

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**EVOLUCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE
CUYUTLÁN, COLIMA ANTE LA REAPERTURA Y AMPLIACIÓN
DEL CANAL DE TEPALCATES, EN EL PERIODO 2009-2018.**

POR:

ING. JOSÉ ARMANDO BENAVIDES GONZÁLEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

NOVIEMBRE DE 2021



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

FECHA: 2021/11/15

DR. GERARDO FAJARDO SAN MIGUEL
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
PRESENTE.-

Estimado Dr. Fajardo San Miguel,

Por medio de la presente, hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del documento de **TESIS**, cuyo título es **"EVOLUCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE CUYUTLÁN, COLIMA ANTE LA REAPERTURA Y AMPLIACIÓN DEL CANAL DE TEPALCATES EN EL PERIODO 2009-2018"**, que presenta el **ING. JOSÉ ARMANDO BENAVIDES GONZÁLEZ**, como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS**, del programa **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL**.

Por lo anterior, me permito informar a Usted que el documento **CUENTA** con la calidad y nivel **CIENTÍFICO**, adecuados para su defensa, por lo que dictamino que este trabajo sea **(APROBADO)**.

Asimismo, anexo a este documento el formato de evaluación correspondiente, donde hago saber mis comentarios y observaciones al respecto.

Sin otro particular por el momento, me despido y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración que considere pertinente.

Atentamente,

Dr. Ricardo Alberto Cavazos González

Evaluador





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FECHA: 2022/01/24

DR. GERARDO FAJARDO SAN MIGUEL
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
PRESENTE.-

Estimado Dr. Fajardo San Miguel,

Por medio de la presente, hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del documento de TESIS, cuyo título es "EVOLUCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE CUYUTLÁN, COLIMA ANTE LA REAPERTURA Y AMPLIACIÓN DEL CANAL DE TEPALCATES EN EL PERIODO 2009-2018", que presenta el ING. JOSÉ ARMANDO BENAVIDES GONZÁLEZ, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS, del programa MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL.

Por lo anterior, me permito informar a Usted que el documento CUENTA con la calidad y nivel CIENTÍFICO, adecuados para su defensa, por lo que dictamino que este trabajo sea APROBADO.

Sin otro particular por el momento, me despido y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración que considere pertinente.

Atentamente,


Digitally signed by Dr. Carlos Joel Ábrego Góngora
DN: cn=Dr. Carlos Joel Ábrego Góngora,
ou=Universidad Autónoma de Nuevo León,
o=Facultad de Ingeniería Civil,
#mail=carlos.abregogongora@uanl.mx, c=MX
Date: 2022.01.27 12:29:03 -0600

Dr. Carlos Joel Ábrego Góngora

Evaluador



Av. Universidad S/N Cd. Universitaria
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P.66455
Tels. (81) 14424400 ext. 4448 | 83294000 ext.7216,7234
correo electrónico: spl.fc@uanl.mx



UNIVERSIDAD DE COLIMA
CENTRO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

FECHA: 2021/11/16

DR. GERARDO FAJARDO SAN MIGUEL
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
PRESENTE.

Estimado Dr. Fajardo San Miguel,

Por medio de la presente, hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del documento de **TESIS**, cuyo título es **“EVOLUCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE CUYUTLÁN, COLIMA ANTE LA REAPERTURA Y AMPLIACIÓN DEL CANAL DE TEPALCATES EN EL PERIODO 2009-2018”**, que presenta el **ING. JOSÉ ARMANDO BENAVIDES GONZÁLEZ**, como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS**, del programa **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL**.

Por lo anterior, me permito informar a Usted que el documento **CUENTA** con la calidad y nivel **CIENTÍFICO**, adecuados para su defensa, por lo que dictamino que este trabajo sea **(APROBADO)**. Asimismo, anexo a este documento el formato de evaluación correspondiente, donde hago saber mis comentarios y observaciones al respecto.

Sin otro particular por el momento, me despido y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración que considere pertinente.

Atentamente,

Dr. Aramis Olivos Ortiz

Evaluador

Resumen

Se evaluó la variabilidad espaciotemporal de los parámetros fisicoquímicos y el comportamiento del estado trófico de los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán, Colima, antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, durante el periodo 2009 - 2018, en el que también se revisó la evolución de la legislación ambiental. Se recabó información de los parámetros fisicoquímicos tales como: Oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, sólidos suspendidos totales (SST), nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Sílice) y Clorofila-a (Clo-a). Se encontró una variabilidad espacial significativa de los parámetros fisicoquímicos. El vaso III de la laguna muestra mayores fluctuaciones respecto a los vasos I y II debido a la baja circulación en la zona interna de dicho vaso, lo que produce un mayor tiempo de residencia hidráulico, generando altas tasas de evaporación, aún y cuando el flujo de agua es constante por la interacción entre la laguna y el océano, a través del canal de Tepalcates. La batimetría en el sistema lagunar es importante, ya que promueve la variabilidad hidrodinámica, generando valores elevados de los distintos parámetros, al resuspender material desde los sedimentos. El índice TRIX muestra que los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán presentan un estado hipertrófico, con características de alta productividad; aún y cuando los vasos I y II han presentado fluctuaciones a estado oligotrófico y el vaso III ha presentado fluctuaciones a estado mesotrófico con una característica de media productividad, esto debido a la variabilidad estacional de los parámetros fisicoquímicos en temporadas de lluvia y de estiaje. Entre los periodos anterior y posterior a la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, se encontró una diferencia significativa en los parámetros fisicoquímicos y el estado trófico; así como un cambio en la legislación ambiental en beneficio de la laguna de Cuyutlán, en busca de un equilibrio ecológico, social y económico. Las concentraciones de Nitrógeno inorgánico disuelto ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mostraron una disminución significativa entre los periodos analizados, aun y cuando después de la reapertura del canal, se encontraron aumentos significativos puntuales, debido a la resuspensión de sedimentos por la mayor hidrodinámica. Las concentraciones de silicatos (SiO_2) disminuyeron y las concentraciones de los fosfatos (PO_4^{3-}) y Clo-a aumentaron entre

los periodos analizados. El estado trófico (TRIX) mostró un incremento debido principalmente a la mayor hidrodinámica provocado por la reapertura del canal de Tepalcates, el mayor intercambio de agua entre la laguna y el océano, así como la mejora de condiciones en la columna de agua que produjeron mayor actividad primaria en el sistema. En el caso de la normativa ambiental, las reformas más importantes fueron al Programa Regional de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca de la laguna de Cuyutlán, para el desarrollo sustentable del área, su recuperación ecológica y para cumplir las expectativas de desarrollo estratégico de la región. Por ello se considera pertinente que, previo a la realización de las obras de ampliación del Puerto de Manzanillo y/o de cualquier nuevo proyecto en el vaso II de la laguna de Cuyutlán, se declaren áreas naturales protegidas los vasos III y IV, para contar con una protección legal y jurídica que garantice la continuidad de sus procesos ecológicos y sus servicios ambientales, del mayor y más importante humedal costero del Estado de Colima.

