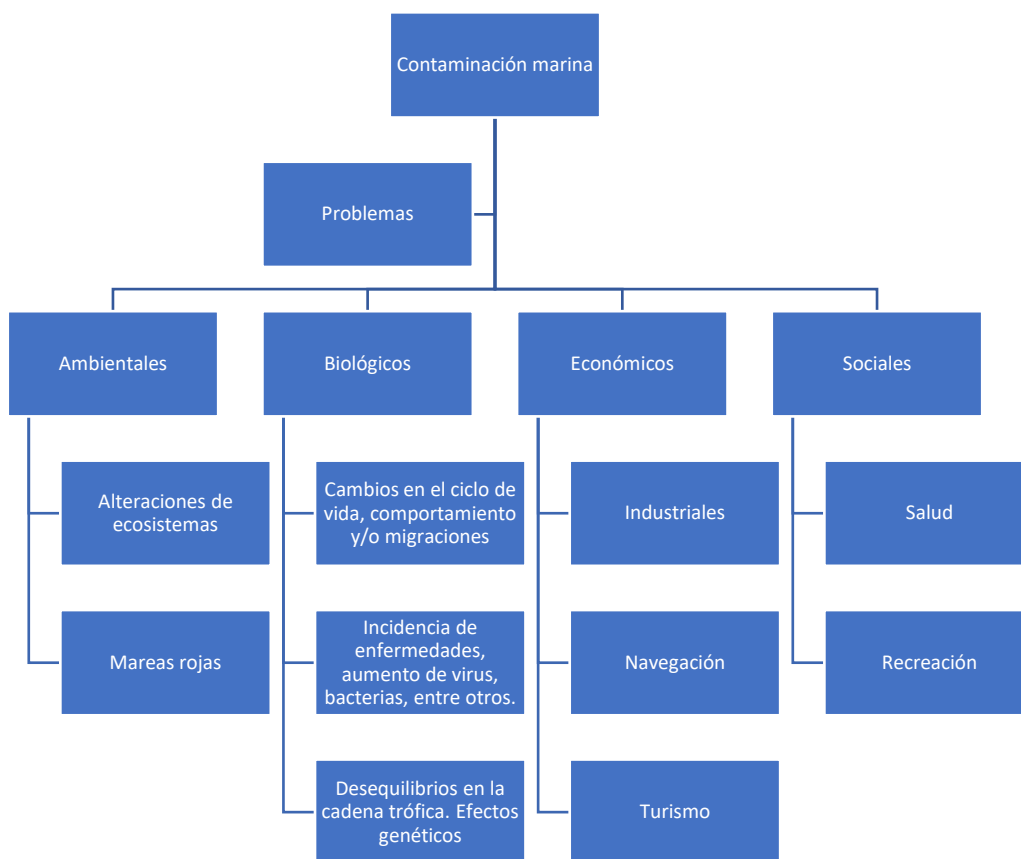


Figura 12 Diagrama de la contaminación y los problemas que desencadena

Fuente: (Casanova y Zambrano, 2012)

La contaminación marina se interpreta como la introducción antropogénica, ya sea de manera directa o indirecta, en el ambiente marino o costero (incluyendo estuarios) de sustancias o de energía que puedan provocar efectos nocivos y que dañen a los organismos presentes en el ecosistema, y que dichas sustancias pongan en peligro la salud humana, dificulten las actividades marinas, incluida la pesca, perjudican la utilización del agua del mar y reducen su disfrute (GESAMP, 1991).

Estos contaminantes pueden provenir de diversas fuentes, ser de diferente composición, así como también su estado de la materia puede variar, ser sólidos, líquidos o inclusive llegar contaminantes de estado gaseoso que pueden ser arrastrados hasta arribar al mar. Es complejo tener una clasificación concreta de los contaminantes, algunos autores como Vázquez Botello (2010), mencionan que los contaminantes se pueden dividir en naturales y artificiales (sintetizados por el hombre), pero es tan amplio que dificulta la categorización (Vázquez – Botello y otros, 2010).

Algunos ejemplos de contaminantes naturales de suma importancia son los componentes del petróleo crudo, metales pesados como el mercurio y el cadmio, nutrientes derivados del nitrógeno y fósforo. Mientras que ejemplos de contaminantes artificiales son los productos refinados del petróleo, pesticidas, plaguicidas, fertilizantes y demás productos químicos agrícolas; plásticos, detergentes y también elementos radiactivos (V. Botello, 1991).

Se estima que del 70 al 90% de la contaminación marina es por fuentes terrestres (Capaldo y Mantecón, 2011).

La contaminación por residuos sólidos es fuente de enfermedades, contaminación visual y por su simple presencia en el agua de mar, representa un problema de contaminación al medio. Esto también trae problemas económicos, como bajas para transporte marítimo, debido a que en ocasiones estos residuos se quedan atrapados en hélices y timones, haciendo fallos en el control; de acuerdo con la Organización Marítima Internacional (OMI) la problemática de la contaminación marina por plástico y microplásticos es muy grande; ya que estos tardan más de 400 años en degradarse y debido a su alto índice de degradación causa graves problemas para la vida acuática (OMI, 2018).

También la agricultura se incorpora en el marco de la contaminación marina por fuentes terrestres, actividad que cada día va ampliando su superficie hacia las costas. El uso persistente de plaguicidas, fertilizantes y pesticidas va cada día en aumento, el riego de los cultivos arrastra a través de los drenes, trazas de estos componentes químicos organoclorados, organofosforados y nitrogenados de alta toxicidad; en algunos sitios dichos compuestos llegan directamente al mar (Ramírez y Espejel, 2003).

Las aguas residuales de fuentes domésticas también tienen gran importancia en el aporte de contaminantes a las aguas marinas, conteniendo grandes cantidades de materia orgánica, detergentes, grasas y aceites, solo por mencionar algunos, ya que son sustancias

de difícil o nula biodegradación que llegan a modificar de manera importante el ecosistema marino (Ramírez y Espejel, 2003).

De acuerdo con investigaciones de la Estación Oceanográfica del Pacífico Centro de la Secretaría de Marina (SEMAR), el sistema lagunar de Topolobampo sufre episodios crónicos de contaminación por grasas y aceites provenientes de las instalaciones de PEMEX. Hipoxia por altas concentraciones de fosfatos, nitratos y coliformes fecales, debido a descargas de aguas residuales. Los niveles más críticos se alcanzan en invierno, probablemente por las aportaciones de los drenes agrícolas durante la temporada agrícola. El estero El Esterón, por ejemplo, se encuentra en estado eutrófico por las descargas del dren Juárez (Escobedo y otros, 2011).

Esta problemática incluye la desecación de pantanos y canales para aprovechamiento agrícola, así como el desarrollo de proyectos acuícolas, alta presión sobre especies clave por cambios en la calidad del agua y desecación de los manglares (Reyes, s.f.).

Los efectos de los contaminantes que afectan directamente a las especies se han menospreciado y están poco estudiados, a pesar de que se ha previsto que estos efectos contaminantes se incrementen, no se ha dado la importancia adecuada. El esfuerzo pesquero se ha concentrado en unas pocas especies de alto valor comercial y alta rentabilidad, con consecuencias negativas puesto que podría ocurrir el colapso de las poblaciones. Las alternativas para aprovechamiento de los recursos pesqueros de la región implican la evaluación del tamaño de las poblaciones, la diversificación de las especies aprovechables y la obtención de productos mediante cultivo (Acosta y Vázquez, 2009).

## MAREA ROJA

En condiciones óptimas y reducidos o nulos límites, los organismos suelen tener una desmedida reproducción y crecimiento, esto pasa con la denominada marea roja, que básicamente es la proliferación de organismos fitoplactónicos de diferentes especies algales en un cuerpo de agua, también llamado “Bloom algal” (Bances, s.f.).

La abundancia de estos microorganismos se debe a la basta radiación solar que incide en el agua marina, riqueza de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y la concentración de bióxido de carbono (Rincón, 2018), los cuales en ocasiones se ven incrementados de manera exagerada por aportes de agua residual, drenes agrícolas y lixiviados.

Se le denomina marea roja ya que la mayoría de las veces se presenta de coloración rojiza, sin embargo, esto depende mucho del tipo de la microalga presente, ya que puede tener diferentes colores o inclusive ser incoloras (Suárez y Guzmán, 1992).

Por lo regular estos organismos son inocuos, pero algunas especies presentan toxinas, que son nocivas para la salud de organismos acuáticos y los humanos, cuando son algas de este tipo se les llama Proliferaciones Algales Nocivas (Rincón, 2018).

El interés del estudio de esta propagación masiva radica en las pérdidas económicas para la acuicultura, sobre todo para el cultivo de moluscos bivalvos (animales de cuerpo calloso o blando protegidos por dos valvas o conchas) como los mejillones, almejas, ostras y ostiones, además de la reputación de las playas en las que se presenta este fenómeno (SEMARNAT, 2015).

Las principales toxinas presentes en las mareas rojas son:

- Veneno Paralizante de los Mariscos
- Veneno Amnésico de los Mariscos
- Veneno Diarreico de los Mariscos

Estas toxinas son resistentes a altas temperaturas, por lo que soportan la cocción de los portadores (Suárez y Guzmán, 1992).

La preocupación del consumo de estos “productos marinos” es debido a que filtran el agua consumiendo fitoplancton y diversos nutrientes, en el caso de la marea roja, si se llegase a tratar de una PAN, los moluscos o mariscos no presentan modificación aparente. La problemática radica en que las toxinas presentes en los microorganismos no se eliminan y

a pesar de ser cocinados los mariscos, al ser ingeridos se presenta la intoxicación (COFEPRIS, 2017).

## ANTECEDENTES

La calidad del agua del sistema Santa María (SM) – Topolobampo (TOP) – Ohuira (OHU), ha sido estudiada desde hace más de 10 años por diferentes Instituciones y trabajos de Centros de Investigación. El monitoreo del periodo 2012 – 2015 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), reporta para el sistema lagunar buena calidad del agua con parámetros de Coliformes Fecales (CF), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno, dentro del rango aceptable (CONAGUA, 2017), pero a pesar de tener resultados de una buena calidad de agua, existen reportes de contaminación (puntual y no puntual) en las 3 lagunas costeras. Leal (2008) estudio los sedimentos presentes en la bahía de Ohuira, los cuales resultaron con alto porcentaje de aditivos de plomo, fertilizantes, pesticidas con Cinc y Arsénico (Zn y As), los cuales impactan negativamente los cuerpos lagunares (Leal, 2008).

El Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) de Ahome, publicado por el Instituto Municipal de Planeación de Ahome (IMPLAN), para su periodo 2013 a 2015 que los cuerpos de agua costeros del municipio, como el sistema lagunar SM – TOP – OHUI, reciben aportes de 12 drenes agrícolas (SEMAR, s.f. y Leal y otros, 2007) , con gran cantidad de agroquímicos (nitrogenados, fosfatados y clorados), además de descargas de agua residual urbanas e industriales por la ciudad de Los Mochis, con un aproximado de 60 granjas acuícolas, una planta termoeléctrica de CFE (agua con elevada temperatura) y refinación de PEMEX (cenizas de combustión); esto a pesar de que existen 5 lagunas facultativas y 15 Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) que tratan la mayoría del municipio (IMPLAN, 2013).

Las grandes cargas de contaminantes y nutrientes que se desembocan en el complejo afectan severamente el estado trófico de las lagunas.

Escobedo Urías (2010) registró un aumento de nutrientes y un decremento de OD en comparación con estudios realizados anteriores a 1997, concluyendo a su vez que la estación en la que existe un mayor registro de nutrientes es en el invierno debido a la época de fertilización (Esc (Urías, 1997), así mismo se realizó la cuantificación de clorofila a (Cl a), razón nitrógeno fósforo (N/P), diatomeas/flagelados (D/F) y el índice de estado trófico

TRIX, resultando positiva la teoría del enriquecimiento nutricional de nitrógeno en el sistema lagunar (Urías & Lozano, 2007; Urías, 2010).

El sistema lagunar SM – TOP – OHU presenta un enriquecimiento de nutrientes nitrogenados y ortofosfatados, demostrando un proceso avanzado de eutrofización dependiente principalmente de la actividad agrícola (Ayala, 2008 y Escobedo, 2010), confirmando el impacto en todo el sistema lagunar, siendo de mayor a menor en Santa María, Ohuira y al final Topolobampo (Ayala, 2008), lo que favorece las Proliferaciones Algales Nocivas.

La aparición de estas PAN's está asociado con la presión antropogénica que se ejerce mediante la descarga de aguas residuales tanto industriales como urbanas y agrícolas (Escobedo, 1997), siendo indicadores biológicos de contaminación.

Escobedo Urías (2010) concuerda con Ayala Rodríguez (2008) en el aumento de PAN's (cianobacterias y dinoflagelados) característicos de zonas costeras eutrofizadas, además Escobedo Urías (1997) argumenta que el sedimento arcillo – limoso, captura eficientemente nutrientes, pero, a pesar de esto se hace evidente un incremento de los mismos, por las descargas desmedidas de origen urbano, industrial y agrícola.

Se ha verificado que Topolobampo cuenta con la presencia de una gran cantidad de aportes de ortofosfatos (Escobedo, 2010), observando concentraciones de fosfatos elevadas (3.43  $\mu\text{M}$  en promedio) en las tres lagunas en época cálida (Ayala, 2008), mientras que para valores mínimos de ortofosfatos se presentaron en época invernal con un rango de 0.09 a 0.5 mg/L (Méndez y Escobedo, 2007) . El INAPESCA reportó valores de 0.07 mg/L tanto para fosfatos como Fósforo Total en el estudio de la calidad del agua en las tres lagunas costeras (Romero y otros, 2014).

Algunos compuestos organofosforados encontrados en la bahía de Ohuira presentan toxicidad, estos son plaguicidas como el Famfúr, Demetón, sulfóxido de forato y clorpirifos (Osuna y otros, 1998), usados en la industria agrícola intensiva.

Se demostró que el mayor contenido de sedimentos con metales pesados es la parte sur de la bahía de Ohuira debido a la hidrodinámica de esta, por lo que favorece la concentración de contaminantes en la zona (Leal – Acosta, 2007), teniendo un tiempo de residencia de 16 días (Escobedo, 2010).

En cuanto al Oxígeno Disuelto (OD) en el año 2014, Beltrán reportó un valor promedio de las tres lagunas costeras de 5.6 mg/L (Romero, 2014), mientras que Escobedo Urías escribió en el año 2010 un aumento de este parámetro de 6.02 mg/L a 8.36 mg/L (Escobedo, 2010), mientras que dos años antes Ayala Rodríguez expuso fluctuaciones promedio de 2.9 a 14.31 mg/L encontrando los valores más bajos en SM, después en Topolobampo (7.3 mg/L ) y al final en Ohuira (8.3 mg/L), inclusive teniendo valores muy bajos, menores a 2.0 mg/L que indican hipoxia (Ayala, 2008). Beltrán indica que valores superiores a 5.0 mg/L de OD son adecuados conforme lo dictaminado por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua de 1989 (Romero, 2014). En porcentaje de saturación de OD las lagunas arrojaron datos mayores al 100% en general siendo en promedio 105%, y de mayor a menor ponderación se encuentra Ohuira, Topolobampo y al final SM, esto relacionado con actividad fotosintética (Ayala, 2008).

La temperatura promedio reportada por Ayala fluctuó de los 17.3°C como mínimo y 33.5°C como máximo durante todo el muestreo, describiendo la época fría de noviembre a marzo y la época cálida de abril a octubre (Ayala, 2008), concordando con lo dicho por Escobedo y Lozano, mientras que en promedio se obtiene un valor de 25.6°C (Méndez y Escobedo, 2007).

Para el parámetro del pH Leal y otros (2007) concluyen en el estudio que realizó en el sistema lagunar SM – TOP - OHU que la concentración de carbonatos de calcio, además de la presencia de elementos como Se, Co, U, As y Hf (los cuales tienden a formar carbonatos) permanecen disueltos formando ligandos orgánicos que efectúan cambios en el pH y la salinidad (Leal, 2008). Para el ciclo diurno del estudio de INAPESCA 2014 se sabe que los valores de pH dependen de procesos fotosintéticos encontrando un pH predominantemente ácido durante las noches y alcalinos en plena producción primaria; pero en promedio se encontró un valor de 8.61 unidades de pH (Romero, 2014), un poco más elevado que el promedio de 8.55 unidades de pH reportado por Ayala (Ayala, 2008).

La Bahía de Ohuira obtuvo los valores más altos de SST y MOP, debido a descargas de agua residual, drenes y azolvamiento (Ayala, 2008 y Romero, 2014), esto se relaciona a los valores bajos de transparencia reportados por Ayala, quien reportó los mínimos en época de fertilización, además de que comparado con lo especificado por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, para la protección de la vida acuática en áreas costeras y la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) se considera como una buena penetración de luz

(Ayala, 2008). Teniendo una profundidad de entre 3 y 4 m según Ayala Rodríguez, 2008, y dos metros más en el promedio reportado en INAPESCA (Romero, 2014).

Otro parámetro importante en el estudio de las lagunas costeras es la salinidad, la cual se relaciona directamente con el proceso de evaporación, es decir, a una mayor evaporación existe mayor concentración de sales. La temperatura determina el porcentaje de evaporación, por lo que, en el norte de México, donde existe la mayor incidencia de luz solar, se exponen elevadas temperaturas (arriba de los 40°C en época calurosa) se producen las tasas de evaporación más altas, concordando con de la Lanza Espinos y otros (2011), en la que Topolobampo figura como 2, 200 mm (Romero, 2014). En relación con esto algunos estudios emiten valores promedio de 34.18 ups en la bahía de Ohuira y un mínimo de 30 ups (Méndez y Escobedo, 2007), mientras que en Topolobampo se tienen los valores más elevados de las tres lagunas del sistema, calificando como hipersalino (Ayala, 2008), así mismo lo considera Escobedo Urías comparando Topolobampo con Navachiste, y aseverando que el exceso de salinidad es por el aporte de agua residual (Escobedo, 2010).

Aunque el IQBP no introduce parámetros de toxicidad hay varios estudios que demuestran la presencia de esta medida en el sistema lagunar SM – TOP – OHU principalmente por fertilizantes, los cuales afectan la camaronicultura. Se encontró la presencia de plaguicidas organoclorados, los cuales de mayor presencia en la bahía de Ohuira son endosulfán I, heptacloro, epóxido de heptacloro, delta BHC, lindano y DDT (Osuna y otros, 1998), mientras que en el 2004 se detectaron 16 plaguicidas organofosforados presentes en camarones del género *Penaeus sp.* (Osuna y Riva, 2004) a pesar de que estos plaguicidas son menos agresivos que los organoclorados, por su alta especificidad causan problemas a poblaciones acuáticas y a la salud humana. De acuerdo con Osuna y Riva (2004), los fertilizantes con mayor presencia en el sistema lagunar son Demetón, Sulfóxido de fosfato, Diazinón, Malatión, Disulfotón, Etil paratión y Forato; teniendo en cuenta que este último está restringido en México, además de que otros se encuentran prohibidos de acuerdo con la Comunidad Económica Europea (CEE) y 6 de estos plaguicidas organofosforados están considerados como sustancias peligrosas (Osuna y Riva, 2004).

Se tienen elevadas concentraciones (bajo la DL<sub>50</sub>) en los camarones de granjas Sinaloenses, los cuales son afectados directamente en el sistema metabólico, además de que algunos de los plaguicidas encontrados están prohibidos y/o restringidos en México. Lo cual se debe tomar en cuenta para poder alertar, controlar y tomar acciones para evitar su

influencia en los organismos que habitan la bahía de Ohuira y el transporte a través de estos, a los humanos (Osuna y otros, 1998).

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

### TRABAJO DE CAMPO

Del mes de abril 2016 a marzo 2017 se realizaron muestreos mensuales en 12 puntos de la bahía de Ohuira y parte del puerto de Topolobampo con el fin de tomar muestras de agua para el análisis en laboratorio y otros parámetros en cada una de las estaciones, las cuales se presentan en la Imagen No.13 donde se muestra la ubicación de cada uno de los puntos de muestreo.