Palabras clave: Evolución ambiental, estado trófico, sistema costero, parámetros fisicoquímicos, legislación ambiental.

Dedicatoria

Este trabajo, está dedicado a mis padres, **Ma. Guadalupe González Charcas y José Benavides García (†)**; por ser los autores principales de mi vida, muchas gracias por apoyarme incondicionalmente, este triunfo que ha coronado mi esfuerzo también es de ustedes.

Madre, te amo, eres la columna que me sostiene para ser lo que soy.

Padre, aunque te nos adelantaste, sé que estarás orgulloso de nuestro esfuerzo. Te amo tanto y agradezco todo el amor que me diste.

Agradecimientos

Primeramente, a Dios, por todas las bendiciones, por darme la valentía para enfrentar la vida, por darme fuerzas para continuar y nunca perder la fe.

A mi familia, en particular a mi esposa, por su comprensión, apoyo emocional y espiritual, por la enseñanza recibida y por estar a mi lado en cada momento.

También doy gracias al Dr. Ricardo Alberto Cavazos González, Director de este trabajo de Investigación, por su confianza y apoyo.

De manera muy especial agradezco al Dr. Aramís Olivos Ortiz, Co-Director externo de este trabajo, por brindarme su conocimiento y el tiempo que me ha dedicado en la realización de esta tesis.

A los doctores de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, que fungieron como profesores en las diferentes etapas que duró mi formación de posgrado y por el conocimiento transmitido.

Mi más sincero agradecimiento a las demás personas que me han brindado su apoyo y colaboración, durante la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. <i>Antecedentes</i>	3
1.1.1. Importancia ambiental de la laguna Cuyutlán.....	10
1.1.2. Legislación ambiental en lagunas costeras.....	11
1.2. <i>Planteamiento del problema</i>	15
1.3. <i>Justificación</i>	15
1.4. <i>Hipótesis</i>	16
1.5. <i>Objetivos</i>	16
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. <i>Área de Estudio</i>	17
2.2. <i>Clima</i>	18
2.3. <i>Muestreo</i>	24
2.3.1. Periodos de muestreo	24
2.3.2. Muestreos y parámetros monitoreados.....	27
2.3.3. Método analítico en el periodo 2009-2011	28
2.3.4. Método analítico en el periodo 2015-2018.....	29
2.3.5. Índice trófico mediante el modelo TRIX	30
2.4 <i>Método estadístico</i>	32
2.5. <i>Metodología para la revisión de la evolución de la normatividad ambiental aplicable al área de estudio (antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates)</i>	32
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	34
3.1. <i>Objetivo 1. Determinar la variación espaciotemporal de los parámetros fisicoquímicos</i>	34
3.1.1. Vaso I. Variación de los parámetros fisicoquímicos	34
3.1.2. Vaso II. Variación de los parámetros fisicoquímicos	44

3.1.3. Vaso III. Variación de los parámetros fisicoquímicos	55
3.2. <i>Objetivo 2. Índice del estado trófico (TRIX) y sus variaciones de los vasos I, II y III</i>	66
3.2.1. Cálculo del estado trófico de los vasos I, II y III	66
3.3. <i>Objetivo 3. Evolución de la legislación y la normatividad ambiental aplicable al área de estudio (antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates)...</i>	70
3.3.1. Revisión de la evolución de la normatividad ambiental aplicable al área de estudio.	70
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	102
4.1. <i>Discusión del Objetivo 1. Determinar la variación espaciotemporal de los parámetros fisicoquímicos.....</i>	102
4.1.1. Parámetros químico-biológicos	102
4.1.2. Parámetros físicos.....	110
4.2. <i>Discusión del Objetivo 2. Índice del estado trófico (TRIX) y sus variaciones en los vasos I, II y III.....</i>	124
4.3. <i>Discusiones del Objetivo 3. Evolución de la legislación ambiental.....</i>	128
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
5.1. <i>Conclusiones.....</i>	136
5.1.1. Conclusiones del objetivo 1.....	136
5.1.2. Conclusiones del objetivo 2.....	138
5.1.3. Conclusiones del objetivo 3.....	139
5.2. <i>Recomendaciones.....</i>	140
BIBLIOGRAFÍA.....	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Köppen, modificada por E. García, de los tipos y subtipos distintos de climas. Fuente: <i>Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI)</i>	19
Tabla 2.- Estaciones meteorológicas vinculadas al área de estudio. Fuente: <i>Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI)</i>	19
Tabla 3.- Temperatura media anual y promedios mensuales (°C) Fuente: <i>Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI)</i>	19
Tabla 4.- Precipitación media anual (mm). fuente: CNA. Registro mensual de precipitación pluvial en mm.....	20
Tabla 5.- Precipitación media mensual (mm). Fuente: CNA. Registro mensual de precipitación pluvial en mm.....	20
Tabla 6.- Se indican los fenómenos atmosféricos que se presentaron en el área de estudio, durante los periodos 2008-2012 y 2015-2018. Fuente: Sistema Meteorológico Nacional https://smn.conagua.gob.mx/es/).	22
Tabla 7.- Relación de estaciones de muestreo y posiciones geográficas en los distintos vasos antes de la ampliación del canal Tepalcates.	25
Tabla 8.- Relación de estaciones de muestreo y posiciones geográficas en los distintos vasos después de la ampliación del canal Tepalcates.....	26
Tabla 9.- Valor y calidad del agua según Índice TRIX. Fuente: Vollenweider <i>et al.</i> (1998).	31
Tabla 10.- Resumen del análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán, durante las temporadas de lluvia y estiaje.	64
Tabla 11.- Resumen del análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán, entre los periodos anterior y posterior a la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates.	65
Tabla 12.- Índice del estado trófico (TRIX) de los vasos I, II y III, obtenido a partir de los parámetros fisicoquímicos analizados durante los periodos 2009-2011 y 2015-2018.69	
Tabla 13.- Índice de estado trófico (TRIX) durante las temporadas de lluvia y estiaje de la laguna Cuyutlán.....	69
Tabla 14.- Índice de estado trófico (TRIX) antes y después de la apertura del canal de tepalcates de la laguna Cuyutlán.....	70
Tabla 15.- Relación de las Unidades de Gestión Ambiental en el área de estudio conforme al PROETSLC. Se consideraron las UGAs contenidas en cada uno de los vasos y las colindantes en su periferia.	81
Tabla 16.- Áreas Naturales Protegidas cercanas al área de estudio (fuera del radio de 25 km)	91
Tabla 17.- Localización geográfica del Puerto "Laguna de Cuyutlán"	92

Tabla 18.- Relación de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio conforme al PROETSLC. 94

Tabla 19.- Relación de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio conforme al POETLTM..... 101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Canal de Tepalcates en el vaso II, después de su reapertura (2012).	7
Figura 2.- Canal de Tepalcates en el vaso II, antes de su reapertura (2008).....	8
Figura 3.- Área de estudio en la laguna de Cuyutlán, Colima; donde se aprecian los tres vasos (delimitados en color rojo) del Sistema Lagunar de Cuyutlán (Imagen Google Earth 2020).....	17
Figura 4.- Climas presentes en el área de estudio. <i>Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI)</i>	18
Figura 5.- Rosa de vientos anual en el área de estudio.	21
Figura 6.- Localización de las 26 estaciones de muestreo en los vasos I, II y III antes de la ampliación del canal de Tepalcates (adaptada de Google Earth, 2020).	26
Figura 7.- Localización de las 19 estaciones de muestreo en los vasos I, II y III después de la ampliación del canal de Tepalcates (adaptada de Google Earth, 2020).	27
Figura 8.- Escala de tiempo, de la evolución de la normatividad ambiental, durante el periodo de estudio 2009-2018.	74
Figura 9.- Distribución de la Unidades de Gestión Ambiental en el área de estudio, conforme al PROETSLC	81
Figura 10.- Sitios RAMSAR vasos III y IV Laguna de Cuyutlán (Fuente: plataforma SIGEIA de la SEMARNAT).	87
Figura 11.- Identificación de Regiones de las ANP (Fuente CONAMP).	90
Figura 12.- Localización del área de estudio dentro de la región Occidente y Pacífico centro de ANP (Fuente CONAMP).....	90
Figura 13.- Radio de influencia de las ANP con respecto a nuestra área de estudio.....	91
Figura 14.- Distribución de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio, conforme al POETEC	93
Figura 15.- Zonificación que define el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo, Colima.	98
Figura 16.- Distribución de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio, conforme al POETLTM.....	101
Figura 17.- Zona urbana en la parte norte de los vasos I y II de la laguna de Cuyutlán, antes de la apertura y ampliación del canal de Tepalcates (Imagen Google Earth del 2009)..	103
Figura 18.- Zona urbana en la parte norte de los vasos I y II de la laguna de Cuyutlán, después de la apertura y ampliación del canal de Tepalcates (Imagen Google Earth del 2017).	104

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.- Vaso I comparación de la concentración de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	35
Gráfica 2.- Vaso I comparación de la concentración NH_4^+ : A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.....	36
Gráfica 3.- Vaso I comparación de fosfatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	36
Gráfica 4.- Vaso I comparación de los silicatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	37
Gráfica 5.- Vaso I comparación del nitrógeno inorgánico disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.....	38
Gráfica 6.- Vaso I comparación de la Clo-a: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	39
Gráfica 7.- Vaso I comparación de la temperatura: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	40
Gráfica 8.- Vaso I comparación de la salinidad: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	41
Gráfica 9.- Vaso I comparación de Oxígeno disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	42
Gráfica 10.- Vaso I comparación del pH: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	43
Gráfica 11.- Vaso I comparación de sólidos suspendidos totales: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.....	44
Gráfica 12.- Vaso II comparación de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	45
Gráfica 13.- Vaso II comparación del NH_4^+ : A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	46
Gráfica 14.- Vaso II comparación de fosfatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	47
Gráfica 15.- Vaso II comparación de silicatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	48
Gráfica 16.- Vaso II comparación del nitrógeno inorgánico disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.....	49
Gráfica 17.- Vaso II comparación de la Clo-a: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	50

Gráfica 18.- Vaso II comparación de la temperatura: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	51
Gráfica 19.- Vaso II comparación de la salinidad: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	52
Gráfica 20.- Vaso II comparación de Oxígeno disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	53
Gráfica 21.- Vaso II comparación del pH: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	54
Gráfica 22.- Vaso II comparación de los sólidos suspendidos totales: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	55
Gráfica 23.- Vaso III comparación de la concentración de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	56
Gráfica 24.- Vaso III comparación del NH_4^+ : A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	57
Gráfica 25.- Vaso III comparación de fosfatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	57
Gráfica 26.- Vaso III comparación de silicatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	58
Gráfica 27. Vaso III comparación del nitrógeno inorgánico disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.....	59
Gráfica 28.- Vaso III comparación de la Clo-a: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	60
Gráfica 29.- Vaso III comparación de la temperatura: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	61
Gráfica 30.- Vaso III comparación de la salinidad: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	61
Gráfica 31.- Vaso III comparación de Oxígeno disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates. .	62
Gráfica 32.- Vaso III comparación del pH: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates.	63
Gráfica 33.- Vaso III comparación de los sólidos suspendidos totales: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.	64
Gráfica 34.- Índice de estado trófico (TRIX) comparación del vaso I, II y III de la laguna Cuyutlán.	67

Gráfica 35.- Índice estado trófico (TRIX), periodos antes (2009-2011) y después (2015-2018).	68
Gráfica 36.- Índice de estado trófico (TRIX) durante temporadas de lluvia y estiaje de la laguna Cuyutlán.	68
Gráfica 37.- Índice de estado trófico (TRIX) de los periodos antes y después de la apertura del canal de tepalcates de la Laguna Cuyutlán.	69
Gráfica 38.- Concentraciones anuales de: A) Nitrógeno Inorgánico disuelto (NID) y B) Silicatos (SiO ₂).	105
Gráfica 39.- Comparación de Clo-a en los vasos I, II y III.	107
Gráfica 40.- Comparación de Clo-a por año en la Laguna Cuyutlán.	109
Gráfica 41.- Comparación de Clo-a en temporadas de lluvias y estiaje en la laguna Cuyutlán.	109
Gráfica 42.- Comparación de la temperatura en los vasos I, II y III.	110
Gráfica 43.- Comparación de la temperatura en los vasos I, II Y III por año.	112
Gráfica 44.- Comparación de la salinidad en temporadas de lluvia y estiaje en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán.	113
Gráfica 45.- Comparación de la salinidad en los vasos I, II y III de la laguna Cuyutlán.	114
Gráfica 46.- Comparación de la salinidad por año.	115
Gráfica 47.- Comparación del oxígeno disuelto en los vasos I, II y III.	116
Gráfica 48.- Comparación de lluvia y de estiaje del Oxígeno disuelto.	118
Gráfica 49.- Comparación de Oxígeno disuelto por año.	119
Gráfica 50.- Comparación del pH en los vasos I, II y III.	120
Gráfica 51.- Comparación de pH por año de la Laguna Cuyutlán.	122
Gráfica 52.- Solidos suspendidos totales por año en los 3 vasos de la laguna Cuyutlán. ...	123

ÍNDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACAAN	Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte.
AAPCCAPGYRF	Autorización Ambiental del Proyecto Carretero Campos – Alameda-Punta Grande y Ramal Ferroviario.
AASTGN	Autorización Ambiental del Sistema de Transporte de Gas Natural.
AATGNLM	Autorización Ambiental de la Terminal de Gas Natural Licuado de Manzanillo.
ARSAGARPA-SCT	Acuerdo de retiro de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación se destinan al servicio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
ANOVA	Análisis de varianza.
ANP's	Áreas Naturales Protegidas.
API	Administración Portuaria Integral.
ASEA	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
Clo-a	Clorofila-a.
CNA	Servicio Meteorológico Nacional.
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CRE	Comisión Reguladora de Energía.
DGDUE	Dirección General de Desarrollo Urbano y Ecología.
DGIRA	Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental.