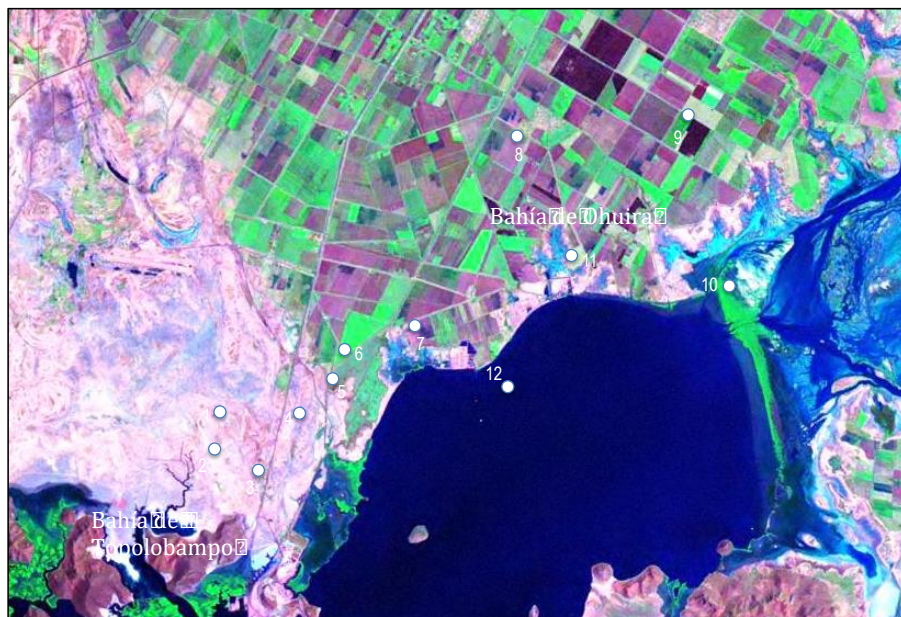


Figura 13 Ubicación de las 12 estaciones de muestreo de la bahía de Ohuira y Puerto de Topolobampo.

Fuente: (Martínez – López, 2017)

En cada punto se determinaron *in situ* las variables: Temperatura Superficial del Mar (TSM), Salinidad (SAL), pH, Oxígeno Disuelto (OD), y Profundidad del Disco de Secchi (Secchi), además se tomaron muestras de agua mediante el método de la columna de agua integrada (método del tubo segmentado, Orellana *et al.*, 1999) para el análisis de: Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO), clorofila a, nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SiO}_3$ , NT, FT,  $\text{PO}_4$ ) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Adicionalmente se tomaron muestras de agua superficiales en bolsas de plástico estériles para la determinación de coliformes totales y fecales.

Las variables ambientales temperatura, oxígeno disuelto y % de saturación de oxígeno se determinaron mediante un oxímetro YSI ProODO, pH mediante un potenciómetro de campo Oakton Acorn®, y transparencia mediante un disco de Secchi. La cuantificación de las concentraciones de Cl a se realizaron de acuerdo con Venrick & Hayward (1984) y la clorofila activa fue calculada usando las ecuaciones de Jeffrey & Humphrey (1975).

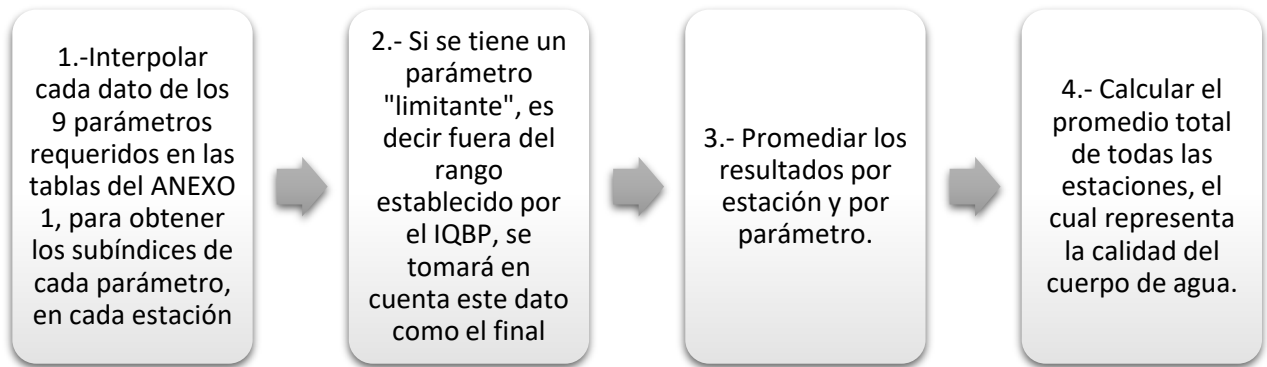
## TRABAJO DE LABORATORIO

El análisis de los parámetros del índice de calidad del agua (IQBP) y otros fueron realizados por el equipo técnico del laboratorio de “Eutrofización Costera” del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) – Unidad Sinaloa, a cargo de la Dra. Diana Cecilia Escobedo Urías quien proporcionó los datos resultantes del muestreo anual 2016 -2017 del proyecto: “Establecimiento de la línea base de la calidad ecológica de la Bahía de Ohuira, Sinaloa” clave SIP-2016-RE/011.

De las muestras obtenidas, una parte se filtró a través de filtros fibra de vidrio grado GF/F (tamaño de poro  $0.7 \mu\text{m}$ ) para el análisis de nutrientes inorgánicos disueltos. El análisis de amonio se realizó inmediatamente, mientras que el resto de la muestra fue congelada para su posterior análisis. Adicionalmente, una porción sin filtrar se preservó para el análisis de nitrógeno y fósforo total (NT y PT). La determinación de nutrientes inorgánicos se realizó mediante las técnicas espectrofotométricas descritas en las Normas Mexicanas correspondientes (NMX-AA-154-SCFI-2011, NMX-AA-079-SCFI-2001, PROY-NMX-AA-160-SCFI-2011, NMX-AA-075-1982, NMX-AA-074-1981), mientras que el análisis de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se llevarán a cabo de acuerdo al método de digestión propuesto por Valderrama (1981) y finalizados según lo recomendado en PROY-NMX-AA-029-SCFI-2008 y NMX-AA-079-SCFI-2001, mientras que los sólidos suspendidos totales se realizaron de acuerdo al método gravimétrico (APHA, 1989). La determinación de coliformes totales y fecales se realizó de acuerdo con lo descrito en la NORMA Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994.

## TRABAJO DE GABINETE

Se eligió el uso del índice de calidad del agua bacteriológico y fisicoquímico (IQBP) debido a que anteriormente se han tratado datos con este método, además de que involucra otros factores, compensando las necesidades que requiere el objetivo del estudio para la calidad del agua para la vida acuática (Hébert, 1997).



*Figura 14 Procedimiento del desarrollo del IQBP*

## RESULTADOS

La calidad del agua de la bahía de Ohuira se determinó con el índice Bacteriológico y Físicoquímico (IQBP), el cual tuvo un resultado general de buena calidad del agua (Ver Figura No. 30). Aun con el resultado del índice, para tener un panorama más amplio se realizaron gráficas de temporalidad – parámetro, esto con datos mensuales de cada una de las variables del IQBP, y otros, para completar el estudio.

Posteriormente se trabajaron datos máximos, promedio y mínimos de cada uno de los parámetros, con un nivel de confianza del 95% con el cual se pudo estimar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

A continuación se presentan las gráficas elaboradas para los 8 parámetros requeridos en el IQBP, y otras extras que permitieron ampliar el panorama del estudio de la calidad del agua de la bahía de Ohuira:

### AMONIO

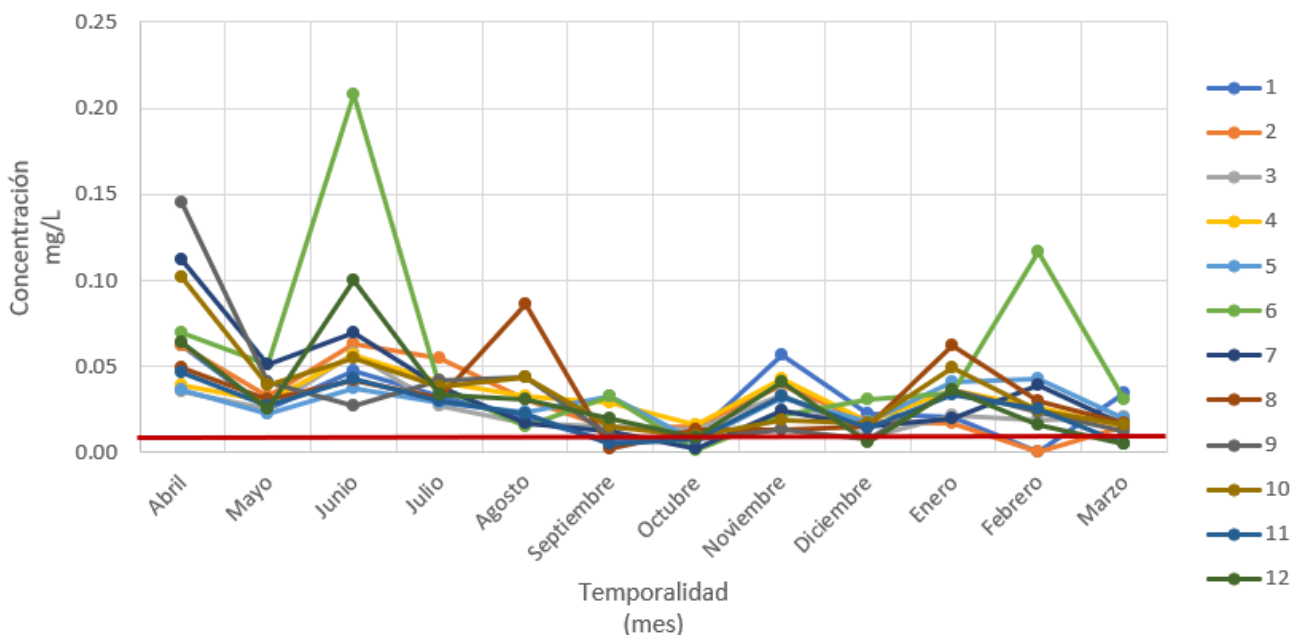


Figura 15 Representación gráfica del Amonio (NH<sub>4</sub>) en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017

El amonio tuvo un comportamiento homogéneo en todas las estaciones y en la temporalidad de los muestreos desde abril 2016 hasta marzo 2017 con ligeras variaciones de incremento a inicios del estudio, y algunos picos elevados como en el caso de la estación 6 para el mes

de junio y febrero 2017, en junio también la estación 12 tuvo una elevación mayor a la normal, la estación 8 presento también una elevación mayor en comparación con lo normal en los meses de agosto y enero.

La proyección gráfica presenta una disminución temporal, la cual tiene punto de inflexión en el mes de octubre para volver a incrementar los valores de concentración del amonio, esto debido a la época de fertilización y de lluvias las cuales aportan por arrastre especies nitrogenadas y Materia Orgánica que contiene Amonio para su debida transformación.

### COLOROFILA A

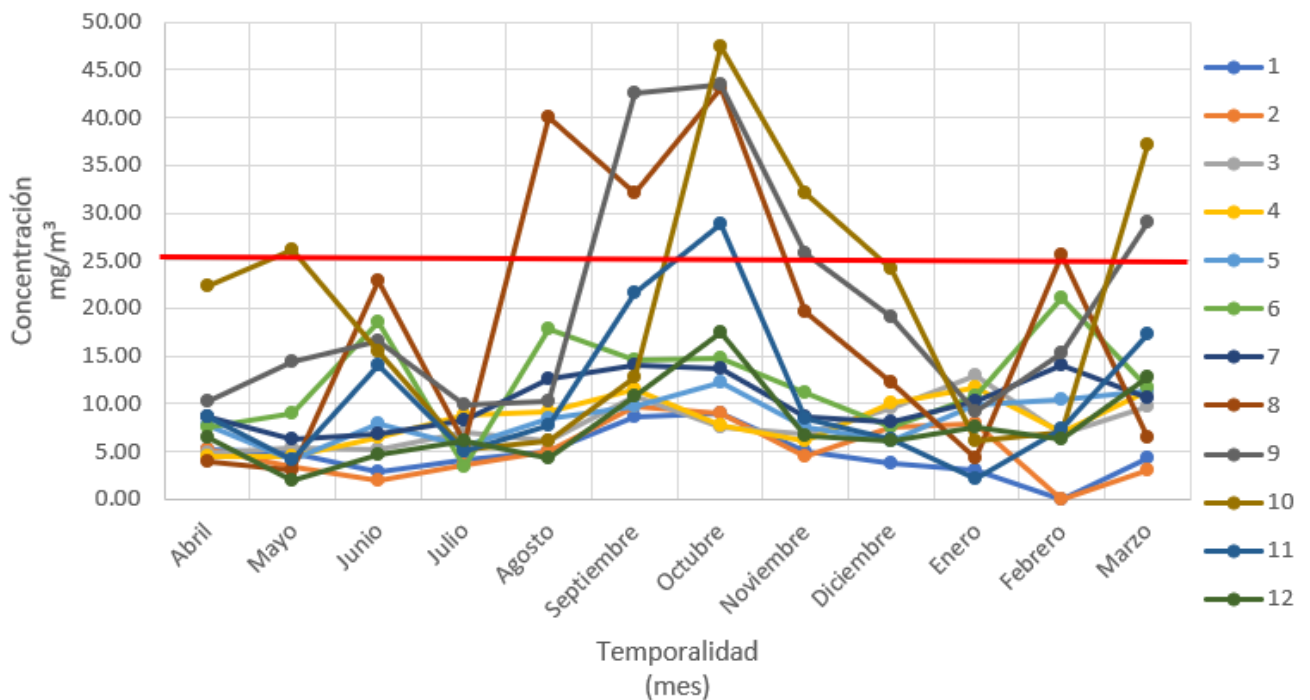


Figura 16 Clorofila a en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que al nivel de los 25 mg/m<sup>3</sup> con referencia al grado en el que empieza a determinarse un cuerpo costero como eutrófico de acuerdo con OCDE en 1982

La variabilidad anual de la clorofila a es alta. De acuerdo con lo presentado en la figura 16, se tienen 4 estaciones que rebasan el límite base de 25 mg/m<sup>3</sup> que establece la OCDE, principalmente en los meses de agosto a noviembre, siendo la transición de primavera a otoño, aunque en época de entrada el verano en el mes de marzo las estaciones 9 y 10 tuvieron un pico, aunque mucho menor que en el mes de octubre.

Las estaciones que están por arriba del límite que considera la relación de la clorofila a con el estado trófico del ecosistema, son la estaciones 8, 9 y 10.

## DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

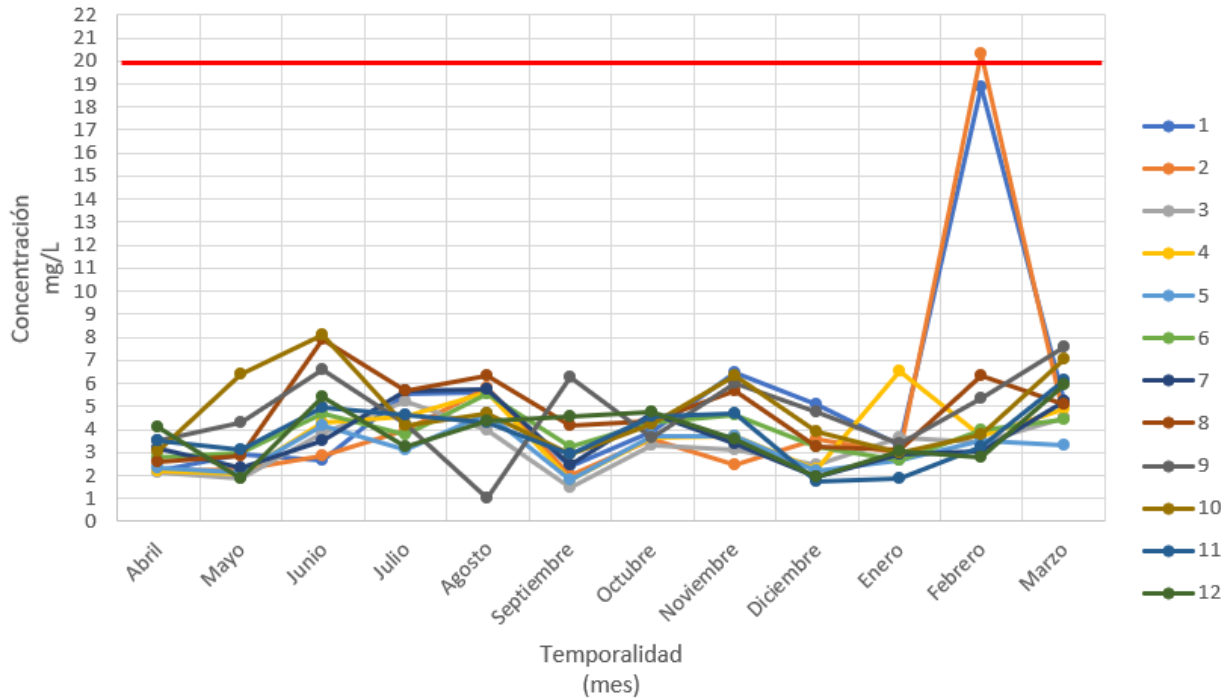


Figura 17 DBO5 en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017". La línea roja que se encuentra al nivel de los 20 mg/L representan el LMP de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1996 en uso recreativo con contacto directo.

Solo la estación 2 en el mes de febrero excedió los 20 mg/L establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1996. De acuerdo con CONAGUA en su semáforo, la mayoría de las estaciones en toda la temporada de los muestreos entra en la categoría de buena calidad, solo algunos en la calidad de aceptable, aun las estaciones 1 y 2 para el mes de febrero que tuvieron el máximo valor.

## MATERIA AORGÁNICA PARTICULADA

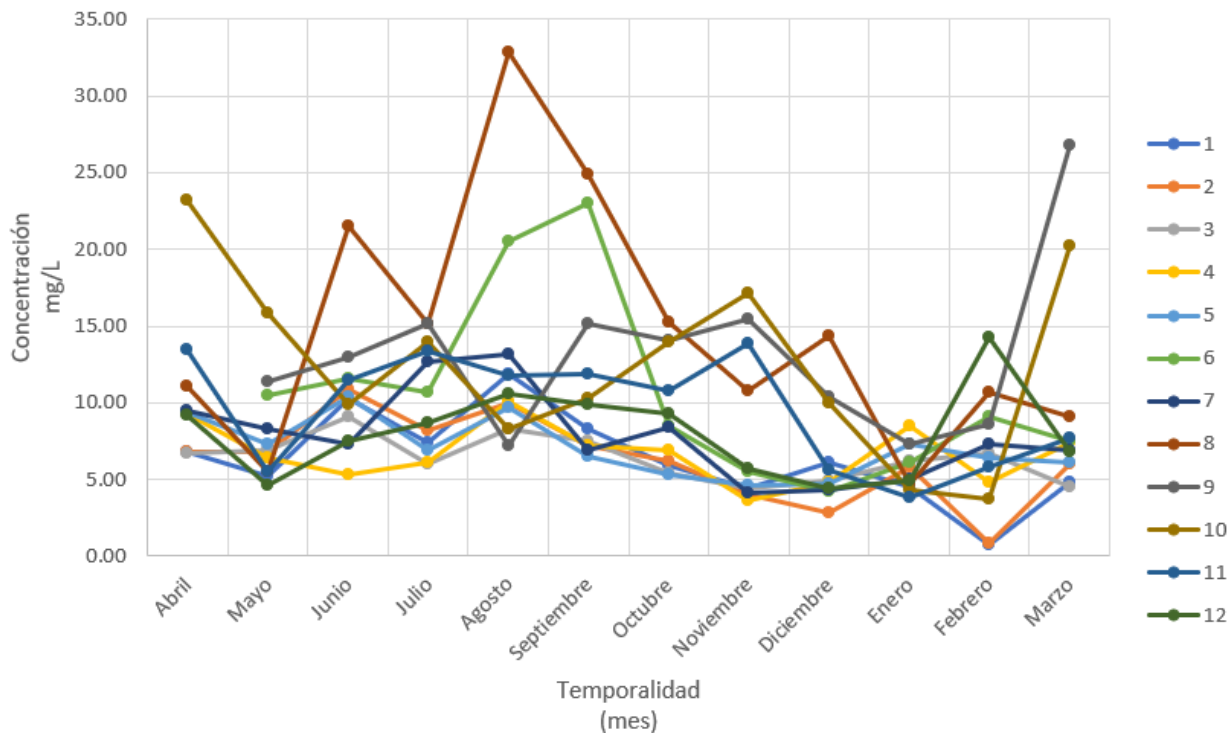


Figura 18 Materia Orgánica Particulada en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017.