NID	Nitrógeno inorgánico disuelto.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
GEIC	Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil.
GNL	Gas Natural Licuado.
HACH	Hach Company - análisis de calidad de agua.
ICAC	Índice de Calidad Ambiental Costero.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
IP	Informe Preventivo
LAN	Ley de Aguas Nacionales.
LANSIMASH	Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Ambiente del Sector Hidrocarburo.
LFRA	Ley Federal de responsabilidades Administrativas.
LGDFS	Ley General de Desarrollo Federal Sustentable
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
LGVS	Ley General de Vida Silvestre.
LH	Ley de Hidrocarburos.
LDQA	Laboratory Data Quality Assurance.
MIA-R	Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional.
TGNLM	Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo.
NOM	Norma Oficial Mexicana
PDUCPM	Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo, Colima.

POET	Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local.
POETEC	Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado del Estado de Colima.
PROETSLC	Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán.
PRS	Fósforo Reactivo Soluble.
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
SEMARNAT	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SGPA	Secretaría de Gestión para la Protección Ambiental.
SLC	Sistema Lagunar de Cuyutlán.
TGNLM	Terminal de Gas Natural Licuado de Manzanillo.
TRIX	Índice de Estado Tráfico.
TWQI	Índice de Calidad del Agua.
UGA	Unidad de Gestión Ambiental.
UMA	Unidad de Manejo Ambiental.
UPS	Unidades Practicas de Salinidad.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

El litoral costero constituye el área que define la diferencia entre la parte continental y el mar. México tienen una extensión de 11,122 km, exclusivamente en su parte continental y sin incluir litorales insulares, de los cuáles 7,828 km pertenecen al Océano Pacífico y 3,294 km al Golfo de México y al Mar Caribe (INEGI, 2002).

Las zonas costeras intertropicales se caracterizan por una alta dinámica interna, con áreas poco profundas sin cambios drásticos de temperatura, lo cual tiene una influencia temporal y permiten identificar dos momentos de variabilidad, uno correspondiente al periodo de verano que coinciden con la temporada de lluvias, donde se observa un aumento significativamente mayor que en época de invierno o de estiaje (Vazquez-Yeomans, 2000; Dominici-Arosemena *et al.*, 2000; y Araujo *et al.*, 2002).

Las lagunas costeras son cuerpos de agua litorales semiprotegidos, que presentan una gran variabilidad de condiciones ambientales. Constituyen ecosistemas importantes, desde el punto de vista biológico como económico, una gran diversidad de especies encuentra en estos ecosistemas un hábitat óptimo, alimento en abundancia y protección contra sus depredadores por las condiciones especiales de su hidrodinámica, sedimentación y potencial en sus recursos naturales (Juárez, 1985; Contreras, 1985; Moyle y Cech, 1988; Day *et al.*, 1989; Kjerfve *et al.*, 1996; Mariscal Romero *et al.*, 1997).

Debido a que estos ambientes costeros son de los sistemas ecológicos más productivos en la tierra, pueden proporcionar servicios ambientales y biomas para distintas especies, por lo que se ha promovido un creciente interés por conocerlos, protegerlos y estudiar sus cambios en el tiempo. Así mismo se ha estimulado en las últimas décadas el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las intervenciones humanas en ellos. Entre estos criterios se encuentran la variación y la evolución de los parámetros fisicoquímicos que están influenciados por cambios estacionales, aspectos bióticos y actividades antropogénicas que se realizan “in situ” o en su periferia (Norris y Hawkins, 2000; Miranda *et al.*, 2005; Duarte *et al.*, 2006).

Existen parámetros indicadores de gradientes ambientales como la temperatura, la salinidad, el Oxígeno disuelto, el pH, el suelo y otros parámetros que sirven de indicadores de las condiciones en su interior y son un factor determinante de estudio y seguimiento (Odum, 1983; Gastón y Williams, 1996).

Se ha determinado que los nutrimentos que controlan la productividad primaria y otros parámetros de la calidad del agua presentan grandes variaciones espaciales y temporales al interior de sistemas costeros lagunares, que al final hacen que éstos sean diferentes en sus características, su nivel trófico, sus características fisicoquímicas y las formas de explotación de sus recursos; para lo cual la dinámica y morfología que agrupa las características físicas y topográficas que incluyen a los canales internos y a las praderas de inundación son determinantes; pues, en conjunto, definen la sensibilidad natural o vulnerabilidad de estos sistemas ante cargas externas y otras modificaciones, sobre todo antropogénicas (Souza *et al.*, 2003; Mouillot *et al.*, 2005; Meng *et al.*, 2005; Haines *et al.*, 2006; Lonard y Judd, 2010).

Uno de los problemas más severos de un cuerpo costero es la eutrofización, un proceso de origen antrópico que genera, principalmente, el aumento de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y materia orgánica en los cuerpos de agua (Hallegraef, 1993; Herrera-Silveira *et al.*, 2011). El resultado de dicho incremento son cambios en la composición específica y abundancia de las comunidades fitoplanctónicas que habitan en tales cuerpos lo que puede llegar a afectar su estado trófico (Anderson *et al.*, 2006; Ortega-Murillo *et al.*, 2010).

Para estimar el estado trófico o la calidad del agua de un ecosistema se han utilizado indicadores como la concentración de Oxígeno disuelto (Justic, 1991; Vialori & Christian, 2003), el Nitrógeno total (NT), el Fósforo total (PT) (Karydis *et al.*, 1996; Ignatides *et al.*, 1992), la Clo-a (Carlson, 1977; Contreras-Espinoza *et al.*, 1996) y la productividad primaria (Nixon, 1995). Estos indicadores han sido considerados en el diseño de diferentes índices tróficos, como el TRIX (Vollenweider *et al.*, 1998); el AZCI (*Arid Zone Coastal Water Quality Index*), también conocido como ICAC (índice de calidad ambiental costero) (Mendoza-Salgado, 2005), y el TWQI (índice de calidad del agua) (Giordani *et al.*, 2009). Estos índices son herramientas que

proporcionan información sinóptica sobre el estado trófico de los ecosistemas, lo cual permite generar criterios ecológicos para definir acciones de gestión y conservación de estos ambientes (Pinilla *et al.*, 2010).