Se muestra una gran variación de las estaciones durante el tiempo. Las estaciones que tienen mayores concentraciones de MOP son 6 y 8 en el mes de septiembre, esto se le puede atribuir a la época de lluvias las cuales arrastran la MOP incrementando valores arriba de los 30 mg/L que fue el máximo en agosto 2016 para la estación 8. El incremento también es debido a que dichas estaciones están en las cercanías de las descargas de agua residual urbana y los drenes que aportan grandes concentraciones de MOP.

## NITRITOS

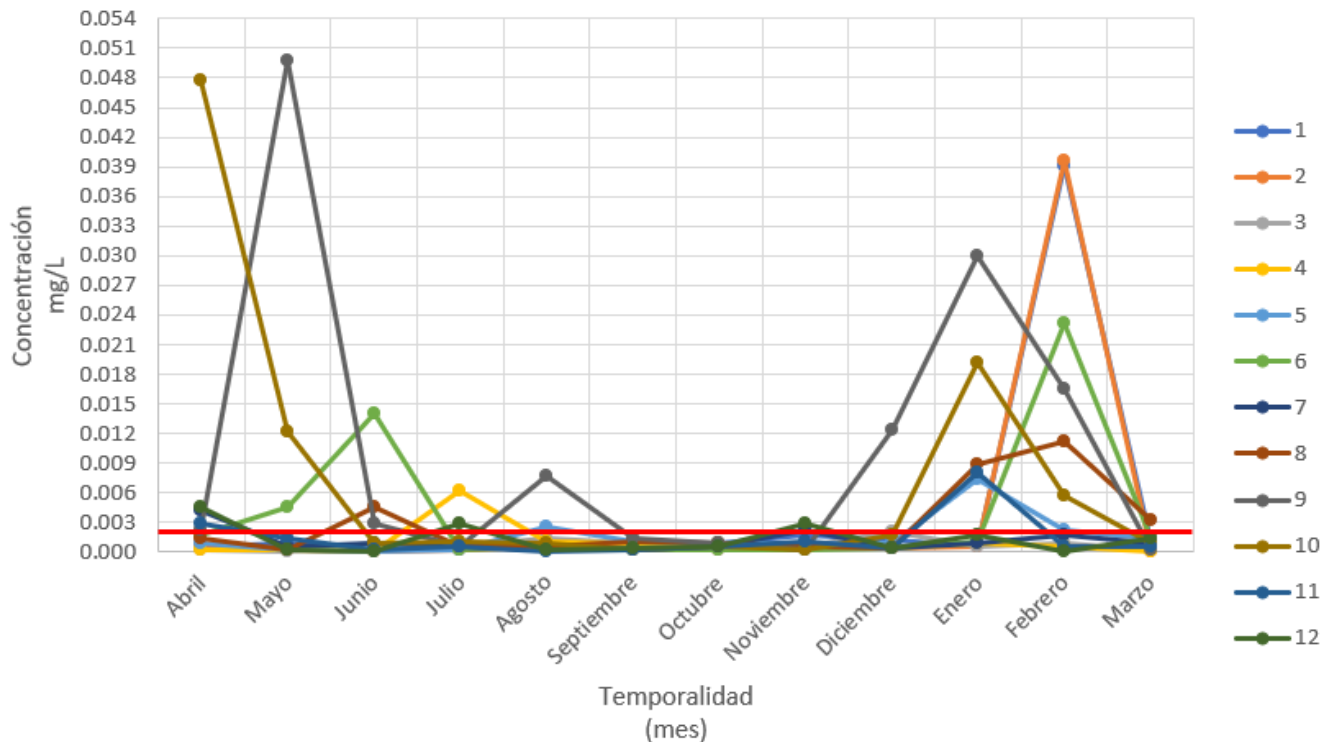


Figura 19 Nitritos en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de los 0.002 mg/L representa el LMP emitido por los CECA de protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras).

En el caso de los nitritos hay una variación que incrementa en varias estaciones (1,2, 5, 6, 8, 9, 10 y 11) de noviembre a marzo y en un inicio de abril a septiembre, siendo de septiembre a noviembre el lapso que se respeta el límite decretado por los CECA. Los valores máximos fueron de la estación 9 en el mes de mayo y estación 10 n el mes de mayo, siguiéndole la estación 1 y 2 en el mes de febrero. Mes en el que las estaciones 1, 2, 6, 8, 9 y 10 tuvieron una elevación de valores en comparación con meses anteriores y por arriba del LMP.

## NITRATOS

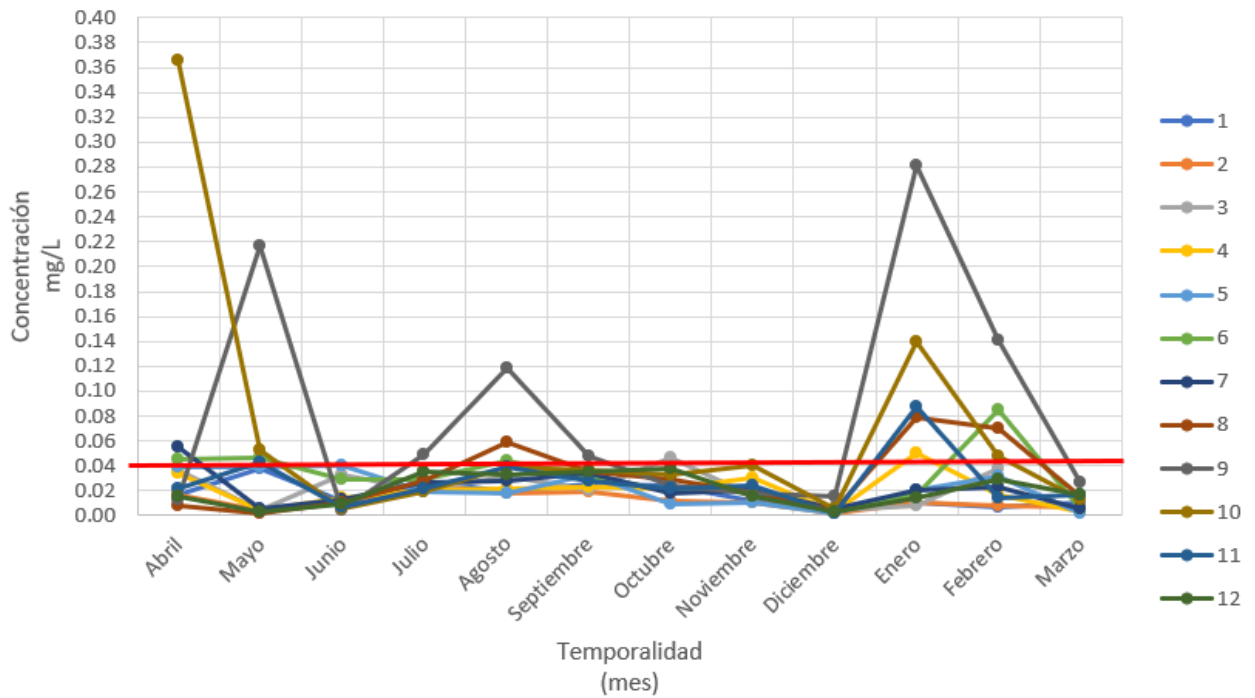


Figura 20 Nitratos en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de los 0.04 mg/L representa el LMP emitido por los CECA de protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras).

En el caso de los nitratos se presenta una configuración temporal similar a los nitritos, en este caso las estaciones que rebasan el LMP por CECA de 0.04 mg/L son la estación 4 en el mes de abril 2016, siendo el máximo de todas las estaciones y enero 2017 al igual que la estación 11, y la estación 9 en los meses de mayo, agosto y enero

## OXÍGENO DISUELTO

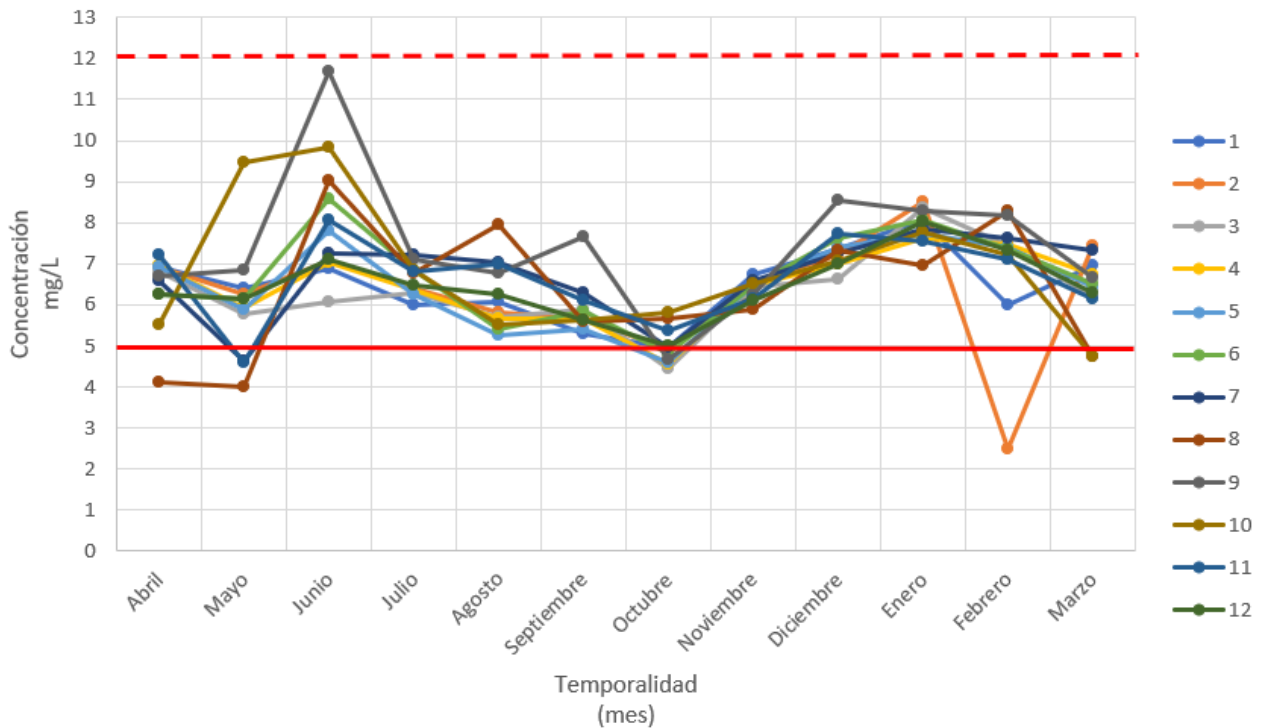


Figura 21 OD en las 12 estaciones. La línea roja al nivel de los 5 mg/L representa el límite mínimo permitido por los CECA de protección de la vida acuática en agua marina, y la línea roja punteada en los 12 mg/L LMP del semáforo de CONAGUA.

Si se toma en cuenta el CECA que tiene como Límite mínimo permisible 5 mg/L todas las estaciones están muy por arriba, lo que indica buena concentración de oxígeno disuelto, sólo en algunos casos como la estación 2 en el mes de febrero tuvo una caída muy fuerte, y la estación 8 en los meses de abril y mayo.

En general las estaciones siguen una tendencia, la cual se logra ver fácilmente en los últimos meses del periodo de muestreo.

Otra referencia de Eutrofización de ecosistemas acuáticos por Goyenola, 2007, entran dentro de un rango aceptable de 5 a 12 mg/L, pero teniendo puntos de hipoxia en las estaciones 2 en el mes de febrero y en la estación 8 en abril y mayo. En comparación con la gráfica No. 4 de MOP los picos de concentraciones elevadas de MOP coinciden con las bajas en la concentración de OD para los meses de julio a noviembre, en la cual es época de lluvia y hace un aporte de agua terrestre con contenido orgánico. En el mes que no coincide con esta proyección es en febrero para las estaciones 1 y 2 que tuvieron picos en la disminución de ambos parámetros.

## pH

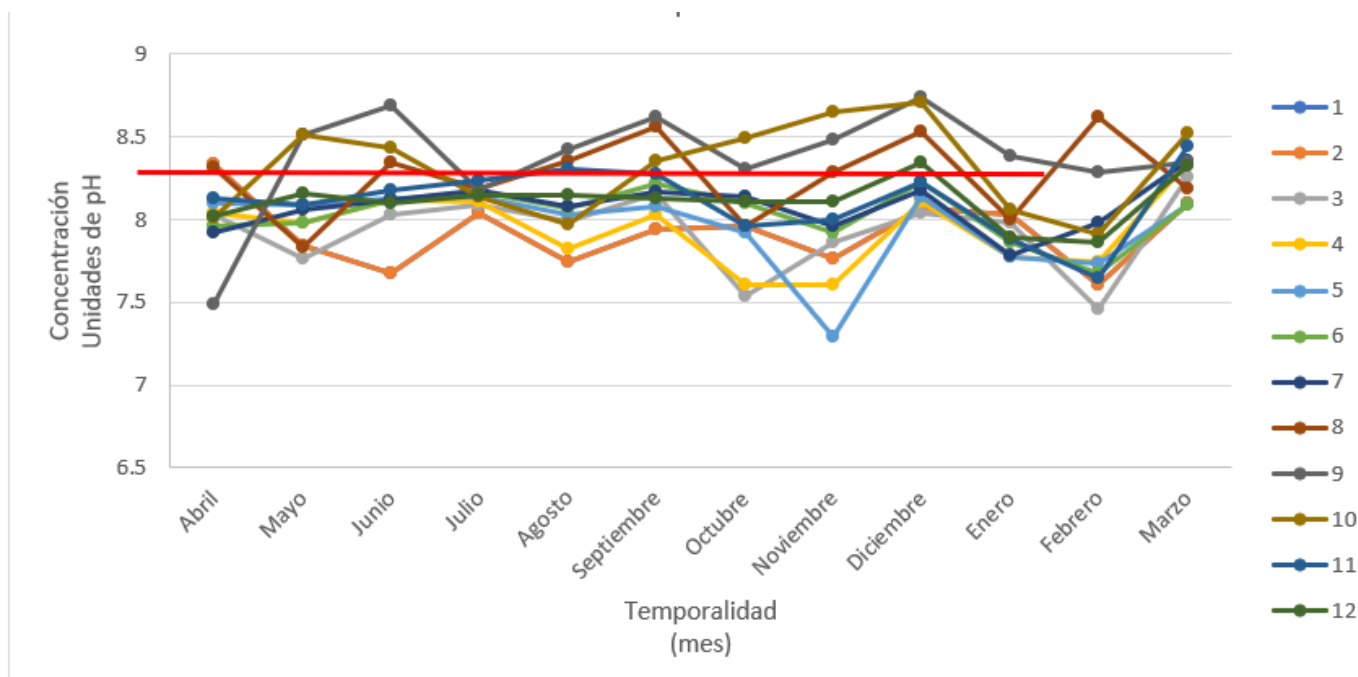


Figura 22 pH en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de las 8.5 Unidades de pH, LMP de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Las estaciones que superan lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 son: estación 8 en los meses de septiembre, diciembre y febrero; estación 9 en junio, septiembre y diciembre; estación 10 en los meses de mayo, octubre y marzo justo en el LMP, mientras que noviembre y diciembre fue mayor.

## FOSFATO

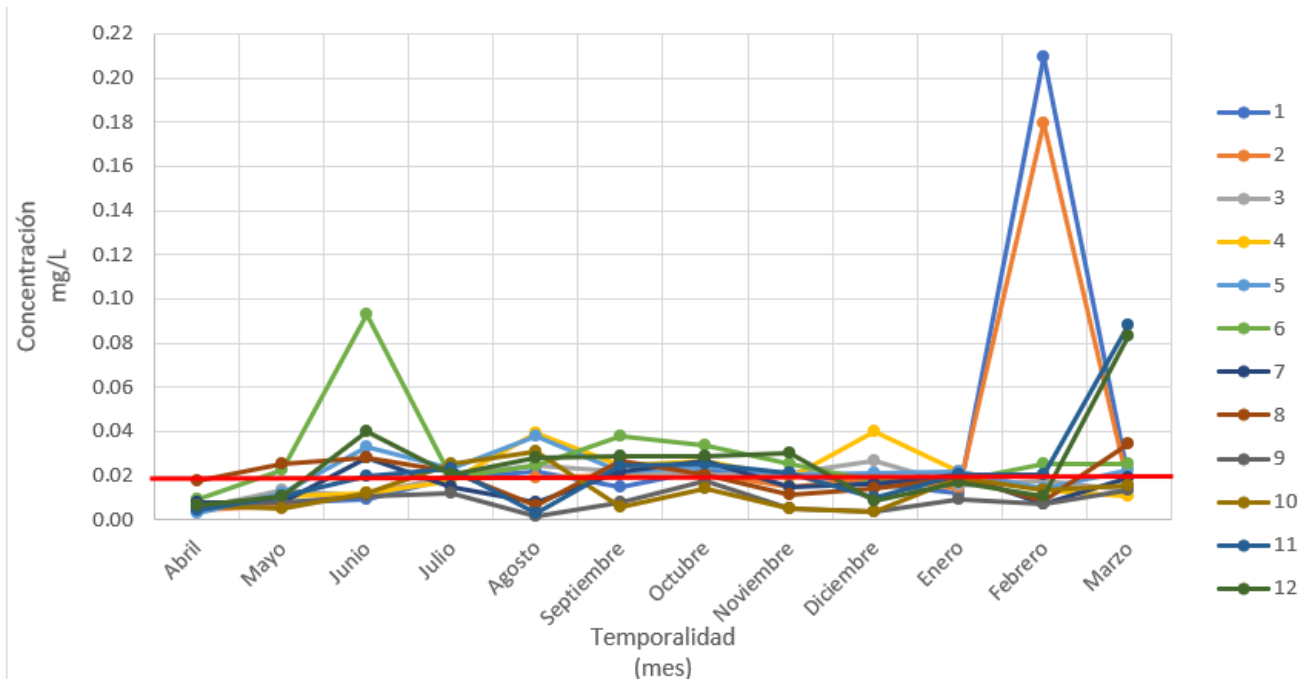


Figura 23 PO4 en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja que se encuentra al nivel de los 0.02 mg/L que representa el LMP de acuerdo con los CECA de protección de la vida acuática en agua marina (áreas costeras).

Existe una mitad de las estaciones en toda la temporada de muestreos que respetan el límite decretado por el CECA, mientras que la otra parte lo rebasa hasta el doble (0.04 mg/L). Teniendo máximos de la estación 1 y 2 en el mes de febrero, la estación 6 en junio y 11 y 12 en marzo.

## SALINIDAD

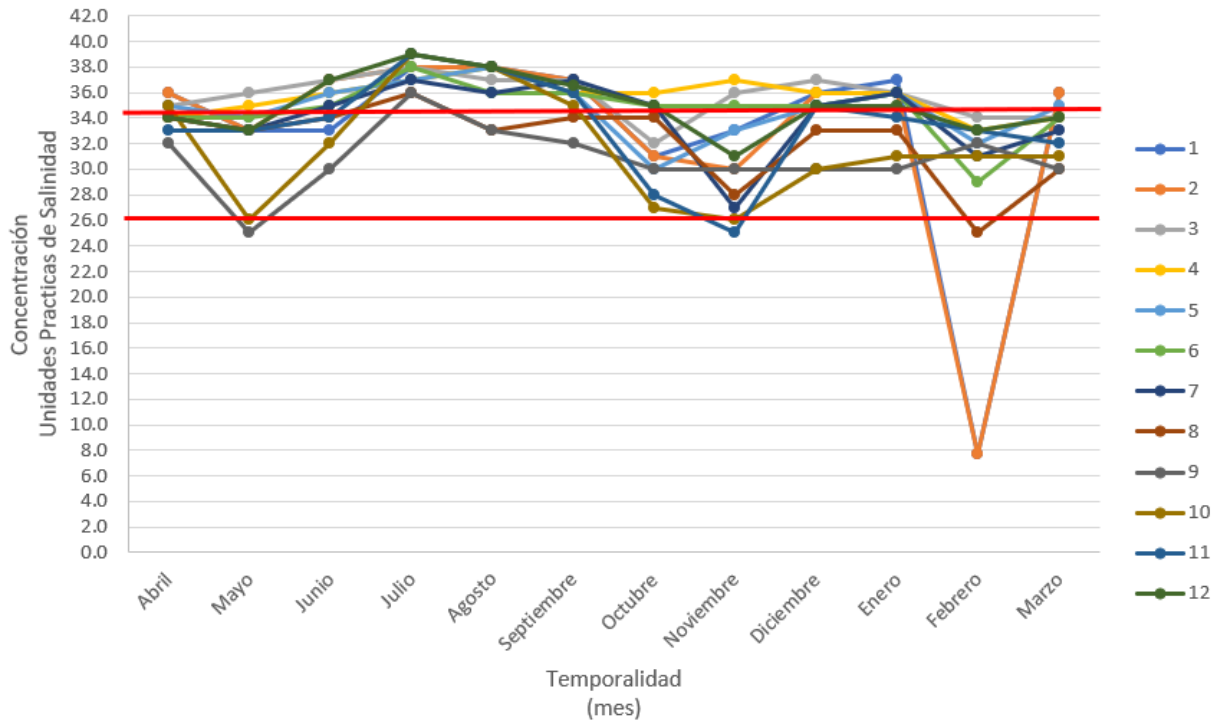


Figura 24 Salinidad en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. Las líneas rojas determinan el rango de 27 a 35 UPS de acuerdo con los CECA para camaronicultura.

Se logra observar una tendencia temporal en cuanto a todas las estaciones de muestreo. La mayoría de las estaciones están dentro del rango que establecen los CECA, aunque todas también rebasan significativamente el rango, esto por encima de 35 ppm, mientras que sólo las estaciones 1 y 2 en el mes de febrero tienen una salinidad bastante baja, y las estaciones 11 y 12 en el mes de julio están por arriba de los 38 UPS.

## SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

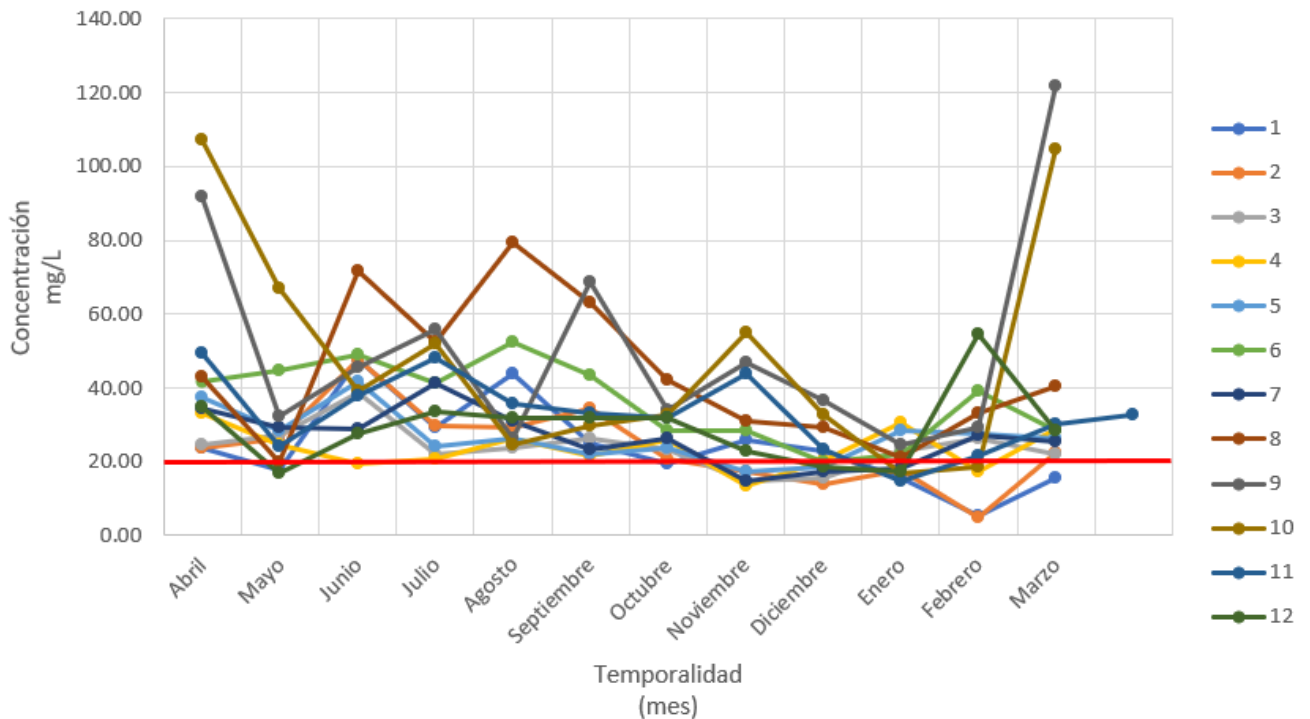


Figura 25 SST en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja al nivel de los 20 mg/L establece el LMP referido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT-1996 para contacto directo.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 junto con la NOM-003-SEMARNAT-1996 concuerdan como LMP de 20 mg/L y todas las estaciones rebasan el límite a excepción de las estaciones 1 y 2 en el mes de febrero con los mínimos en comparación con todas las estaciones y demás meses. Si se aplica el LMP de la NOM-003 para contacto indirecto, la mitad de las estaciones cumplen el límite en algunos meses y en otros lo rebasan, siguiendo un comportamiento similar. De acuerdo con el semáforo de la calidad del agua de CONAGUA de 25 a 75 mg/L se considera como buena, por lo que todas las estaciones entran en esa categoría en la mayoría de los meses, excepto las estaciones 8, 9 y 10, las cuales en agosto para la estación 8 rebasa levemente el límite, la estación 9 y 10 teniendo los valores máximos en los meses de abril y febrero, pero aun considerando una calidad aceptable ya que el máximo de 120 mg/L de la estación 9 en febrero no rebasa los 150 mg/L considerados por el semáforo de CONAGUA.

## TEMPERATURA

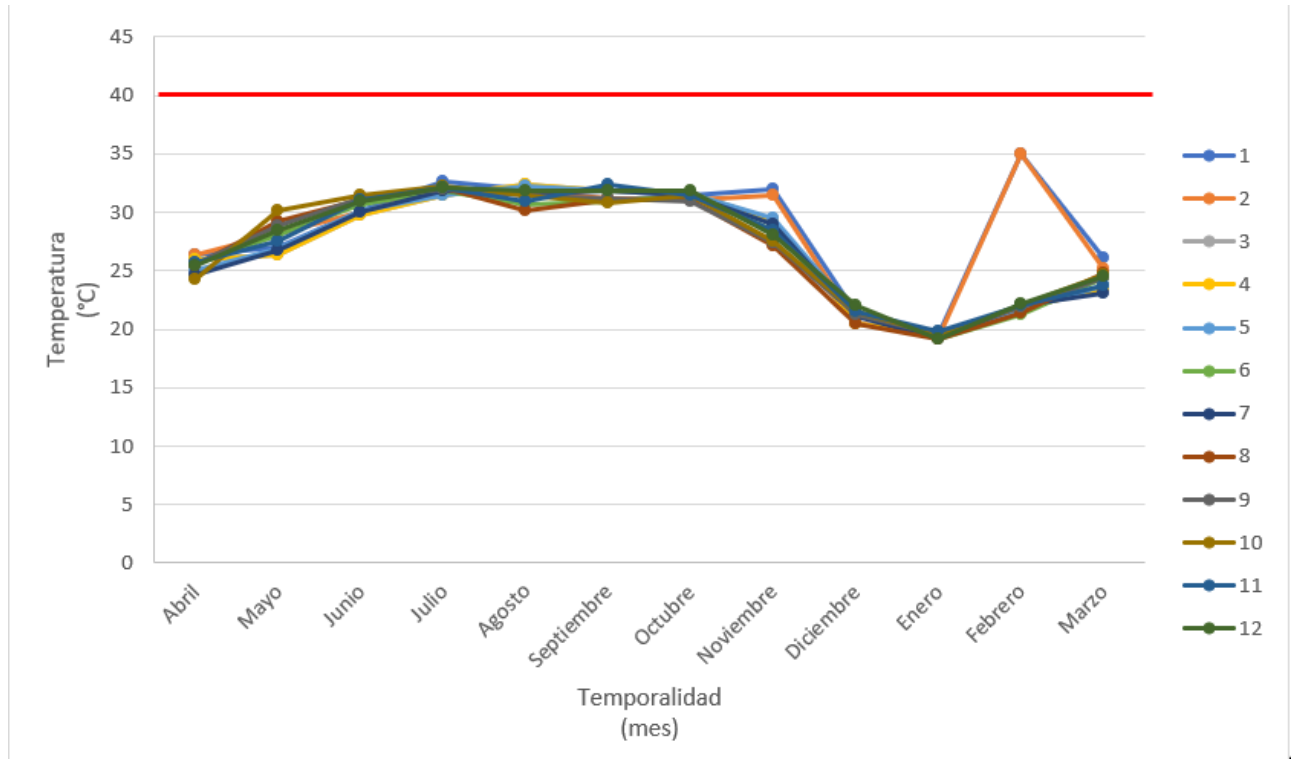


Figura 26 Temperatura en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017. La línea roja al nivel de los 40°C establece el LMP referido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Todas las estaciones están por debajo del LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996, la mayoría de las estaciones se comportan similarmente a excepción de las estaciones 1 y 2 en el mes de febrero que son las de mayor valor en todas las estaciones y en toda la temporada de muestreo.

## TRANSPARENCIA

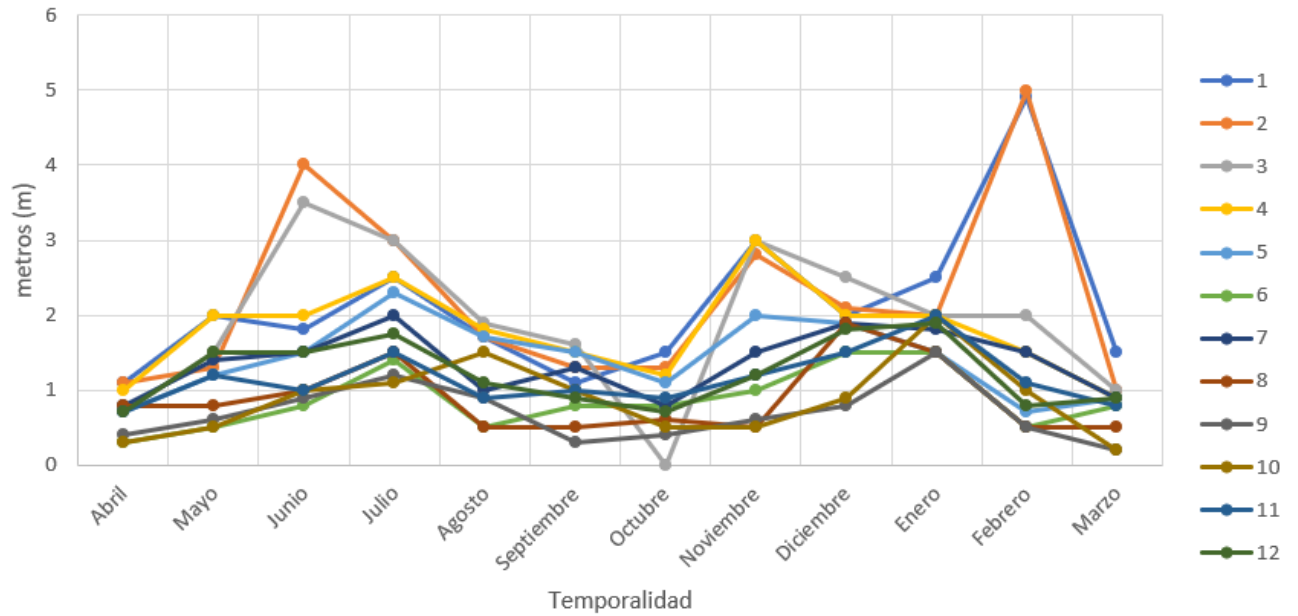


Figura 27 Transparencia en las 12 estaciones de los muestreos realizados de abril 2016 a marzo 2017.

La transparencia de la bahía es variable, sobre todo en las estaciones 1, 2 y 3 las cuales cuentan con una mejor visibilidad, mientras que la estación 3 en el mes de octubre fue la que presentó menor profundidad de visión para el disco de Secchi.

## COLIFORMES FECALES

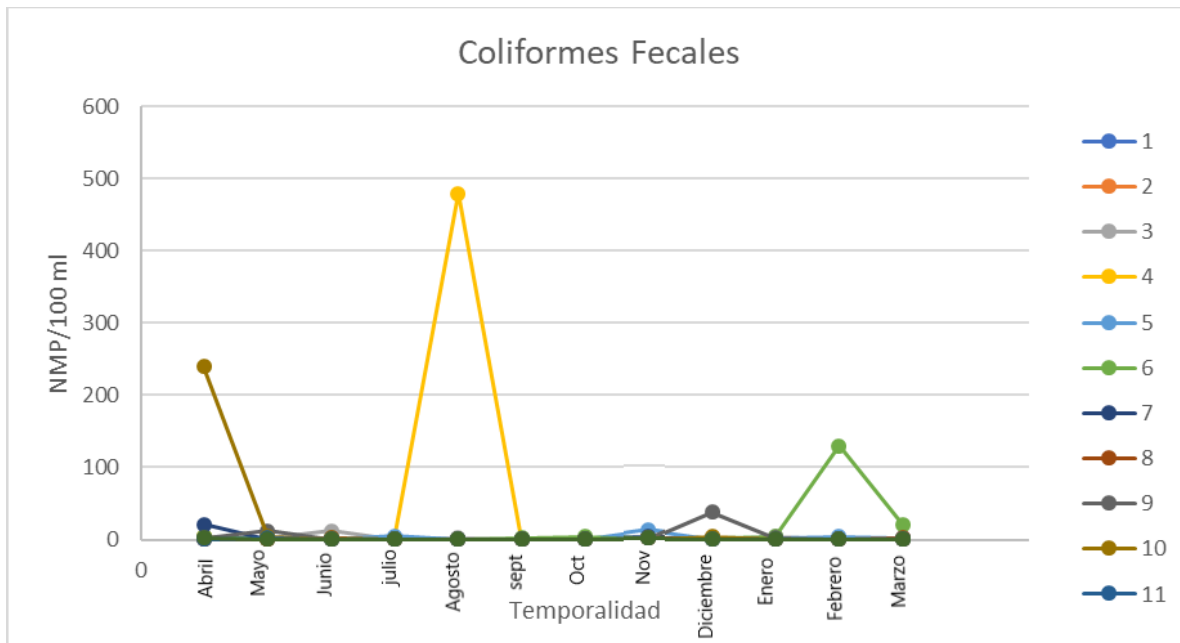


Figura 28 Coliformes Fecales de las 12 estaciones de muestreo realizados en abril 2016 a marzo 2017.

En el caso de coliformes fecales, se representa con Número Más Probable en 100 ml, los cuales se determinaron con base en la Norma Técnica NMX-AA-042-SCFI-2015. La figura 28 muestra que existen 4 picos en diferentes meses, tal es el caso más extremo de la estación 4 en el mes de mayo, llegando a casi 480 NMP/100 ml, siguiéndole la estación 10 en el mes de abril con 250 NMP/100ml, para el menor de los casos la estación 6 en febrero. En el caso de la estación 9 hay un ligero aumento de coliformes para el mes de diciembre. Mientras que en resto de las estaciones la presencia es nula o no significativa.

Las anteriores gráficas resultaron del análisis independiente de cada uno de los parámetros en cada una de las estaciones por cada mes de lo que duró el periodo de muestreo.

Así mismo se realizó el análisis estadístico con máximos, promedio y mínimos con un intervalo de confianza de 95%. Esto fue para cada uno de los parámetros analizados, esto para todo el tiempo en el que se realizó el muestreo y para todas las estaciones propuestas.

Tabla No. 8 mínimos, Promedio y Máximo de los parámetros analizados para las 12 estaciones de la bahía de Ohuira durante el periodo de muestreos de abril 2016 a marzo 2017.

Figura 29 Tabla de resultados, mínimo, máximo y promedio con un intervalo del 95% de confianza, para cada uno de los parámetros analizados.

<b>Parámetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>
<i>Clorofila a (mg/m<sup>3</sup>)</i>	0.0200	11.2257 ± 4.893	47.4837
<i>Coliformes Fecales (NMP/100ml)</i>	<1	28.500 ± 14.550	480.0000
<i>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</i>	1.0000	4.1374 ± 1.002	20.3000
<i>MOP (mg/L)</i>	0.6964	9.0680 ± 2.810	32.8000
<i>NH<sub>4</sub> (mg/L)</i>	0.0000	0.0296 ± 0.0109	0.2083
<i>NO<sub>2</sub> (mg/L)</i>	0.0000	0.0033 ± 0.003	0.0497
<i>NO<sub>3</sub> (mg/L)</i>	0.0022	0.0309 ± 0.019	0.3657
<i>OD (mg/L)</i>	2.5000	6.6093 ± 0.505	11.6800
<i>pH (U pH)</i>	7.2900	8.0835 ± 0.147	8.7400
<i>PO<sub>4</sub> (mg/L)</i>	0.0013	0.0211 ± 0.0097	0.2094
<i>Salinidad (UPS)</i>	7.6800	33.6152 ± 1.811	39.0000
<i>SST (mg/L)</i>	4.9000	32.6111 ± 9.459	121.9355
<i>Temperatura (°C)</i>	18.7000	27.4738 ± 0.690	35.0000
<i>Transparencia (m)</i>	0.2000	1.3849 ± 0.405	4.9900

A continuación, se presenta el resultado del IQBP por estación y el general:

Figura 30 Resultado del IQBP para la bahía de Ohuira en el periodo de muestreos de abril 2016 a marzo 2017.

<b>Estación</b>	<b>Promedio</b>	<b>Clasificación</b>
<b>IQBP</b>		
1	72	B
2	72	B
3	70	B
4	68	B
5	69	B
6	63	B
7	68	B
8	62	B
9	61	B
10	60	B
11	68	B
12	69	B
<b>Total</b>	<b>67</b>	<b>B</b>

De acuerdo con el IQBP la calidad del agua generalmente es satisfactoria para la mayoría de los usos (*ver figura 31*), Clasificación del tipo de calidad de agua obtenida por el IQBP en el Anexo 1.

## DISCUSIÓN

### Calidad del agua de la bahía de Ohuira

De acuerdo con el resultado del IQBP la calidad del agua de la bahía de Ohuira presenta una clasificación B lo que significa en la escala del índice que el agua es generalmente satisfactoria para la mayoría de los usos (Hébert, 1996), esto concuerda con lo presentado por CONAGUA (2017), describiendo al sistema lagunar SM – TOP – OHU con una buena calidad del agua. A pesar del resultado obtenido, que es un promedio general, varias estaciones presentan clasificaciones del índice con un límite de 60, o menor, el cual ya entraría con la clasificación C de una calidad de agua dudosa (Ver figura 31 en el Anexo 1), en los cuales algunos usos como los de contacto directo pueden verse comprometidos.