Como se ha expuesto, la variabilidad y la evolución de los parámetros fisicoquímicos representa una parte importante en el estudio de los sistemas costeros, lo cual es indispensable para conocer el estado trófico de un ecosistema y, con esto, tener información que lleve a su manejo sustentable. Este es el motivo por el que se plantea este trabajo, que pretende estudiar el estado trófico de la laguna de Cuyutlán, Colima, antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates.

1.1. Antecedentes

La laguna de Cuyutlán es el cuerpo de agua continental de mayor extensión en el estado de Colima, con una superficie de 7,200 ha. Es importante fuente de recursos pesqueros y el mayor cuerpo productor de sal del estado, por lo que genera ingresos económicos para un gran número de familias. Además, es un ecosistema costero que brinda al municipio de Manzanillo una barrera de protección ambiental, reguladora del clima y poseedora de paisaje y resguardo de aves (Salgado y González-Becerril, 1996; COREMI, 2001). El Sistema Lagunar de Cuyutlán se divide en cuatro vasos lagunares, interconectados por angostamientos que permiten una transferencia limitada de agua que aporta principalmente la marea, que penetra a la laguna por las tres comunicaciones artificiales que la conectan con el Océano Pacífico: 1) el túnel que comunica la laguna con la bahía de Manzanillo desde 1937, 2) el canal de Ventanas, construido en 1978 y 3) el canal de Tepalcates, en el año 2000. La marea en esta zona es de tipo mixto semidiurno; es decir, presenta, en general, dos pleamares y dos bajamares al día (MIA-R TGNLM-Capítulo IV; CFE 2007).

En la historia evolutiva de la laguna de Cuyutlán han ocurrido eventos de origen antropogénico que han modificado su estructura y funcionamiento. Desde tiempos prehispánicos, esta laguna ha sido objeto de una importante explotación de mineral de sal y pesquerías. Física y geomorfológicamente, en 1554 presentaba una

conFiguración similar a la actual, excepto que estaba comunicada con el medio marino a través de una boca a la altura del lugar denominado “Palo Verde”, cerca de la desembocadura del Río Grande de Colima, actualmente Río Armería (Cabral Solís, 2011).

En 1834, la anchura promedio de la boca del canal principal que comunicaba el sistema lagunar de Cuyutlán con el océano adyacente era de entre 1.4 km y 800 m, a la altura del puente que daba acceso a las salinas del poblado de Cuyutlán. Posterior a 1870, la boca tendía a desaparecer bajo condiciones de tormentas, por lo cual se construyó un puente a la altura de "Palo Verde", lo cual fue una clara intervención ante un asolvamiento al que estaba sujeto este sistema (Zárate *et al.*, 1994).

Bajo las condiciones de aislamiento de la laguna respecto al medio marino, los procesos de asolvamiento debido al transporte de materiales terrígenos, por los escurrimientos superficiales y el viento, aceleraron su degradación, por lo que a principios del siglo XX se construyó a la altura del cerro "El Vigía", un terraplén para el tendido de la vía del ferrocarril sobre la barra costera; obra que, además de fraccionarla seriamente, contribuyó a incrementar el azolve y contaminación en sus primeras porciones. La laguna ha sido sometida a modificaciones físicas a través del tiempo, en 1937 la Secretaría de Recursos Hidráulicos construyó el túnel de comunicación con la Bahía de Manzanillo, que resultó insuficiente para resolver el problema de aporte de agua marina (Zárate *et al.*, 1994).

La laguna de Cuyutlán, por su importancia ecológica, comercial y pesquera, ha sido objeto de diversas modificaciones físicas sistemáticamente. A principios del siglo XX era conocida como “Laguna de Los Caimanes”, por el tamaño de la población de cocodrilos que en ese entonces había. En la actualidad, a pesar de que sigue habiendo cocodrilos en el área, el tamaño de su población es baja, comparada con los inicios del siglo XX (Mellink y Riojas-López, 2008).

En 1978, para la operación de la central termoeléctrica de Manzanillo, se puso en operación el canal de Ventanas, y debido a que la totalidad del volumen de agua marina succionada era utilizado en el sistema de enfriamiento de la termoeléctrica,

el agua existente en el resto del sistema lagunar, en momentos de bajamar era utilizada para ese fin; así mismo, el relleno de terrenos lagunares para la construcción de pequeñas viviendas en la zona federal generó descargas de aguas negras, basura y desechos urbanos provenientes de Manzanillo. Esto afectó el escaso aporte de agua dulce proveniente de los arroyos, y generó pérdida de mangle, asolvamiento y la desecación progresiva de la laguna, que en la actualidad es el Vaso I (Sánchez y Asociados, 1986; CONABIO, 2009).

Por esta razón, en 1989, la Comisión Nacional del Agua generó la apertura del canal de Tepalcates, con la cual se pretendía generar aporte de agua marina al interior de la laguna de Cuyutlán, que sufría de estrés hídrico severo. Debido a varios procesos de asolvamiento natural de este canal, en el año 2000, la conocida en ese entonces como SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) promovió de mantenimiento para la reapertura del canal de Tepalcates, para asegurar el intercambio de agua entre la laguna y el mar. El 8 de enero del 2000 se reabrió el canal, pero éste se volvió a azolvar. El canal se dragó nuevamente el 3 de octubre de 2008 (Lara, 2012).

La Red Manglar 2007, en un reporte técnico mencionó que en la laguna de Cuyutlán se requería la apertura de nuevos canales de comunicación con el mar adyacente, así como de canales internos más profundos, que favorecieran cambios positivos ante el proceso de azolve, los bajos niveles de agua y la baja circulación interna en la cual se encontraba este sistema lagunar.

La laguna de Cuyutlán mantenía baja dinámica interna, relacionada con el poco intercambio de agua marina y la elevada evaporación, que generaron condiciones hipersalinas en el interior de la laguna, lo cual desde tiempos prehispánicos se ha aprovechado para la producción salinera en los vasos III y IV principalmente. Desde el punto de vista hidrodinámico, la laguna se consideraba un sistema casi cerrado y su intercambio de agua proveniente del mar dependía del dragado de los canales de Ventanas y de Tepalcates. El uso de agua por parte de la Planta Termoeléctrica de Manzanillo genera un gradiente en la circulación del agua entre los vasos I y II, provocando el intercambio hídrico. La falta de intercambio hídrico provoca que se

modifique el hidropérido, generando un estrés fisiológico que repercute en la pérdida de extensiones de manglar alrededor de la laguna (Juárez, 2013).

Cálculos de la universidad de Colima, en 2007, estimaron el azolvamiento de la laguna en 0.54 cm/año provocando la pérdida de 1,068 has de espejo de agua, y se proyectaba que, dentro de dos a tres décadas, se perdería la mayor parte del espejo de agua, de no favorecerse la comunicación hídrica con el mar (Juárez, 2013).

En 2008, el proyecto de la Terminal de Gas Natural Licuado (TGNLM) fue autorizado en materia de impacto y riesgo ambiental, por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la SEMARNAT, mediante oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG. 0465.08, de fecha 11 de febrero del 2008; el cual incluye obras consistentes en equipos para el almacenamiento y la regasificación del Gas Natural Licuado (GNL), el muelle de descarga, la dársena de ciaboga, el ensanchamiento del canal de Tepalcates como acceso del Mar hacia el vaso II, y la reposición de las escolleras de protección, entre otras instalaciones; debido a que esta planta industrial se localizaría sobre la barra de la laguna de Cuyutlán, en el vaso II, aproximadamente 7 km al Sur de la ciudad de Manzanillo, en el Estado de Colima, al Sureste del Complejo Termoeléctrico Manzanillo (MIA-R TGNLM, CFE 2007).

De acuerdo con la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto TGNLM; las obras de dicho Proyecto tendrían un efecto (benéfico) que podría existir a través de la comunicación permanente del vaso II con el mar, mediante el canal de Tepalcates, cuyo funcionamiento estará asegurado (y no como hasta ahora que por procesos de transporte litoral tiende a azolverse obstaculizando el intercambio de agua marina) por el mantenimiento para garantizar las actividades de operación en la dársena de la ciaboga, y el canal de navegación (MIA-R TGNLM, Capítulo IV; CFE 2007).

Para este proyecto se ampliaron las escolleras de protección del canal de acceso, las cuales quedaron concluidas en diciembre del 2011, de manera perpendicular a la línea de playa, en la entrada del canal de Tepalcates, el cual sirve de acceso a la laguna de Cuyutlán, con una separación aproximada entre ellas de 550 m (medidos

a partir del eje longitudinal de la misma). La longitud de la escollera Este es de aproximadamente 359.00 m y la Oeste de 396.00 m. Antes de la reapertura y la ampliación del canal de Tepalcates, las escolleras existentes tenían una separación entre ellas de aproximadamente 155 m. Este canal de acceso quedó concluido con 250 m de ancho de plantilla, con taludes 5H:1V, con espejo de agua de 450 m de ancho y una cota de fondo a la -15 MSNBMI, (ver Figura 1).



Figura 1.- Canal de Tepalcates en el vaso II, después de su reapertura (2012).

El canal tenía un ancho que fluctuaba entre 70 m y 117 m y estaba sometido a un proceso de asolvamiento continuo, debido a las características de la corriente costera que genera el oleaje que proviene preferentemente del sector SW la mayor parte del año, que hacía fluctuar la profundidad del canal entre los -1.2 y los -0.20 MSNBMI, (ver Figura 2).



Figura 2.- Canal de Tepalcates en el vaso II, antes de su reapertura (2008).

La dársena de ciaboga y de maniobras en el vaso II (área de agua donde se realizan las maniobras necesarias de giro y revire del Buque-Tanque de GNL), quedó de un diámetro de aproximadamente 600 m a una cota de fondo a la -15 MSNBMI (MIA-R TGNLM, Capítulo IV; CFE 2007). Cabe señalar que el 16 de marzo del 2012, ingresó el primer buque metanero al vaso II de la laguna de Cuyutlán.

Juárez (2013) menciona que, en el periodo de mayo de 2010 a septiembre de 2011, se registró una evolución positiva de las condiciones de distintos parámetros fisicoquímicos en el vaso II de la laguna de Cuyutlán, el cual registra una media de $38.46 \pm 2.75^\circ\text{C}$; el pH de 8.25 ± 0.26 ; para OD 5.41 ± 1.75 mg/L. También refiere que la hidrodinámica cambió sustantivamente a partir de febrero de 2011, por la influencia de la marea por la reapertura del canal de Tepalcates, lo que representó mayor intercambio de agua entre el sistema lagunar de Cuyutlán y el mar adyacente.

En otros sistemas costeros similares al de este estudio, como la laguna costera de las Guásimas en la costa Este del Golfo de California, Sonora, en el periodo de marzo de 1998 a febrero de 2000, se realizaron análisis de la influencia de los procesos físicos en la variabilidad estacional de nutrientes y la biomasa de

fitoplancton. Observaron influencia de escurrimientos terrígenos por las lluvias en verano y surgencias costeras por los vientos en invierno – primavera, siendo las fuentes que controlan el patrón anual de nutrientes manifestados con picos en verano ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- = 0.37 \mu\text{M}$; $\text{PO}_4^{3-} = 0.8 \mu\text{M}$) e invierno ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- = 0.32 \mu\text{M}$; $\text{PO}_4^{3-} = 1.23 \mu\text{M}$), y esto refleja en el mismo patrón de la biomasa y la productividad del fitoplancton: verano ($\text{Clo-a} = 6.3 \mu\text{g/L}$, $\text{PPN} = 605 \text{ mg C/m}^2\text{d}$) (Arreola, 2003). Por su parte, Gómez (2013) en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, menciona que la salinidad refleja una considerable variación temporal, dando al sistema condiciones que varían de oligohalinas a mixohalinas, respectivamente. Observó que las formas nitrogenadas más abundantes fueron los nitratos (NO_3^-) y que, en términos porcentuales, entre el 48.75% y el 92.32% del Nitrógeno total inorgánico (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), fue aportado por este compuesto. El amonio (NH_4^+) fue la segunda forma nitrogenada en abundancia; ésta aportó entre el 7.13% y el 49.45%. Los ortofosfatos (PO_4^{3-}) presentaron las mayores concentraciones en temporada de lluvia, que de estiaje, cuando se detectaron las salinidades más altas. En este trabajo se menciona que el índice TRIX ubica al sistema en 6 - 8 con la calidad del agua pobre, altamente productiva y el nivel trófico más alto.

En los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México, se han realizado estudios sobre su estado trófico, utilizando el índice TRIX. En Pom-Atasta, cuya superficie aproximada es de 190 km^2 , presenta un gradiente de salinidad de 0 a 28, que varía según la época climática (Aguirre-León, 2000). La temperatura entre 25.6 y $32.6 \text{ }^\circ\text{C}$, con una transparencia de 20 a 83.3% y una profundidad de 1.2 a 3.5 m. El Oxígeno disuelto presenta variaciones amplias, desde 4.2 hasta 8.2 mg/L (Ramos-Miranda *et al.*, 2006). Para el sistema Palizada, que se localiza en la porción suroeste de la laguna, la superficie aproximada es de 89 km^2 y presenta un intervalo de salinidad promedio de 0 a 8, con una temperatura del agua de 22 a $31 \text{ }^\circ\text{C}$, una transparencia de 48 a 66% y una profundidad de 0.8 a 3.0 m. La concentración de Oxígeno disuelto es de 1.18 a 9.12 mg/L. En su cuenca drenan cuatro ríos perennes (Ayala-Pérez, 2006). Ambos sistemas lagunares se caracterizaron como oligotróficos, con tendencia a ser mesotróficos, dado el estado

tráfico en el que se encontraron durante el periodo de estudio (Muciño-Márquez, 2017).