Se ha demostrado en varios estudios que en la calidad del agua de una laguna costera intervienen múltiples variables afectando directa e indirectamente la ecología e interacciones del sitio (Romero y otros, 2014; CONABIO, 2013 y Díaz y otros, 2012). En este caso las aguas residuales modifican la pleamar, ya que el nivel de agua incrementa por dicho aporte (Escobedo, 1997), incrementando nivel, carga de nutrientes y concentraciones de microorganismos patógenos. El IQBP incluye la medición bacteriológica de los Coliformes Fecales; para el presente estudio, en la mayoría de las estaciones resultaron valores < 1 NMP/100ml, en promedio de 30 a 40 NMP/100 ml y solo un máximo en la estación 4 para el mes de agosto que superó el LMP de los 240 NMP/ 100 ml de la NOM-003-SEMARNAT-1997 para contacto directo (SEMARNAT, 1998), y los CECA de 200 NMP/ 100 ml (CCA, 1989). Pero en promedio están por debajo de los límites establecidos, tanto para CF como CT, esto por el tratamiento previo que se les da a las aguas grises del municipio de Ahome (IMPLAN, 2013), aunque es “suficiente” para la remoción de bacterias activas patógenas aún se deben establecer medidas de remoción en las PTAR para SST, MOP y otros nutrientes.

A pesar de que el IQBP es una medida aceptable para estimar la calidad del agua del sistema lagunar de Ohuira, no incluye datos de toxicidad ni índices biológicos que utilizan indicadores de contaminación presente (Hébert, 1996). Estudios como el de Leal Acosta han demostrado contenido de metales pesados en sedimentos de la parte sur de la bahía de Ohuira, en parte debido a la hidrodinámica de esta, por lo que favorece la concentración de contaminantes en la zona (Leal y otros, 2007), teniendo un tiempo de residencia de 16 días (Escobedo, 2010).

También se ha estudiado la toxicidad presente en los camarones de las granjas de los sistemas lagunares del estado de Sinaloa, los cuales tienen grandes concentraciones de plaguicidas organoclorados, nitrogenados y ortofosfatados (Osuna y otros, 1998), a pesar de que estos fertilizantes son menos agresivos que los organoclorados, por su alta especificidad causan problemas a poblaciones acuáticas y a la salud humana, encontrando que varios de los plaguicidas son declarados de uso restringido o prohibidos en México (Osuna y Riva, 2004).

Como se ha descrito la bahía de Ohuira y el sistema al que forma parte es contaminado diariamente por diferentes fuentes, de no ser por el auxilio de otras variables físicas las cuales apoyan la salida de los contaminantes del cuerpo lagunar, como lo son los vientos y el tiempo de estadía o de recambio de la laguna que es relativamente bajo (Mee, 1977 referido por Escobedo Urías en 1997), los vientos son una importante influencia en el patrón de circulación de las lagunas costeras, ya que puede frenar o intensificar las corrientes, así como determinar su dirección (Escobedo, 1997).

De acuerdo con estudios anteriores de lagunas costeras con bajo o nulo impacto antropogénico Escobedo - Urías (1997) reportó que obtuvo valores similares, defendiendo la reducción del impacto efectuado por las diversas fuentes terrestres con la disminución de estas, por procesos naturales, biogeoquímicos y de la zona de manglar que reducen los contaminantes, de acuerdo con la dinámica lagunar se mezclan y desplazan los nutrientes y compuestos. Escobedo - Urías (1997) concluyó con un tiempo de estadio de 2.26 días, que es un tiempo relativamente corto que permiten la dilución y salida de los contaminantes.

En numerosos documentos y publicaciones como en la CONABIO (Reyes, s.f.), describen ampliamente la gran diversidad de recursos con los que cuenta la bahía de Ohuira y la amenaza de extracción de cactáceas y el deterioro de la condición natural de los hábitats por el incremento poblacional, turístico y comercial de Topolobampo (puerto de altura). Álvaro Reyes (s.f.) prevé que el desarrollo comercial del puerto será rápido, ya que el gobierno planea convertirlo en punto de contacto comercial intensivo con los países de la cuenca del Pacífico.

## Clorofila a

La Clorofila a es un pigmento el cual ayuda a microorganismos autótrofos a procesar la luz para obtener energía. En el ámbito de la calidad del agua marino – costera es importante debido a que indica la cantidad de biomasa fitoplanctónica existente, y por consecuencia da una referencia del estado trófico del ecosistema (MOTyMA, 2014; Urías & Lozano, 2007), tal como lo describe la OCDE (1982) en la tabla No. 3 en la cual se tipifican los estados tróficos comparando el rango de la Cl a con el estado de eutrofización de un cuerpo natural de agua (Moreno y otros, 2010). De acuerdo con esto, la mayoría de las estaciones del trabajo presente entran en una categoría de mesotrófico, muy pocas son menores a 5 mg/m<sup>3</sup> que se describen como oligotróficos, mientras que las estaciones que entran en el rango tipificado como eutrófico son: las estaciones 8, 9, 10 y 11, en los meses de julio a noviembre y nuevamente en marzo, esto se puede enlazar fácilmente al incremento de nutrientes por la época de lluvias que arrastran desde zonas terrestres aledañas, con uso de suelo agrícola, lo cual concuerda con la época de fertilización en la temporada de otoño e invierno (Ayala, 2008; Escobedo, 1997 y Escobedo, 2010).

Méndez y Escobedo (2007) reportaron valores promedio de 7.11 mg/m<sup>3</sup> lo cual indica la saturación óptica en términos de la biomasa, mientras que Ayala (2008) reportó una variación de 1.52 a 47.01 mg/m<sup>3</sup> con valores promedio de 7.0 mg/m<sup>3</sup> para Topolobampo (similar a Méndez y Escobedo (2007)), 10.78 mg/m<sup>3</sup> para Ohuira; teniendo valores más altos en los meses de época fría, esto concuerda con los valores promedio y el máximo obtenido de abril 2016 a marzo 2017. Escobedo - Urías (2010) reporta valores de 3.99 a 11.63 mg/m<sup>3</sup> presentando condiciones eutróficas al igual que INAPESCA (Romero y otros, 2014) indicando un problema de crecimiento desmedido; se reportaron valores promedio de 0.63 mg/m<sup>3</sup> a 69.12 mg/m<sup>3</sup> para las 3 lagunas, lo más alto en comparación con los otros estudios y aun el presente, siendo estos máximos resultados ubicados en zona de esteros (Romero y otros, 2014).

De acuerdo con lo reportado por Escobedo- Urías (1997) se ha ido notando el incremento en la masa fitoplanctónica de 5 mg/m<sup>3</sup> en promedio a 11 mg/m<sup>3</sup> y un máximo mayor a 60 mg/m<sup>3</sup> (Romero y otros, 2014). De las estaciones estudiadas (8 a la 11) presentan condiciones eutróficas de acuerdo con lo descrito por INAPESCA (abril 2017) en sus boletines temporales de las condiciones generales de la Clorofila a en el pacífico mexicano, excediendo por mucho el promedio presentado en los reportes.

Otra referencia temporal importante es lo redactado en los boletines temporales del INAPESCA, el cual describe las normales de clorofila de acuerdo con un análisis detallado de imágenes satelitales (Vásquez y Jiménez, 2018). Declaró para el mes de diciembre 2016 valores normales de 0.1 a 3 mg/m<sup>3</sup> para el Golfo de California; los cuales son muy bajos comparado con el promedio obtenido para la temporada de muestreos (abril 2016 a marzo 2017), incrementando el promedio a 5 mg/m<sup>3</sup> para el mes de enero 2017, esto puede ser que el promedio presentado se realiza para zonas más amplias y con aguas abiertas.

En el caso del reporte de marzo 2017 del INAPESCA se emitió un incremento importante de Clorofila a, desde Isla Tiburones hasta Mazatlán se alcanzaron valores mayores a los 6 mg/m<sup>3</sup> los cuales estuvieron asociados con el reporte de florecimientos nocivos en la zona, el cual se explica por la estacionalidad. En comparación con el mes de febrero también existió un reporte de florecimientos algales nocivos desde el mes de enero y debido a esto los reportes de clorofila incrementaron hasta 8 mg/m<sup>3</sup> en toda el área sur del Golfo de California (Vásquez y Jiménez, 2016).

En el mes de junio 2016 se hizo presente marea roja en el tramo de la estación 11 a 12, también en anteriores ocasiones se ha visto la presencia de estas proliferaciones debido a los elevados nutrientes y el avanzado grado de eutrofización de la laguna (Díaz y otros, 2012; Ayala, 2088 y Escobedo, 2010).

### Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno degradada en 5 días resultaron con un mínimo de 1 mg/L, un máximo de 20.3 mg/L y en promedio de 4.13 mg/L, siendo este un parámetro que mide la cantidad de Materia Orgánica degradada en un medio aerobio. De acuerdo con el semáforo de CONAGUA la calidad del agua se puede tipificar como buena ya que en promedio se tiene un rango de entre 3 y 6 mg/L de DBO<sub>5</sub>, lo que significa un bajo contenido de MO, aún el máximo de 20 mg/L respeta este límite, valor que si es empatado con la NOM-003-SEMARNAT-1997 está justo en el valor máximo permisible para contacto directo (SEMARNAT, 2003). Los valores excedidos de las estaciones 1 y 2 pudieron deberse a la profundidad de las zonas de las estaciones y a la temperatura.

## Compuestos Fosfatados

El fosfato tuvo un mínimo de 0.0013 mg/L, un promedio de 0.0211 mg/L y un máximo de 0.2094 mg/L.

Escobedo - Urías (1997) reportó en comparación con periodos desde 1987 a 1997 el incremento en las concentraciones de fosfatos de aproximadamente 0.031 mg/L, el promedio del trabajo presente es menor al reportado para el periodo de 1987 -1988, pero el máximo rebasa por el doble lo reportado por Escobedo - Urías (1997), teniendo un valor similar a 0.11 mg/L es decir que la tendencia del aumento de los fosfatos sigue en incremento debido al aporte de agua residual urbana e industrial, y drenes agrícolas conteniendo detergentes y plaguicidas ortofosfatados, en el caso de algunos presentan toxicidad, como el Famfúr, Demetón, sulfóxido de forato y clorpirifos (Osuna y otros, 1998).

La reducción del impacto producido se debe a procesos naturales, biogeoquímicos y de la zona de manglar que reducen los contaminantes, entre estos también aporta la dinámica lagunar y el tiempo de estadio de 2.26 días (Escobedo, 1997). Esto permite la dilución y el recambio de agua de la laguna, además de que los sedimentos ayudan a la captura de nutrientes (Ayala, 2008; Leal y otros, 2007 y Escobedo, 2010), pero el constante vertimiento de estos disminuye la capacidad de adsorción.

En drenes Escobedo - Urías 2010 reporta las concentraciones más altas de PID en septiembre y noviembre del año 2006 que relaciona con la misma temporada de fertilización y al factor de remineralización influenciada por las temperaturas altas.

Se ha verificado que Topolobampo cuenta con la presencia de una gran cantidad de aportes de ortofosfatos (Escobedo, 2010), observando concentraciones de fosfatos elevadas (3.43  $\mu$ M en promedio) en las tres lagunas en época cálida (Ayala, 2008), mientras que para valores mínimos de ortofosfatos se presentaron en época invernal con un rango de 0.09 a 0.5 mg/L (Méndez y Escobedo, 2007). El INAPESCA reportó valores de 0.07 mg/L tanto para fosfatos como Fósforo Total en el estudio de la calidad del agua en las tres lagunas costeras (Romero, 2014).

## Compuestos Nitrogenados

Se realizó el estudio de diferentes compuestos que contienen nitrógeno, los cuales resultaron para el Amonio en ausencia, para algunas estaciones, un máximo de 0.21 mg/L y en promedio 0.029 mg/L, comparado con Escobedo - Urías (1997) el rango es menor, pero también encontrando los valores máximos encontrados en el verano, atribuyéndoselo a la remineralización vinculada con OD y pH, mientras que en el caso de los nitritos que son los compuestos más inestables según Escobedo - Urías (2010) y Ayala (2008) por la transición del amonio a nitratos, se obtuvo un máximo de 0.049 mg/L y en promedio 0.0033 mg/L, en comparación con Escobedo - Urías (1997) el rango también es menor como el amonio. En el caso de los nitratos Escobedo - Urías (1997) presentó rangos de < 0.05 a 0.26 mg/L para nitratos, mientras que en este trabajo resultó un mínimo de 0.0022, máximo de 0.365 y en promedio 0.030 mg/L, estas altas concentraciones se atribuyen a los agroquímicos y parte de las aguas residuales urbanas descargadas (Escobedo, 2010), siendo los compuestos nitrogenados con el valor más alto de los máximos reportados.

El amonio tuvo pocas variaciones en los meses más calurosos desde abril 2016 hasta marzo 2017 se comportó con un promedio de 0.029 mg/L, las ligeras variaciones de incremento a inicios y finales del estudio, se puede atribuir a la actividad biogeoquímica (Ayala, 2008). La disminución temporal con un cambio en el mes de octubre se debe a la época de fertilización y de lluvias las cuales aportan por arrastre especies nitrogenadas y Materia Orgánica que contiene Amonio para su debida transformación (Escobedo, 1997 y Ayala, 2008).

Aunado a los aportes de aguas residuales y drenes agrícolas Escobedo - Urías (2010) menciona el aporte por las actividades acuícolas que reducen el OD y aportan nutrientes, SST alterando el pH y salinidad de zonas aledañas, los aportes atmosféricos (algunos en forma de NOx) son una fuente importante de contaminación en ambientes costeros con hasta un 40% de N incorporado, en el caso de la bahía y el puerto de Topolobampo los aportes se deben a la caída de las cenizas de la petroquímica de PEMEX y la termoeléctrica de CFE y fertilización aérea (SEMAR,s.f.).

## Relación Materia Orgánica Particulada – Oxígeno Disuelto

Para la Materia Orgánica Particulada resultó un mínimo de 0.69 mg/L, un promedio de 9.07 mg/L y un máximo de 32.8 mg/L, mientras que el mínimo resultado de OD fue de 2.5 mg/L, en promedio 6.6 mg/L y un máximo de 11.68 mg/L, la época de primavera y parte de otoño fueron las épocas de máximos de OD por una alta productividad.

Las estaciones 2 y 8 presentaron valores de hipoxia, esto puede ser debido a la gran cantidad de MOP presente lo cual concuerda con la estación 8 la cual fue una de las estaciones más variables con valores máximos (Gráfico No. 4) en la temporada de muestreos (Goyenola, 2007) coincidiendo con el Gráfico No.7 de Oxígeno Disuelto que presenta la distribución contraria a la del Gráfico No.4 por el consumo de OD para degradar MOP, coincidiendo a su vez con la época de lluvia en donde incrementan los aportes terrestres por arrastre.

La época de fertilización empieza cuando la época de lluvias se retira, esto afecta directamente el incremento de nutrientes, la presencia de MOP y desciende valores de OD para la degradación y oxidación de estos (Escobedo, 1997), mostrando dicho comportamiento en los gráficos 4 y 7, reportado también por Ayala (2008) quien asevera que se tiene una relación de aumento de MO con disminución de OD, principalmente en zonas de drenes, manglares y de pérdida de Nitrógeno por la desnitrificación; emitiendo resultados de 17.9 mg/L en la bahía de Ohuira, 11.36 mg/L en SM y 10.88 mg/L en Topolobampo, haciendo presente esta conclusión también por Romero (2014) que describe en general a las lagunas costeras de Sinaloa, las cuales presentan una estrecha relación entre MO, Nitrógeno y Fósforo totales y limos en sedimentos (Romero, 2014), junto con aguas residuales.

## Potencial de Hidrógeno

el mínimo de pH reportado para los muestreos de abril 2016 a marzo 2017 fue de 7.29, en promedio un valor de 8.1 y un máximo de 8.74 unidades de pH. A pesar de que las estaciones que rebasan el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (estación 8 en los meses de septiembre, diciembre y febrero; estación 9 en junio, septiembre y diciembre; estación 10 en los meses de mayo, octubre y marzo justo en el LMP, mientras que noviembre y diciembre fue mayor) (SEMARNAT, 2003), se puede dar la razón del aumento de pH por

sustancias carbonatadas, la presencia de bicarbonatos y elementos como Se, Co, U, As y Hf efectuando cambios en pH y salinidad (Leal y otros, 2007), además lo citado por Escobedo - Urías (1997). En cuerpos lagunares costeros es normal que la variación de pH sea de 6.5 a 9.5, notando una tendencia hacia el lado alcalino por la formación de carbonatos y bicarbonatos, aseveración que respalda Leal (2008).

Se tuvieron descensos significativos en los meses de octubre y noviembre, que es la época de lluvias y entran los procesos de productividad (Ayala, 2008 Y Romero, 2014).

El promedio reportado es menor en comparación a lo descrito por Ayala Rodríguez (2008), pero presenta el máximo similar a los promedios escritos por Ayala.

## Salinidad

Se obtuvieron valores de salinidad con un mínimo de 7.68 UPS, promedio de 33.62 UPS y un máximo de 39.00 UPS.

Comparando la tendencia que Escobedo - Urías (2010) reporta se puede catalogar como similar a la de 2000 – 2007 y el presente trabajo, y que ha ido incrementando la salinidad desde 1997 hasta la fecha (Escobedo, 1997), a pesar de la variabilidad que presentan las lagunas costeras por los aportes dulceacuícolas (terrestres o atmosféricos) que alteran el nivel y salinidad del cuerpo se notan bien definidas las variaciones temporales de la época cálida (junio a septiembre) y la fría (octubre a febrero), relacionando la primer época con los valores altos por la evaporación causada por altas temperaturas y la baja de salinidad por los aportes pluviales que en Topolobampo figuran como 2, 200 mm de agua (Romero, 2014). La aportación de los drenes disminuye la salinidad en la bahía, mientras que los de camaronicultura los incrementa (Osuna y otros, 1998 y Escobedo, 2010).

Los CECA son más cerrados en cuanto al rango normal de salinidad en comparación con el manual de Ecología Microbiana de Deyá, varias estaciones están por debajo y rebasan significativamente el rango del CECA, todas están por encima de 35 ppm (CCA, 1989), mientras que sólo las estaciones 1 y 2 en el mes de febrero tienen una salinidad bastante baja, y las estaciones 11 y 12 en el mes de julio están por arriba de los 38 UPS. De acuerdo con esto algunos estudios reportan valores promedio de 34.18 UPS en la bahía de Ohuira y un mínimo de 30 UPS (Méndez y Escobedo, 2007), mientras que en Topolobampo se tienen los valores más elevados de las tres lagunas del sistema, calificando como

hipersalino (Ayala, 2008), así mismo lo considera Escobedo - Urías comparando Topolobampo con Navachiste, y deduciendo el exceso de salinidad por el aporte de agua residual (Escobedo, 2010).

### Sólidos Suspendidos Totales

El mínimo de SST para este estudio fue de 4.90 mg/L, el promedio de 32.61 mg/L y el máximo de 121.93 mg/L, tanto el promedio como el valor máximo exceden por mucho al límite establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 junto con la NOM-003-SEMARNAT-1996, las cuales concuerdan con 20 mg/L (SEMARNAT, 1998 y SEMARNAT, 2003), a excepción de las estaciones 1 y 2 en el mes de febrero con los valores menores a 10 mg/L. Si se aplica el LMP de la NOM-003-SEMARNAT-1997 para contacto indirecto, la mitad de las estaciones cumplen el límite en algunos meses (SEMARNAT, 1998). Si se sigue la comparación con el semáforo de la calidad del agua de CONAGUA de 25 a 75 mg/L, la cual es considerada como buena, la gran mayoría de las estaciones entran en dicha categoría, excepto las estaciones 8, 9 y 10, que rebasa levemente el límite, la estación 9 y 10 teniendo los valores máximos en los meses de abril y febrero, pero aun considerando una calidad aceptable ya que el máximo de 120 mg/L de la estación 9 en febrero no rebasa los 150 mg/L considerados por el semáforo de CONAGUA (CONAGUA, 2017).

### Temperatura

Uno de los factores físicos más importantes en el estudio de las lagunas costeras es la temperatura, ya que establece el comportamiento y modifica las variables de otros factores fisicoquímicos dentro del sistema, influyendo directa e indirectamente en los organismos que habitan el ecosistema (Escobedo, 1997).

Para el estudio realizado de abril 2016 a marzo 2017 se obtuvo un mínimo de 18.70, un promedio de 27.47 y un máximo de 35 °C.

En el gráfico No. 12 se logra ver una diferencia temporal (cálida y fría) que comprueba la homogeneidad de los datos comparados con Escobedo Urías (1997), con valores normales en cada temporada (Ayala, 2008).

En el caso de Ayala Rodríguez (2008), describe que el incremento de la temperatura del agua puede deberse a una gran cantidad de SST existentes en la bahía provenientes de aportes de agua residual aunado con los procesos de degradación (MOP + microorganismos = energía + Oxígeno).

A pesar de que existe una termoeléctrica en la zona de Topolobampo, no se encontraron afectaciones aparentes en la temperatura del agua de la bahía (SEMAR, s.f.).

### Transparencia

La Bahía de Ohuira es cuerpo receptor de descargas de agua residual y drenes agrícolas (Ayala, 2008 y Romero y otros, 2014), lo cual se relaciona con valores bajos de transparencia reportados por Ayala, quien reportó los mínimos en época de fertilización, y comparando con lo especificado por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, para la protección de la vida acuática en áreas costeras y la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) se considera como una buena penetración de luz (Ayala, 2008). Con profundidad de entre 3 y 4 m según Ayala Rodríguez (2008), y dos metros más en el promedio reportado en INAPESCA (Romero y otros, 2014).

## CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de establecer un diagnóstico de la calidad del agua de la bahía de Ohuira con la herramienta del Índice de la Calidad del agua Bacteriológico y Fisicoquímico (IQBP) mediante el cual se obtuvo un resultado de 67 puntos, clasificación B, siendo generalmente satisfactoria para la mayoría de los usos, y de acuerdo con esta categoría el agua de la bahía presenta características aptas para la vida acuática. Pero siendo limitativo para otras medidas que se tomaron en cuenta conforme a datos históricos (desde 1997), de los cuales se cuenta con bastante evidencia de diferentes contaminantes presentes que no se toman en cuenta en el IQBP, por lo que el resultado del índice es insuficiente para la importancia y tamaño de la bahía.

La calidad del agua resultante se debe en gran parte a la reducción de impactos por la dinámica de la laguna, como lo explica Escobedo Urías (2010), por procesos biogeoquímicos y sobre todo a la actividad de los manglares, que actúan como captadores de contaminantes y reducen su concentración.

A pesar de que la bahía de Ohuira y lagunas colindantes cuentan con un sistema de amortiguamiento y tiempo de residencia relativamente bajo (2.26 días en el caso de Ohuira), las altas concentraciones y presencia de diversos contaminantes en la laguna costera confirman los antecedentes de eutrofización.

La deposición de contaminantes en sedimentos, los cuales no fueron estudiados, pero se tomó en cuenta con referencias bibliográficas para aportar un mayor panorama al estudio, y de acuerdo con estos se revela una gran concentración de plaguicidas, materia orgánica, compuestos nitrogenados, fosfatados y también metales pesados. Teniendo relación con la columna de agua estudiada y resultados presentes a excepción de los metales pesados. Parámetros, que como recomendación deberían estudiarse más a fondo, para tener una mayor perspectiva de la calidad de toda la bahía de Ohuira, sus afectaciones y cómo poder disminuirlos.

La metodología se llevó a cabo mediante los estándares requeridos y los parámetros establecidos en el desarrollo de la técnica del IQBP, en cuanto a los parámetros determinados que cayeron dentro de lo normal de estándares de calidad del agua costera o marina fueron la salinidad, DBO5, pH y temperatura. Para el resto se obtuvo una variación

importante, como es el caso de la clorofila a, la cual se vio en aumento cada año hasta el estudio presente, cuyos valores se relacionaron directamente con el incremento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) empeorando el estado trófico de la bahía y confirmando el estado de eutrofización y la aparición de Proliferaciones Algales Nocivas.

Para el caso de los compuestos fosfatados se encontró un incremento del doble de concentración comparado con datos históricos; principalmente en agroquímicos, algunos de los cuales presentan características de toxicidad, como lo presenta Osuna (1998) tipificándolos como sustancias peligrosas. El uso de estos productos químicos ya tiene consecuencias evidentes en el desarrollo de la camaronicultura, en cuyas especies se han encontrado altas concentraciones de plaguicidas.

Al igual que los compuestos fosfatados, los compuestos nitrogenados presentan un foco rojo en la calidad del agua por su alta concentración, siendo en específico los nitratos. Derivados también por productos químicos utilizados en la agricultura.

El OD se presentó normal, teniendo algunos puntos de hipoxia, lo cual está relacionado con la materia orgánica que compete con la transparencia, así como los SST que son mayores a los descritos en los LMP de la normatividad vigente.

En la laguna intervienen múltiples variables que afectan directa e indirectamente la calidad del agua y por ende la vida de las especies que habitan la zona.

Jerarquizando las actividades (de mayor a menor) que afectan a la bahía son:

1. La agricultura con los drenes que llegan a la bahía sin ningún tratamiento previo y además la fertilización aérea, que con la precipitación se forman compuestos fosforados que terminan en la bahía.
2. Urbanización, con descargas de agua residual en la mayoría sin tratamiento previo y mal manejo de residuos sólidos urbanos.
3. Acuicultura, específicamente las granjas de camarón y peces comerciales, que incrementan los nutrientes de la bahía, y también se ven afectados por la calidad de esta, en específico por plaguicidas.

Desde el año 2000 a la fecha se han incrementado los avistamientos de las proliferaciones algales nocivas, lo que se relaciona directamente con la decadencia en la calidad del agua y un incremento de nutrientes. Esto afecta de manera importante al municipio de Ahome

por las actividades que se realizan en la zona. Por lo que algunos usos del agua de los puntos más contaminados de la bahía pueden verse afectados directamente a las especies que habitan en el sitio, la salud humana de los pobladores más cercanos, su economía y el turismo.

## ANEXOS

### ANEXO 1

*Figura 31 Clasificación del tipo de calidad de agua obtenida por el IQBP.*

---

#### **Niveles del IQBP:**

---

**A (80-100):** agua de buena calidad en general para todos los usos, incluyendo natación.

---

**B (60-79):** la calidad del agua generalmente es satisfactoria para la mayoría de los usos.

---

**C (40-59):** agua de calidad dudosa, algunos usos pueden verse comprometidos.

---

**D (20-39):** mala calidad del agua, la mayoría de los usos pueden verse comprometidos.

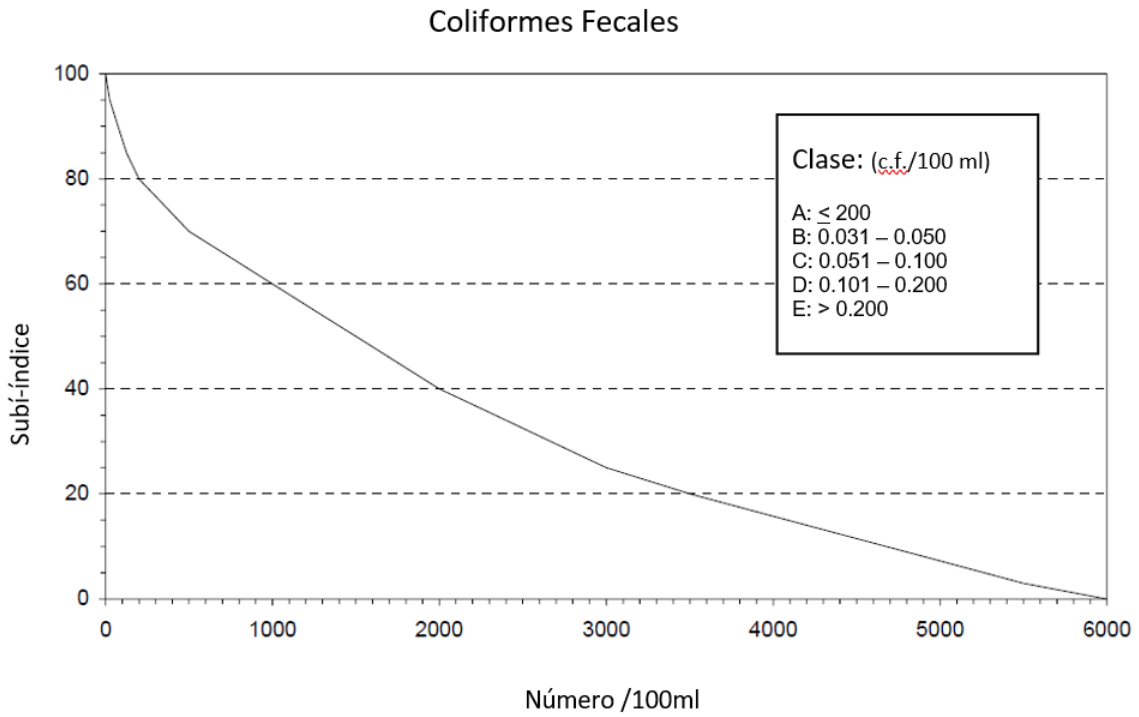
---

**E (0-19):** agua de muy mala calidad, todos los usos pueden verse comprometidos.

---

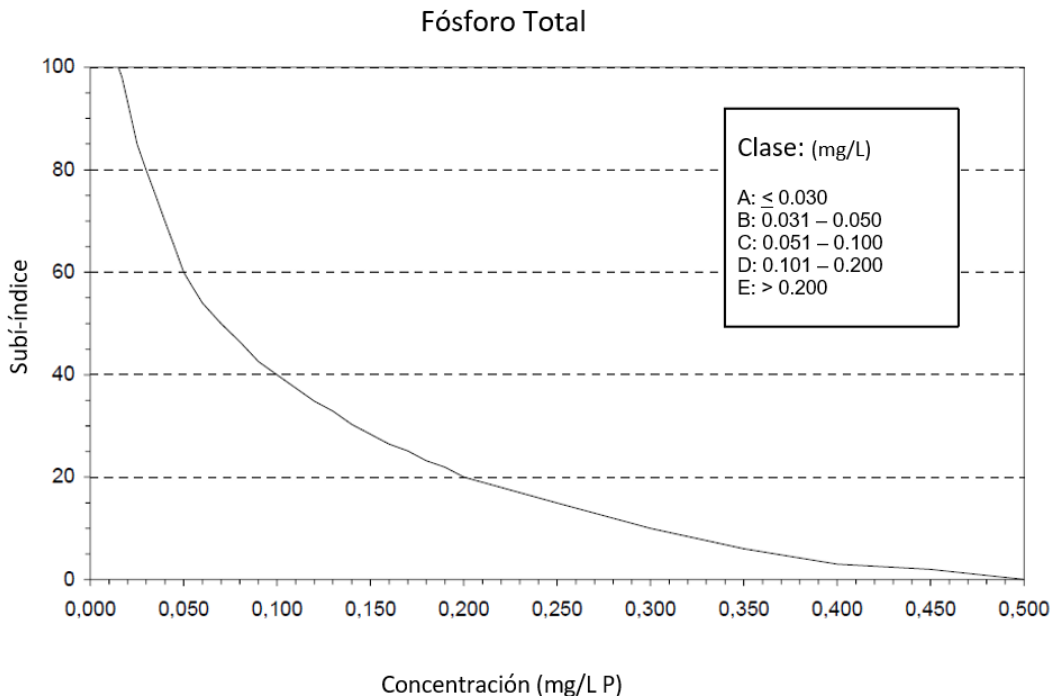
*Fuente: (Hébert, 1997).*

Figura 32 Gráfica de IQBP para coliformes fecales



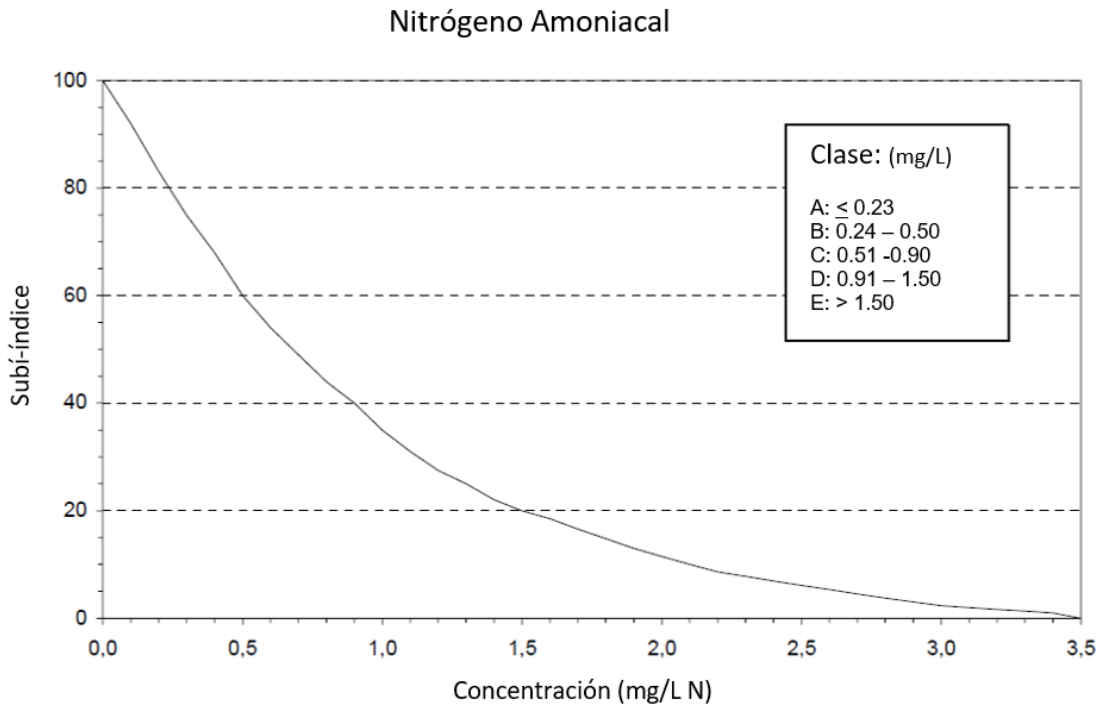
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 33 Gráfica de IQBP de Fósforo Total



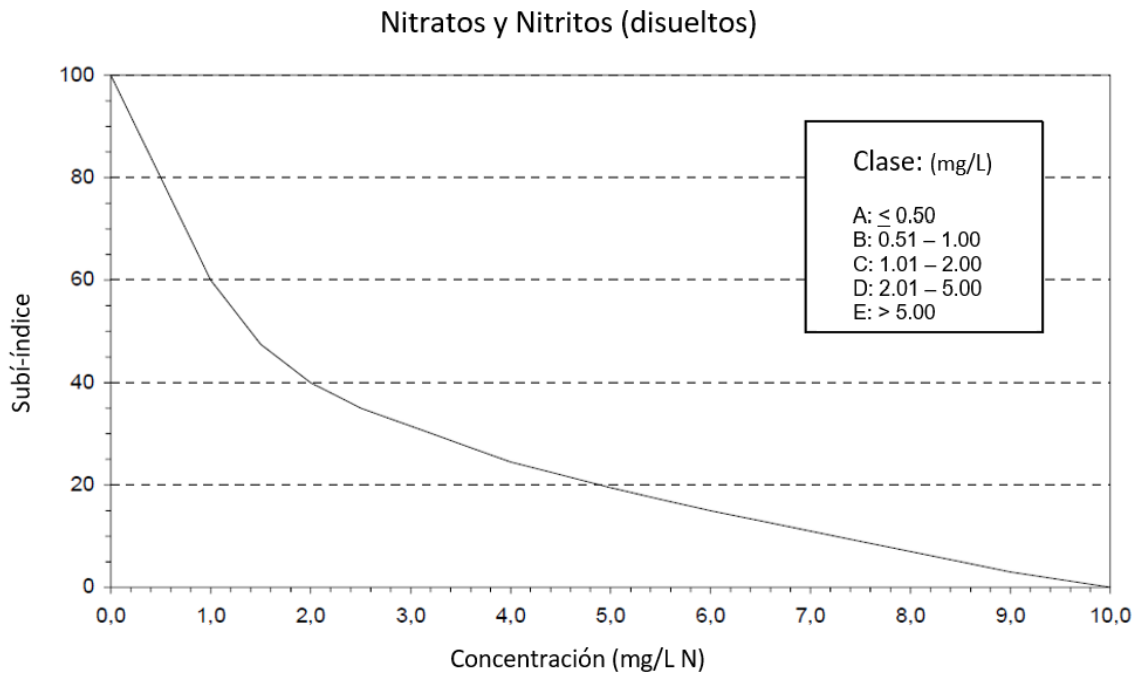
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 34 Gráfica de IQBP de Nitrógeno Amoniacal.



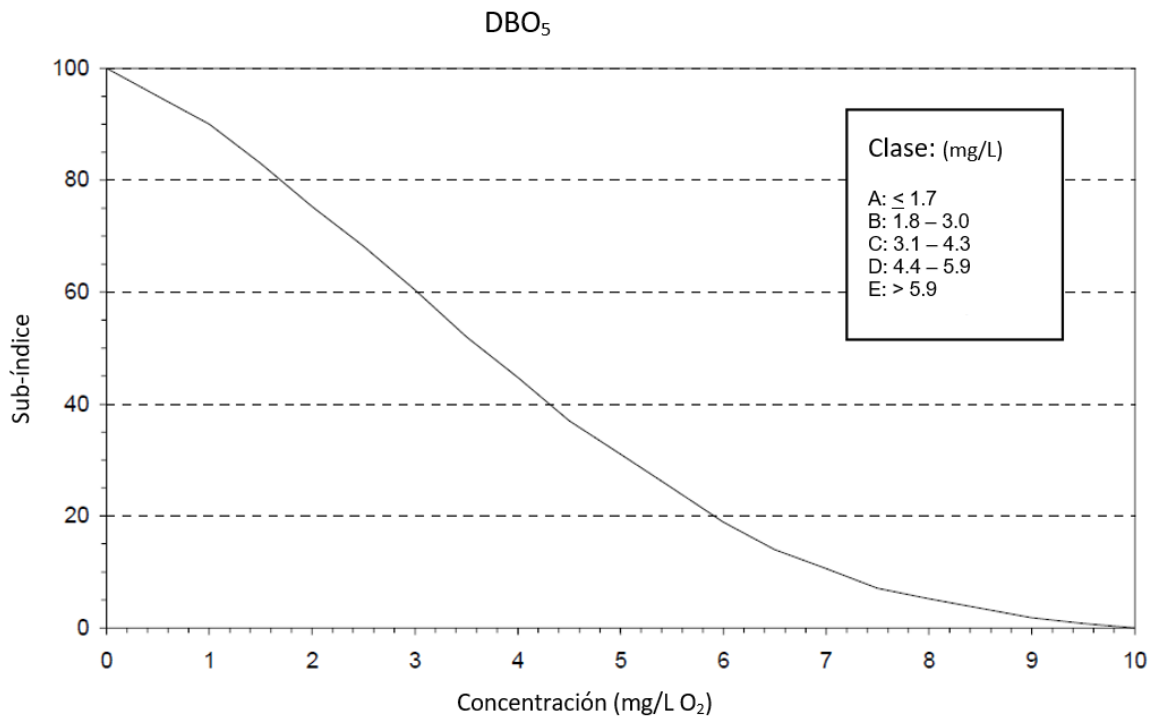
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 35 Gráfico de IQBP de Nitritos y Nitratos