1.1.1. Importancia ambiental de la laguna Cuyutlán.

Entre los servicios ambientales que brinda este sistema está el manglar que rodea parte de la laguna, que protege a las larvas y los estadios juveniles de varias especies, con relevancia ecológica y comercial, como peces, moluscos y crustáceos; aunque también se considera como un área de alimentación y nidación de diversos grupos de aves costeras de la región y migratorias, brinda protección al litoral del oleaje, regula el transporte sedimentario y contribuye con nutrientes y material orgánico para la productividad primaria y secundaria de la zona costera (Arrieta *et al.*, 2005). Al menos 25 colonias de especies de aves anidan en la laguna de Cuyutlán, por ejemplo, en los manglares de las islas de la laguna anidan *Pelicaniformes* y *Ciconiiformes*, mínimo 61 especies de aves usan la laguna durante la estación no reproductora que comprende entre los meses de septiembre a marzo (Mellink y Riojas-López, 2008).

Esta laguna tiene la función como corredor biológico para aves de la región del Pacífico Mexicano a gran escala, ya que inicia en la sierra de Manantlán y termina hasta la costa en la laguna de Cuyutlán, por lo que presenta especies de mangle endémicas o bajo alguna categoría de protección, como *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Mellink y de la Riva, 2005; CONABIO, 2009).

Respecto a la riqueza específica, un estudio que se realizó en la laguna sobre la riqueza de aves acuáticas que usan el área durante la temporada no reproductiva, se contó un total de 54,370 individuos de 57 especies de aves acuáticas. De estas 11 especies, constituían el 90 % de todos los individuos (Mellink y Riojas-López, 2008). En otro documento sobre moluscos, realizado en 1986, se identificaron 54 especies pertenecientes a dos clases (*Gasterópodos* y *Pelecípodo*), 26 familias y 38 géneros, Serrano, (Caraveo-Patiño, 2002). Un reporte de CONABIO-CONANP-

TNC-Pronatura (2007) menciona que este sistema costero es de importancia para el ciclo biológico de diferentes especies, como aves, tortugas, peces y cocodrilos.

1.1.2. Legislación ambiental en lagunas costeras

Botello, A. V. (2016) menciona que las lagunas costeras han sido contaminadas debido al incremento de las actividades humanas e industriales, lo cual modifica las condiciones ambientales de estos sistemas; sin embargo, muchas lagunas no cuentan con una legislación efectiva que relacione la ciencia ambiental y ecológica, y que comprenda las diferentes afecciones y las posibles soluciones útiles que aborden los diferentes problemas de manera objetiva y real.

Por otro lado, Moreno Casasola (2000), mediante la creación un Plan de Manejo comunitario en la laguna de la Mancha y la del Llano, en las costas veracruzanas, obtuvieron un funcionamiento sustentable de estos ambientes costeros, concluyendo que la sostenibilidad puede generarse a través de cuatro factores, tales como; (1) un Comité del Plan de Manejo, (2) Proyectos Piloto Productivos, (3) un Ordenamiento Territorial Participativo y (4) Programas de conservación y restauración, siendo los puntos dos y tres los más importantes, ya que están relacionados con el comportamiento de la legislación ambiental en esos sistemas, en busca de la conservación de los recursos y los ecosistemas y/o la restauración de los ambientes degradados.

Duarte (2009) hace mención que la aplicación de índices tróficos, como el que es aplicado en este trabajo, proporcionan información relevante sobre el estado, el impacto y la calidad de agua en los diferentes cuerpos costeros, generando una base fundamental para el cuidado, el conocimiento y la gestión, desde el punto de vista ecosistémico, para de esta manera correlacionar los requisitos necesarios de la legislación ambiental y política con el fin de mitigar la eutrofización costera.

En México, en el ámbito federal, hay veinticinco leyes que tienen influencia en esta zona, que son: la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el Código de Comercio, el Código Penal Federal, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Bienes Nacionales, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de

Desarrollo Forestal Sustentable, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables, la Ley Federal de Derechos, la Ley General de Asentamientos Humanos, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, la Ley General de Turismo, la Ley de Puertos, la Ley Federal del Mar, la Ley de Navegación y Comercio Marítimos, la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, la Ley de Inversión Extranjera, la Ley sobre Celebración de Tratados, la Ley de Expropiación y Ley de Planeación, la Ley Aduanera, y la Ley de Petróleos Mexicanos. En cuanto a las dependencias federales con competencia directa o indirecta se encuentra: la SEMARNAT, la SAGARPA, SEDESOL, SEMAR, SECTUR, SCT, SEGOB, SENER, SRA, CNA, SSA, SER, CFE y SE (Barajas, 2012).

Por su parte, La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su Artículo 4, quinto párrafo, establece lo siguiente: *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.”*

Con base en lo anterior, es lógico que los efectos del deterioro ambiental ocasionado por las actividades antropogénicas mal planificadas tienen cada vez más impacto negativo sobre su zonificación, incluso de forma permanente e irreversibles, por lo que se han expedido y reformado diversas leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas (NOM's), con el propósito de preservar y restaurar el equilibrio ecológico, así como para la protección al ambiente.

El 28 de enero de 1988 se publicó en el D.O.F., la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en cuyo ARTÍCULO 20 BIS 2 (Artículo adicionado, publicado en el D.O.F. del 13 de diciembre de 1996, Reformado y publicado en el D.O.F. los días 12 de diciembre del 2007 y 19 de enero del 2018), se establece que los gobiernos de las entidades federativas, en los términos de las leyes locales aplicables, podrán formular y expedir programas de ordenamiento ecológico regional, que abarquen la totalidad o una parte del territorio de una entidad federativa. Adicionalmente, el 08 de agosto del 2003, se publicó en el D.O.F., el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Ordenamiento Ecológico,

mismo que se reformó el 31 de octubre del 2014, en cuyo Capítulo Cuarto, “Del Ordenamiento Ecológico Regional”, se establecieron los criterios para la formulación de los programas de ordenamiento ecológico a que se refiere el artículo 20 BIS 2 de la LGEEPA, con la participación de la SEMARNAT, las entidades federativas y municipales, según corresponda.

En este sentido, también existen los Ordenamientos Ecológicos, que, de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, son los instrumentos de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de éstos (LGEEPA, Artículo 3. Frac. XXIV).