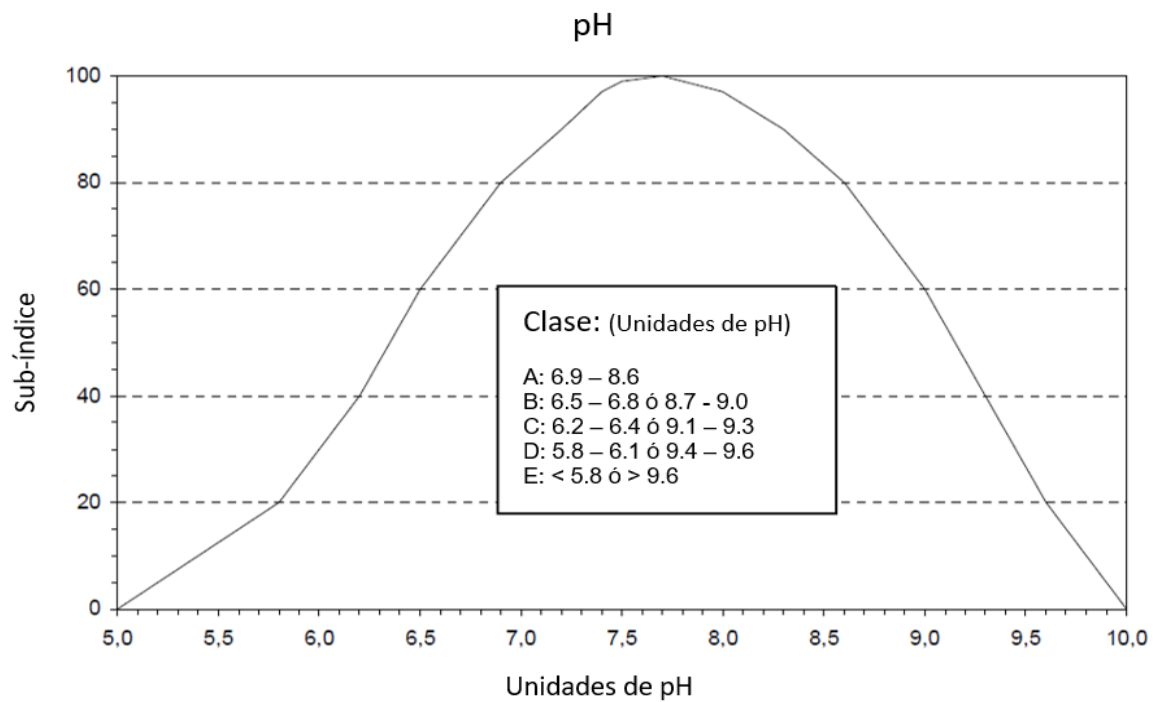
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 36 Gráfico de IQBP de DBO5



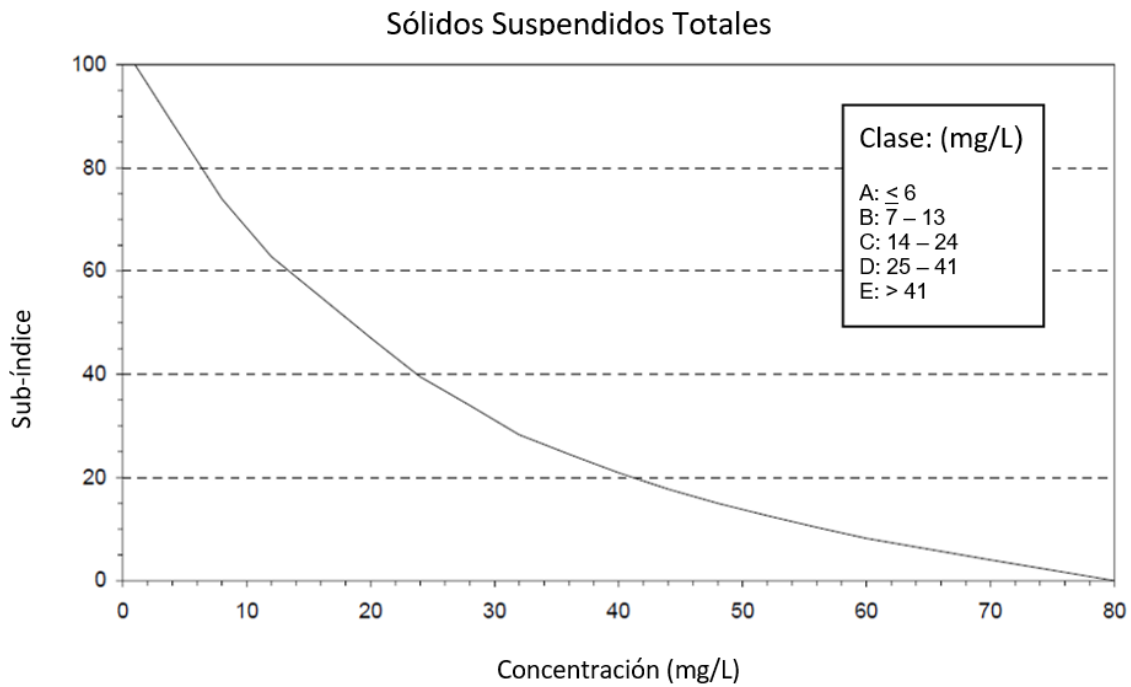
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 37 Gráfico de IQBP de pH



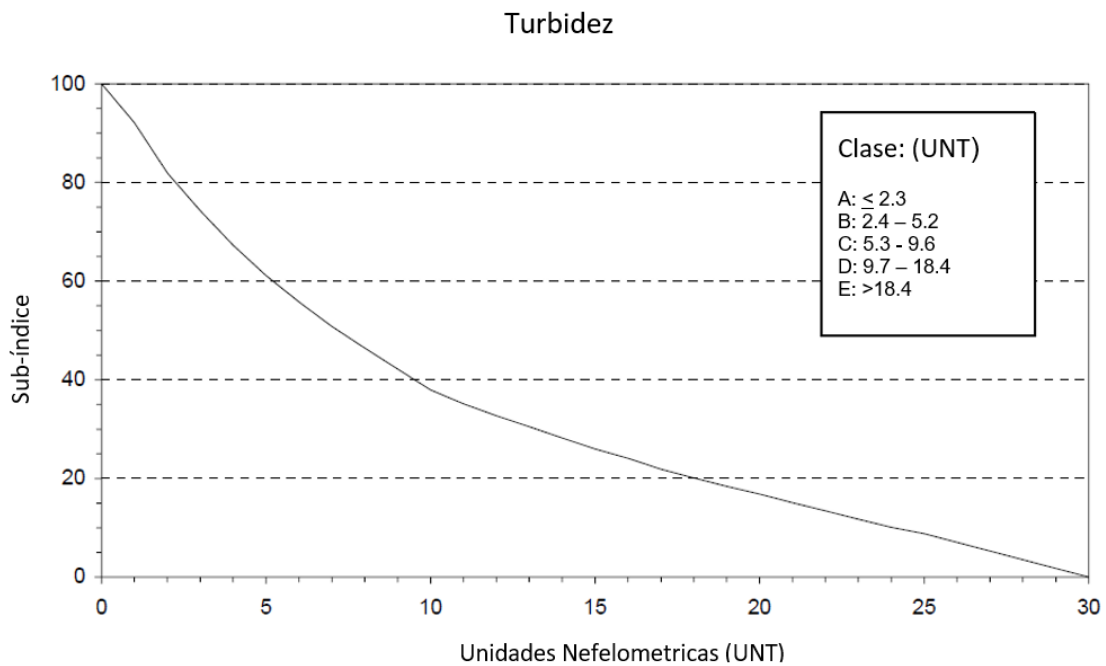
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 38 Gráfico de IQBP de Sólidos Suspendidos Totales



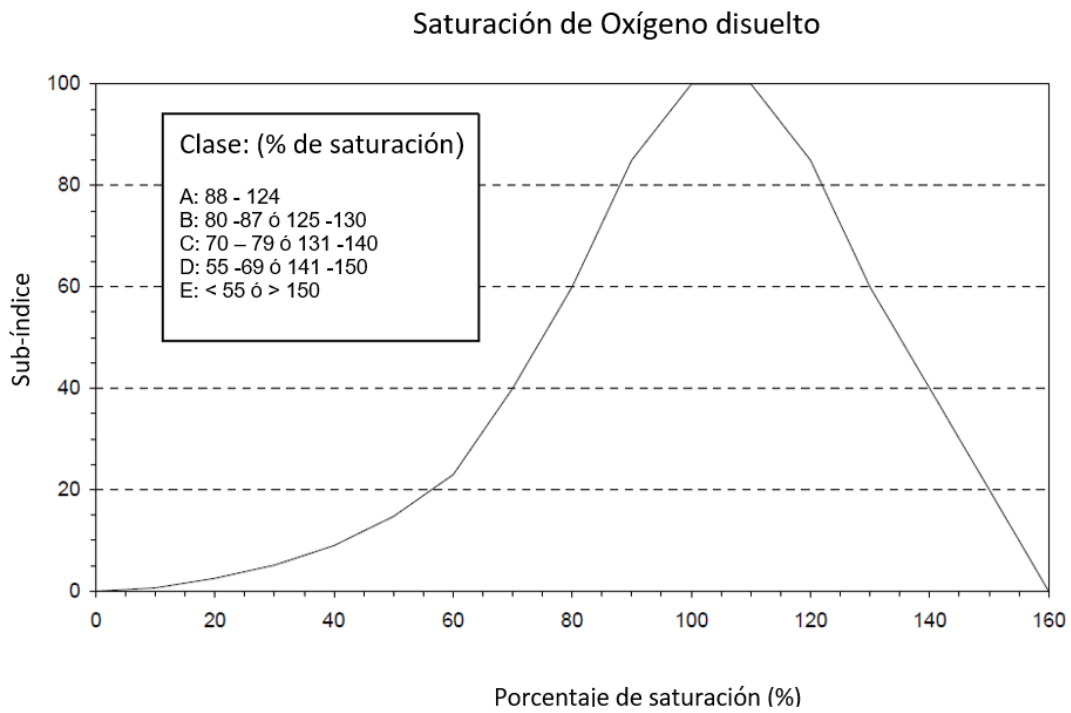
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 39 Gráfico de IQBP de Turbidez



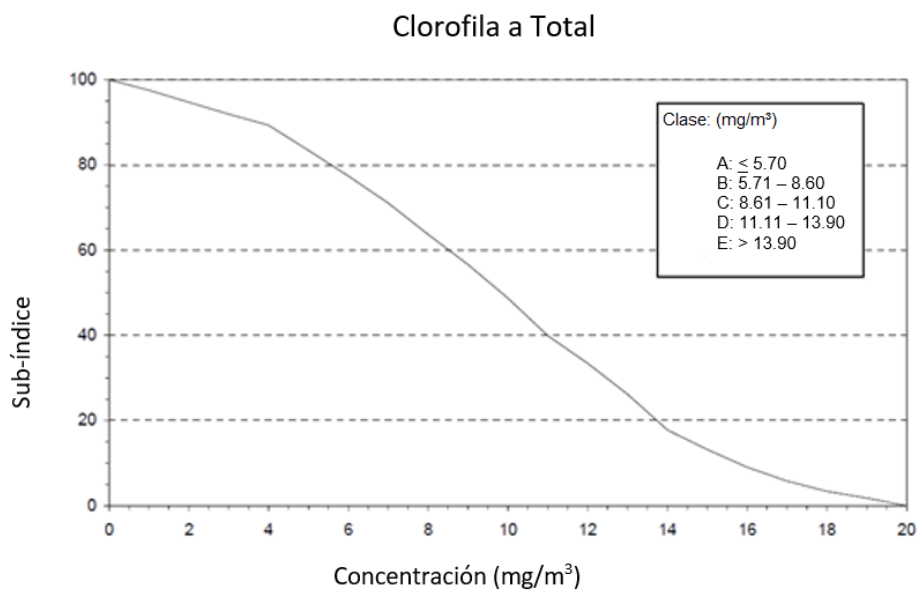
Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 40 Gráfico de IQBP de Saturación de oxígeno disuelto.



Fuente: (Hébert, 1997).

Figura 41 Gráfico de IQBP de Clorofila a Total



Fuente: (Hébert, 1997).

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Velázquez, J. y A. D. Vázquez-Lule. Caracterización del sitio de manglar Isla Santa María – Topolobampo – Ohuira, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.
- Aguilar Rosas Raúl, Ochoa Izaguirre Ma. Julia, Aguilar Rosas Luis E., Tovalín Hernández Omar A., Páez Osuna Federico. (2009). Nuevos registros de macroalgas marinas para el estado de Sinaloa. Polibotánica, 28.
- Álvarez-Arellano, A. D. y J. Gaitán Morán. 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Geología. pp 13-74. En: G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds). Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. UNAM-UABCS, 525 p.p.
- Amado Pool Nelson. (2 de febrero 2010). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) - Versión 2006 - 2008. Corporación Nacional Forestal (CONAF), 2006 - 2008, 12. 14 de agosto 2017. Sitio web: [http://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1368204975FichaSitioRamsar\\_SoncorSalarAtacama\\_2010.pdf](http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368204975FichaSitioRamsar_SoncorSalarAtacama_2010.pdf).
- Andreo Marisa. (s.f.). Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O). 22 de junio 2017, de Breve Enciclopedia del Ambiente del Centro Científico Tecnológico Mendoza Sitio web: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/DBO.htm>. Obtenido de: FERRERO, J.M.,1974. Depuración Biológica del agua. De. Alhambra.
- API Topolobampo. (24 de febrero de 2014). Youtube. Obtenido de Puerto de Topolobampo, Sinaloa: <https://www.youtube.com/watch?v=Ybbe2nxGF80>.
- Aragón Cavaller José Ramón. (Marzo, 2014). Transparencia y colores de las aguas. 22 de marzo 2017, de Boletín especial del Día Mundial del Agua Sitio web: <https://fnca.eu/images/documentos/DOCUMENTOS/Jos%C3%A9%20R.Arag%C3%B3n.pdf>.

- Ayala Rodríguez Germán Aarón (2008). Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del sistema lagunar Topolobampo – Ohuira – Santa María. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR).
- Bances Ugaz Sergio. (s.f.). Marea Roja. 25 de agosto 2018, de Instituto del Mar del Perú Sitio web: <http://www.imarpe.gob.pe/chiclayo/Mareas%20Rojas/Mareas%20Rojas.htm>.
- Bergman Jennifer. (2001). Salinidad. 3 de octubre de 2017, de Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra Sitio web: <https://www.windows2universe.org/earth/Water/salinity.html&lang=sp>.
- Betanzos Vega Abel, Capetillo Piñar Norberto y Lopeztegui Castillo Alexander. (2011). Variaciones de la turbidez en aguas marinas costeras de la región norcentral de cuba. 11 de junio de 2018, de UNACAR TECNOCENCIA Sitio web: [http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia\\_julio\\_dic11/tema\\_2\\_variaciones\\_de\\_la\\_turbidez.pdf](http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_julio_dic11/tema_2_variaciones_de_la_turbidez.pdf).
- Calleros Rincón Esperanza Yasmín, Alarcón Herrera María teresa, Morán Martínez Javier, Cueto Wong José Antonio, Pérez Morales Rebeca y Sanin Luz Helena. (2012). Caracterización de una zona contaminada por nitratos y su impacto en la salud humana. En Género, Ambiente y Contaminación por sustancias químicas. (35-54). México: SEMARNAT, INECC.
- Campos Pinilla Claudia. (2003). Indicadores de contaminación fecal. 30 de enero 2018, de: Agua Potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas Capítulo 20. Universidad Autónoma del Estado de México Sitio web: [http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_20.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf).
- Casanova, R. y M. Zambrano. 2012. Generalidades de la costa Pacífica colombiana. Pp 23 - 36. En: DIMAR-CCCP.2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima – Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp.

- CCA. (13 de diciembre de 1989). Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CD-CCA-001/89. México, Distrito Federal: Diario Oficial de la Federación (DOF).
- CCA. (1992). NORMA MEXICANA NMX-AA-42-1987. CALIDAD DEL AGUA - DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y ESCHERICHIA COLI PRESUNTIVA. México, Distrito Federal: Diario Oficial de la Federación.
- Chang Gómez José Vicente. (2009). Parámetros ambientales básicos agua de mar. 18 de agosto 2018, de Escuela Superior Politécnica del Litoral Sitio web: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/23/Par%C3%A1metros%20ambientales%20b%C3%A1sicos%20agua%20de%20mar.pdf>.
- Cifuentes Lemus Juan Luis, Torres García María del Pilar y Frías M. Marcela. (1997). Capítulo IV. La luz, el calor, y la transparencia en el océano. Tomo III Las ciencias del mar: Oceanografía física, matemáticas e ingeniería. México: Fondo de Cultura Económica.
- Cifuentes Lemus Juan Luis, Torres García María del Pilar y Frías M. Marcela. (1997). Capítulo XII. Propiedades químicas del agua de mar: salinidad, clorinidad y pH en El océano y sus recursos. Tomo II Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. México: Fondo de Cultura Económica.
- Cifuentes Lemus Juan Luis, Torres García María del Pilar y Frías M. Marcela. (1997). Capítulo XIII. Los ciclos químicos en el océano. Tomo II Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. México: Fondo de Cultura Económica.
- Cifuentes Lemus Juan Luis, Torres García Pilar y Frías M. Marcela. (1995). Capítulo III. La temperatura en el mar en El océano y sus recursos Tomo III. Las ciencias del mar: Oceanografía física, matemáticas e ingeniería. México: Fondo de cultura económica.

- COFEPRIS. (2017). Infografía de la Marea Roja: Peligro de Intoxicación. 17 de noviembre 2018, de Centro Nacional de Prevención de Desastres Sitio web: <http://cvoed.imss.gob.mx/wp-content/uploads/2017/06/301-INFOGRAFAMAREAROJA.pdf>.
- CONABIO .(2013). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación. 10 junio de 2017, de CONABIO Sitio web: [https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/pdf/lista\\_sitios.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/pdf/lista_sitios.pdf).
- CONABIO. (2018). La diversidad biológica de México. 20 de noviembre 2018, de CONABIO Sitio web: [www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion\\_internacional/doctos/db\\_mexico.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/db_mexico.html)
- CONABIO. (2018). Peces y mariscos comerciales. 12 de octubre 2018, de CONABIO Sitio web: [https://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/alimentacion/peces/index.php/peces/result\\_ado?nombre\\_comun=&nombre\\_cientifico=&grupo=&zona=2](https://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/alimentacion/peces/index.php/peces/result_ado?nombre_comun=&nombre_cientifico=&grupo=&zona=2).
- CONABIO. (s.f.). 19. BAHÍA DE OHUIRA - ENSENADA DEL PABELLÓN. 6 de enero de 2019, de CONABIO Sitio web: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_019.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_019.html).
- CONAGUA. (2017). Datos de calidad del agua. 4 de febrero de 2018, de Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Nacionales de CONAGUA Sitio web: <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/red-nacional-de-monitoreo-de-la-calidad-de-las-aguas-nacionales>.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). 2014. Áreas naturales protegidas del estado de Sinaloa. 24 de noviembre 2018, de CONACyT. Sitio web: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/anpl/sinaloa#page>.
- "Contreras - Espinosa Francisco, Castañeda - López O. y García - Nagaya A.. (1994). La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras

mexicanas. 12 de enero de 2018, de Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) Sitio web: <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1994-1-2/articulo438.html>.

Basado en: CARLSON, R. E., Limnol. Oceanogr., A trophic state index of lakes. 1977 361-368 22 (2).

- Contreras E. Francisco., & Castañeda L.Ofelia. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. Revista ciencias, UNAM, 11.
- CWT. (2004). Turbidity Fact Sheet. 14 de noviembre 2018, de Clean Water Team (WCT) en: The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment, Version 2.0. Division of Water Quality, California State Water Resources Control Board (SWRCB), Sacramento, CA.” Sitio web: [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3150en.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3150en.pdf).
- De la Lanza Espino G., Flores Verdugo F.J., Hernández Pulido S.y Penié Rodríguez I. (2011). Concentración de nutrientes y proporción C:N:P en sedimentos superficiales de un complejo lagunar costero tropical afectado por escurrimientos agrícolas. 30 de marzo de 2018, de Instituto de Biología. Laboratorio de Hidrobiología. Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v27n2/v27n2a4.pdf>.
- Díaz - Gaxiola, J. M., Martínez, G. E., & Ruiz, R. M. (2012). Biodiversidad de macroinvertebrados asociados al ecosistema de manglar de la bahía de Ohuira y Topolobampo, Sinaloa, México. En C. d. Mexicanas, Recursos Naturales y Sistemas Productivos (págs. 21 - 56). Guasave: Universidad Autónoma Indígena de México y Universidad de Occidente.
- DOF. (1981). NMX-AA-074-1981 ANALISIS DE AGUA – DETERMINACION DEL ION SULFATO. México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (1992). NORMA MEXICANA NMX-AA-75-1982 ANALISIS DE AGUA- DETERMINACION DE SILICE. México: Diario Oficial de la Federación.

- DOF. (1994). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-112-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES. TÉCNICA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE. México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2001). NMX-AA-079-SCFI-2001. ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE NITRATOS EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2008). PROYECTO DE NORMA MEXICANA PROY-NMX-AA-029/1-SCFI-2008 ANÁLISIS DE AGUA. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. MÉTODO DE PRUEBA. México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2011). NORMA MEXICANA NMX-AA-154-SCFI-2011 ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO DE NITRITOS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES, RESIDUALES TRATADAS Y MARINAS– MÉTODO DE PRUEBA. México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2012). PROY-NMX-AA-160-SCFI-2011. ANALISIS DE AGUA- DETERMINACION DE NITROGENO AMONIACAL EN AGUAS SALINAS-METODO DEL FENATO. México: Diario Oficial de la Federación.
- Escobedo Urías Diana Cecilia (1997). Hidrología, nutrientes e influencia de las aguas residuales en la Laguna de Santa María, Sinaloa. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR).
- Escobedo Urías Diana Cecilia (2010). Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR).

- Escobedo Urías Diana, Hernández Real Ma. Teresa, Herrera Moreno Nancy, Ulloa Pérez Ana E. y Chiquete Ozono Yuri. (2011). Calidad bacteriológica del sistema lagunar de San Ignacio - Navachiste, Sinaloa. Ciencia y Mar, 9.
- FAO. (2012). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura Sostenible/ Materia orgánica y actividad biológica. Land and Water Digital Media Series 27Rev.1, 28. Obtenido de Materia orgánica y actividad biológica: [http://www.fao.org/aq/ca/Training\\_Materials/CD27-Spanish/ba/organic\\_matter.pdf](http://www.fao.org/aq/ca/Training_Materials/CD27-Spanish/ba/organic_matter.pdf).
- Fuentes Francisco y Massol - Deyá Arturo. (2002). Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico.
- GESAMP (Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/UNESCO/OMS/Naciones Unidas/PNUMA, sobre los Aspectos Científicos de la Contaminación e las Aguas de Mar). 1991. Informe del 21ª periodo de sesiones, Londres, 18 -22 de febrero de 1991. Inf. Estud.GESAMP. (44): 37p.
- González Free Diedra, Romero Miranda Fabiola, Martínez Aguilar Germán, Peñuelas Patricia, Barba Romero Luz Estela, González Y Pérez Enrique. (2010). Ahome. 11-09-2016, de H. Ayuntamiento de Ahome Sitio web: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM25sinaloa/index.html>.
- Goyenola Guillermo. (2007). Oxígeno Disuelto. 12 de octubre 2017, de Guía para la utilización de las Valijas Viajeras de la Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA Versión 1.0 Sitio web: [http://imasd.fcien.edu.u.y/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf](http://imasd.fcien.edu.u.y/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf). Obtenido de: EPA. 1997. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. <http://www.epa.gov/owow/monitoring/volunteer/stream/>.
- Goyenola Guillermo. (2007). Transparencia, color y turbidez. 12 de octubre 2017, de Guía para la utilización de las Valijas Viajeras de la Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA Versión 1.0 Sitio web: [http://imasd.fcien.edu.u.y/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf](http://imasd.fcien.edu.u.y/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf).

Obtenido APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington. 1265 pp.

- Griselda Capaldo y Cecilia Mantecón) Capítulo del libro "Contaminación Fluvial en el Derecho Internacional. Casos recientes en la práctica sudamericana", del Castillo de Laborde, Lilian (directora) y Claudia Gasol Varela (compiladora), ed. LA LEY, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales – Departamento de Publicaciones, - 1a ed. – ISBN 978-987-03-2497-3, CDD 346.046, SAP 41516609. Fecha de catalogación: 27/10/2011; Buenos Aires 2011, (pp. 161-188; total pp. 234); s/RN.
- Hébert, S., 1997. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec, Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq n° EN/970101, 20 p., 4 annexes.
- Icochea Salas Luis. (2007). VI. Temperatura, salinidad y oxígeno en el agua de mar. 7 de enero 2019, de Universidad Nacional Agraria la Molina Sitio web: <https://tarwi.lamolina.edu.pe/licochea/propiedad1.html>.
- IMPLAN. (2013). Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Ahome. Ahome, Sinaloa: Ayuntamiento de Ahome.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ahome, Sinaloa. 25/10/2018, de INEGI Sitio web: [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/25/25001.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/25/25001.pdf) tomado de: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1., INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Serie III Escala 1:250 000, INEGI. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie II.
- Iñón Norma. (2017). Ciclo del nitrógeno. Fijación biológica del nitrógeno. 22 de junio de 2018, de Universidad Nacional de San Martín Sitio web: <http://www.iib.unsam.edu.ar/archivos/docencia/licenciatura/biotecnologia/2017/QuimicaBiol/1495120476.pdf>.

- L. Oliver Smith, Jr y Stanley J. Cristol. (1970). Organic Chemistry. Reinhold Publishing Corporation, Nwe York: Reverté.
- Leal - Acosta María Luis, Rodríguez Meza G. Durga, Choumiline Evgueni y Sapozhnikov Dimitry. (2007). Estimación de Cu, Fe, Pb, Zn y As en sedimentos del sistema lagunar Ohuira - Topolobampo - Santa María, Ahome, Sinaloa. En Actas del Instituto Nacional de Geoquímica (131 - 137). Pachuca, Hidalgo, México: XVII Congreso Nacional de Geoquímica.
- Leal Acosta María Luisa. (2008). Caracterización geoquímica de los sedimentos del sistema lagunar Ohuira - Topolobampo - Santa María. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional - Unidad Sinaloa: Instituto Politécnico Nacional.
- Llanes Ocaña José Guadalupe. (2004). Presentación al Taller de Revisión del Estudio Relaciones entre Acuicultura y Salud Humana. 6 de enero 2019, de Recursos Hídricos del estado de Sinaloa Sitio web: [https://www.crc.uri.edu/download/25\\_26\\_Mzt\\_2004\\_Ocana\\_rev.pdf](https://www.crc.uri.edu/download/25_26_Mzt_2004_Ocana_rev.pdf).
- López Sebastián. (2018). PORCENTAJE DE SATURACION DE OXIGENO EN AGUA. 8 de enero de 2019, de SELOBU Sitio web: <https://sites.google.com/site/selobu/anuncios/porcentajedesaturaciondeoxigenoenaqua>.
- Manahan Stanley E. (2007). Introducción a la química ambiental. Barcelona: Reverté. Pp. 39 – 46.
- Martínez-López, A., C. Hakspiel-Segura, D. C. Escobedo-Urías, B. González-Acosta, 2017. Influence of agriculture and aquaculture activities on the response of autotrophic picoplankton in Laguna Macapule, Gulf of California (Mexico). Ecological Processes. 6, 6:1-11. DOI 10.1186/s13717-017-0074-8.
- Méndez Lozano Jesús y Escobedo Urías Diana Cecilia. (2007). Variabilidad estacional de la cantidad y calidad de los aportes continentales incorporados a los

sistemas costeros del norte de Sinaloa. Parte II: aguas superficiales. Sinaloa: CIIDIR- Sinaloa, IPN.

- Moreno Franco Daniela Paola, Quintero Manzano Jacqueline y López Cuevas Armando. (09 de noviembre de 2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Revista Contactos, No. 78, pp. 25 – 33.
- "Muñoz Sevilla Patricia y Escobedo Urías Diana Cecilia. (2004). Análisis de caso: Sinaloa. En Manejo costero en México (p.p. 367 - 384). Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX): Universidad Autónoma de Campeche Centro de Ecología.[https://www.researchgate.net/publication/308207579\\_Analisis\\_de\\_caso\\_Sinaloa](https://www.researchgate.net/publication/308207579_Analisis_de_caso_Sinaloa).
- NEGI. (s.f.). Clima. 20-05-2016, de INEGI Sitio web: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/sin/territorio/clima.aspx?tema=me&e=25>.
- Nicovita. (1998). EL DISCO DE SECCHI EN LA INTERPRETACIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA. Boletín nicovita, camarón de mar, 3 edición 11. De: Boyd, C.E. and C. S. Tucker. 1992. Water quality and pond soil analysis for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.183 pp.
- OMI. (2018). Basura marina. 28 de junio 2018, de Organización Marítima Internacional Sitio web: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/marinelitter/Paginas/default.aspx>.
- Ongley E.D. (1997). Capítulo 3.- Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua. Eutrofización de las aguas superficiales. En Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos(.). Canadá: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Sitio web: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>.

- Osuna Flores I. y Riva M. C. (2004). Plaguicidas organofosforados en camarones, sedimento y agua superficial de la Bahía de Ohuira, Topolobampo, Sinaloa, México. *Afinidad*, 61, 387 -392.
- Osuna Flores, Isabel; Galindo Reyes, José Guillermo; Riva Juan, María del Carmen. (1998) Resumen de la tesis doctoral "Efectos toxicológicos de plaguicidas organofosforados y organoclorados sobre camarones del género *Penaeus* sp en Sinaloa, México". *Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*, 1998, nº 114, p. 61-70.
- Peña Pulla Evelyn. (2007). Calidad de agua. Trabajo de investigación Oxígeno Disuelto (OD). 8 de enero 2019, de Escuela Superior Politécnica del Litoral Sitio web: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>.
- Perlman Howard. (2018). pH Water properties. 25 de junio de 2018, de Science for a changing world Sitio web: <https://water.usgs.gov/edu/ph.html>.
- Raffo Lecca Eduardo y Ruiz Lizama Edgar. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 17(1): 71-80 (2014) UNMSM ISSN: 1560-9146 (Impreso) / ISSN: 1810-9993 (Electrónico), 71 - 80.
- Ramírez Flores Oscar Manuel y Espejel Carbajal Iliana. (2003). Aguas residuales como fuentes de contaminación en las costas de América Latina y el Caribe. 13 de agosto de 2017, de La jornada Sitio web: <https://www.jornada.com.mx/2003/05/26/eco-b.html>.
- Ramsar. (1 de noviembre 2011). Lagunas de Santa María - Topolobampo - Ohuira. 05 de agosto 2017, de Ramsar Sites Information Service Sitio web: <https://rsis.ramsar.org/ris/2025>.
- REITEC. (s.f.). REITEC Servicios de Ingeniería. Obtenido de Turbidez: <http://www.reitec.es/web/descargas/aqua05.pdf>.

- Reyes Olivas Álvaro. (s.f.). Guía de usuarios de las islas de la bahía de Ohuira. 22 de agosto 2017, de CONABIO Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Inf%202%20R217.pdf>.
- Reyes Olivas Alvaro. (s.f.). Guía de usuarios de las islas de la bahía de Ohuira. 30 de junio de 2017, de CONABIO Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Inf%202%20R217.pdf>.
- Rincón Juan. (2018). Marea Roja. 11 de noviembre 2018, de Comisión para la Protección Contra Riesgos Sanitarios del Estado de Jalisco (COPRISJAL) Sitio web: <https://coprisjal.jalisco.gob.mx/riesgos-a-la-salud/marea-roja>.
- Robidart Julie. (2011). Nitrogen Cycling in the Open Ocean. 10 de enero 2019, de Biosensing Lagrangian Instrumentation and Nitrogen Cycling Systems Sitio web: <http://cmore.soest.hawaii.edu/cruises/biolincs/nitrogen.htm#top>.
- Roldán Pérez Gabriel y Ramírez Restrepo John Jairo. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Colombia: Universidad de Antioquia. Pp 15-187.
- Romero Beltrán Emilio, Aldana Flores Gabriel, Muñoz Mejía Ehecattl Manuel, Medina Osuna Pedro Miguel, Valdez Ledón Pedro, Bect Valdez Jesús A., Gaspar Dillanes Ma. Teresa, Huidobro Campos Leticia, Romero Correa Ahtziri, Tirado Figueroa Eduardo, Saucedo Barrón César Julio, Osuna Bernal Diego Armando y Romero Mendoza Nancy. (2014). Fichas técnicas de las lagunas costeras del Estado de Sinaloa, México, con énfasis en calidad de agua, flujo de nutrientes y estado trófico. Sinaloa, México: Instituto Sinaloense de Acuacultura y Pesca.
- Sanabria Suárez Doris. (2004). Fósforo total en agua por digestión ácida, método del ácido ascórbico. 2 de agosto de 2018, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Sitio web: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Total+en+Agu+a+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rbico.pdf/bf2f449b-4b9b-4270-b77e-159258d653e2>.

- Sargent Elizabeth. (2012). The marine nitrogen cycle. 4 de diciembre de 2018, de Words in mOcean. Marine Science Blog Posts and Features Sitio web: <https://wordsinmocean.com/2012/02/21/the-marine-nitrogen-cycle/>.
- Saturnino Díaz José, Reyes olivas Álvaro y Flores Campaña Luis Miguel. (s.f.). Plantas de las islas del norte de Sinaloa enlistadas en alguna categoría de protección. 23 de junio 2018, de CONANP Sitio web: <https://es.scribd.com/document/270864654/65-cartel-pdf>.
- Sawyer, C.N. and McCarty. Chemistry for Environmental Engineering (3rd ed), McGrawHill Book Company, New York, 1978.
- SCFI. (2001 a). NMX-AA-029-SCFI-2001-ANÁLISIS DE AGUAS- DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. México: Diario Oficial de la Federación.
- SCFI. (2001). ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. México, Distrito Federal: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- SCFI. (2001). Análisis de agua- Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. México: Diario Oficial de la Federación.
- SCFI. (2011). NMX-AA-154-SCFI-2011 Análisis de agua - Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas - método de prueba. México: Diario Oficial de la Federación.
- SCFI. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015 - ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y

RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. México: Diario Oficial de la Federación.

- SCFI. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua- Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli - Método del Número Más Probable en tubos múltiples. México: Secretaría de Economía.
- Secretaría de Marina (SEMAR). (s.f.). Topolobampo, Sinaloa. 13 de septiembre 2016, de SEMAR Sitio web: <https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioTopo.pdf>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Dirección General de Desarrollo Institucional y Promoción. Marzo 2012. Humedales Mexicanos inscritos en la convención RAMSAR (p.p. 14-17). 10 de agosto 2016, de SEMARNAT – CONANP. Sitio web: [https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe\\_12/compendio/archivos/01\\_biodiversidad/D3\\_BIODIV01\\_06.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_12/compendio/archivos/01_biodiversidad/D3_BIODIV01_06.pdf).
- SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2008, con base en: SEMARNAT, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, octubre 2005. SEMARNAT, Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 1a edición, CNA, México, 2007.
- SEMARNAT. (1998). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO. México, Distrito Federal: Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2003). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. México, Distrito Federal: Diario Oficial de la Federación.

- "SEMARNAT. (2006). DECRETO por el cual se aprueba el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California. Estados Unidos Mexicanos: Diario Oficial de la Federación. [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20decretados/actualizacion\\_2012/decreto%20dof%2029\\_no\\_v\\_2006.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20decretados/actualizacion_2012/decreto%20dof%2029_no_v_2006.pdf).
- SEMARNAT. (2014). Agua, Calidad. 4 de diciembre 2018, de SEMARNAT Sitio web: [https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe\\_resumen14/06\\_agua/6\\_2\\_1.htm](https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.htm). Tomado de: Conagua, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2013. México. 2014.
- SEMARNAT. (2014). Agua. Calidad. 15 de junio 2018, de SEMARNAT Sitio web: [https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe\\_resumen14/06\\_agua/6\\_2\\_1.html#inicio](https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html#inicio).
- SEMARNAT. (2015). La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y los riesgos por factores ambientales, emergencias y desastres. 15 de noviembre 2018, de SEMARNAT - COFEPRIS Sitio web: [https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/compendio\\_2015/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServletac55.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/compendio_2015/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletac55.html), con base en: COFEPRIS, Historia: la creación y desarrollo de la COFEPRIS, 2014, consultado en <http://www.cofepris.gob.mx/cofepris/Paginas/Historia.aspx> 12-11-2015. Secretaría de Salud, Programa de Acción Específico Protección contra Riesgos Sanitarios 2013-2018, Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), México, 2014, consultado en <http://www.cofepris.gob.mx/cofepris/Documents/QueEsCOFEPRIS/PAE%20180315.pdf>.
- SEMARNAT. (2018). Sistema de Información Geográfica para la Evaluación de Impacto Ambiental. 12 de agosto 2018, de SEMARNAT Sitio web: <http://mapas.semarnat.gob.mx/SIGEIA5e5PUBLICO/BOS/Bos.php#>.

- Spring . (2007). Microbiología de Agua: Coliformes, Coliformes fecales y Escherichia coli. 27 de junio 2018, de Laboratorio de Microbiología Aplicada Spring Sitio web: <http://www1.uprh.edu/esther/lab-micro-aplicada/conferencias/Microbiolog%C3%ADa%20de%20Agua-II%5B1%5D.pdf>.
- Suárez Isla Benjamín y Guzmán Méndez Leonardo. (1992). FLORACIONES ALGALES NOCIVAS. Mareas Rojas y Toxinas Marinas. Revista de Sanidad de la Defensa Nacional, 9, 133 -138.
- Trigueros Salmerón José Ángel; Granados Alcantar Salvador, Uriate Gallardo José Efrén, Pellegrini Hernández Patricio, Miranda Cruz J. H., Rodríguez Gallegos Hugo Benigno. (2017). Riqueza específica de la malacofauna intermareal de las islas del complejo lagunar Santa María - Topolobampo - Ohuira Sinaloa, durante 2016 - 2017. 11 de febrero 2018, de Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar Sitio web: <http://168.255.153.152/XXIV%20congreso/paginas/Congreso%20Nacional/BIODIVERSIDAD%20MARINA/BIO-09.pdf>.
- UNESCO. (2017). Patrimonio Mundial. 15 de julio 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura Sitio web: <http://www.unesco.org/new/es/mexico/work-areas/culture/world-heritage/>.
- V. Botello Alfonso. (1991). La contaminación marina y la urgencia de su legislación. Revista de la Coordinación de Estudios de Posgrado, Vol. 23.
- Vásquez Botello Alfonso, Villanueva Fragoso Susana, Gutiérrez Jorge y Rojas Galaviz José Luis. (2010). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche. Pp 1 – 11.
- Vásquez Ortiz Mario y Jiménez Quiroz María del Carmen. (2016). Boletín de Clorofila -a (CHLA). 20 de febrero de 2017, de Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera del Pacífico Mexicano - INAPESCA Sitio web:

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/305502/Boletin\\_Diciembre\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/305502/Boletin_Diciembre_2016.pdf).

- "Vásquez Ortiz Mario y Jiménez Quiroz María del Carmen. (2018). Boletín de Clorofila -a (CHLA)/ marzo 2018. 20 de junio de 2018, de Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera del Pacífico Mexicano - INAPESCA Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341324/BoletinMarzo2018\\_chla.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/341324/BoletinMarzo2018_chla.pdf).
- Vásquez Ortiz Mario y Jiménez Quiroz María del Carmen. (Marzo 2017). Boletín de Clorofila -a (CHLA). 16 de junio de 2018, de Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera del Pacífico Mexicano - INAPESCA Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/305502/Boletin\\_Diciembre\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/305502/Boletin_Diciembre_2016.pdf).
- Vázquez Botello Alfonso, Villanueva Fregoso Susana y Ponce Vélez Guadalupe. 2010. 3. La contaminación de las costas mexicanas. Pp 79 - 120. En: UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.2010. Calidad del agua, un enfoque multidisciplinario. Universidad Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. Ed. UNAM Ciudad Universitaria, Coyoacán. 308 pp.
- Vernier. (25 de enero de 2007). Ciencias con lo mejor de vernier. Obtenido de Oxígeno Disuelto: [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CMV-41-oxigeno\\_disuelto.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf).
- Zavala Norzagaray Alan Alfredo. (2011). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) - Versión 2009 - 2012. 17 de junio 2017, de IPN- CIIDIR UNIDAD SINALOA Sitio web: <https://studylib.es/doc/343547/ficha-informativa-de-los-humedales---sitios-ramsar>.