La laguna de Cuyutlán representa el 90% de los humedales del Estado de Colima (Mellink y De la Riva, 2005); sus vasos I y II son los más impactados por el desarrollo industrial y los asentamientos poblacionales; mientras que en los vasos III y IV destaca la actividad salinera de forma estacional, de febrero a junio, lo que permite cierta recuperación de la zona, (Torres y Quintanilla, 2014). La laguna brinda protección al litoral del oleaje y regula el transporte sedimentario, además de contribuir con nutrientes y material orgánico para la productividad primaria y secundaria de la zona costera (Arrieta, *et al.*, 2005).

Por lo anterior, el fortalecimiento de la normativa ambiental aplicable el área de estudio se vio reflejada con la entrada en vigor del Programa Regional de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca de la laguna de Cuyutlán publicado en el periódico oficial del Estado de Colima el 5 de julio de 2003 y actualizado el 3 de mayo de 2007 y 05 de abril del 2014, así como también el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (POETEC), publicado mediante decreto, el día 28 de agosto de 1993, en el Periódico Oficial “El Estado de Colima, y reformado el 11 de agosto del 2012, el 21 de septiembre del 2013 y 30 de diciembre de 2017.

Torres y Quintanilla (2014) refieren que la importancia ecológica de esta zona se respaldó con la denominación Ramsar para los vasos III y IV de la laguna de Cuyutlán, en la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, el pasado 2 de febrero de 2011 y que el Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima, decreta las zonas de manglar de la laguna de Cuyutlán como áreas prioritarias para su conservación.

Con la Reforma de la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) consistente en la adición del artículo 60 TER, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2007, así como el acuerdo que adiciona la especificación 4.43 a la Norma Oficial Mexicana, NOM-022-SEMARNAT-2003 (establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar), publicada en el D.O.F. el 07 de mayo de 2004. Ambos instrumentos legales fortalecen las regulaciones ambientales a los humedales y zonas de manglar de la laguna de Cuyutlán. El artículo 60 TER de la LGVS prohíbe cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia, estableciendo que las obras y actividades de aprovechamiento no extractivo que se lleven a cabo en los manglares deberán sujetarse a las disposiciones previstas por el artículo 28 de la LGEEPA.

Mac Donald (2012) menciona que la adecuada gestión del agua requiere necesariamente la conservación de los ecosistemas en los que se cumple el ciclo hidrológico. El papel que en ello juegan los ecosistemas costeros y marinos en un país como México, con la dimensión de sus zonas marinas, es fundamental. Por tanto, el marco jurídico y normativo actual y las múltiples dependencias involucradas en su aplicación deberían permitir superar un enfoque sectorial y desarticulado vigilando que la cantidad de instrumentos legales y de dependencias con atribuciones en el manejo de los recursos marinos y costeros sea amplia y garantice su manejo integral.

1.2. Planteamiento del problema

El área de estudio es una zona de transición con el océano adyacente, presenta una dinámica definida por la marea y los factores locales como la topografía, morfología, climatología y las actividades antrópicas que regulan la transferencia de compuestos sólidos y en disolución, así como de ejemplares bióticos.

Por lo anterior, la variabilidad de distintas propiedades fisicoquímicas es gobernada en gran medida por el fenómeno de mareas y vientos locales, que generan corrientes, así como la interacción entre el sistema lagunar y la zona costera marina adyacente, originando gradientes horizontales intensos que presentan, a su vez, una alta variabilidad temporal, a través de los ciclos de marea y estacionales, los cuales han evolucionado desde la reapertura del canal de Tepalcates.

Es necesario realizar el análisis de la variabilidad de los parámetros de la calidad del agua en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán, con el fin de entender su funcionamiento, conocer su estado actual y sentar las bases de futuras obras que en ella se quieran realizar, como es el caso del futuro desarrollo del Puerto en el vaso II de la laguna de Cuyutlán, y se pueda tener más certidumbre en su funcionamiento, así como asegurar su permanencia y los servicios ecosistémicos que brinda a la región de una manera integral, considerando la evolución de la normatividad ambiental, su cumplimiento y con ello promover que el sistema lagunar pueda seguir brindando los servicios socio-ecosistémicos en la región.

1.3. Justificación

Los parámetros abióticos son importantes en la determinación del estado de la biota que habita en un sistema costero. Se puede decir que su inestabilidad se convierte en una característica definitoria de su salud ambiental. Realizar un estudio de la calidad del agua antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates de la laguna de Cuyutlán, que refleje el estado trófico, servirá para generar indicadores de desempeño ecosistémico, además de establecer un precedente para guiar futuras investigaciones en este tipo de sistemas lagunares.

La laguna de Cuyutlán, antes de la reapertura del canal de Tepalcates, enfrentaba efectos negativos por la falta de entrada de agua de mar, asolvamiento, pérdida de su espejo de agua y deterioro de los parámetros fisicoquímicos del agua debido a obras ingenieriles y el mal manejo de su cuenca alta. Los parámetros como: oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, sólidos suspendidos totales (SST), nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Sílice) y Clorofila-a (Clo-a); a través de uso del índice del estado trófico TRIX, propuesto por Vollenweider *et al.* (1998), permitirán generar información acerca del estado trófico lagunar, lo cual sentará las bases para futuros trabajos que coadyuven a su adecuado funcionamiento, permitiendo la sustentabilidad del sistema.

1.4. Hipótesis

La reapertura y ampliación del canal de Tepalcates en el vaso II de la laguna de Cuyutlán, incrementará el intercambio de agua con el mar, generando cambios positivos en la calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua que, en coherencia con la evolución de las normativas ambientales, se traducirán en una mejora del estado trófico del sistema lagunar.

1.5. Objetivos

Objetivo General

Conocer la evolución de los parámetros fisicoquímicos del agua y su relación con cambios en el estado trófico de la laguna de Cuyutlán, Colima, antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, como un indicador agregado de su estado trófico.

Objetivos específicos

Mediante compilación de datos de parámetros fisicoquímicos, antes de la reapertura del canal de Tepalcates (septiembre 2009 a febrero de 2011) y después de su

reapertura (enero de 2015 a diciembre de 2018) en los vasos: I, II, III de la laguna Cuyutlán.

- Determinar la variación espaciotemporal de los parámetros fisicoquímicos.
- Calcular el estado trófico de los vasos I, II y III.
- Revisar la evolución de la normatividad ambiental aplicable al área de estudio, antes y después de la reapertura y la ampliación del canal de Tepalcates.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Área de Estudio

La laguna de Cuyutlán se encuentra localizada, junto con el puerto de Manzanillo, en el litoral del Océano Pacífico (en la planicie costera del estado de Colima), entre las coordenadas 18°57' y 19°05' de Latitud Norte y 103°57' y 104°20' de Longitud Oeste.

La laguna de Cuyutlán está conformada por cuatro vasos, el área de estudio se realizará en los vasos I, II y III (ver Figura 3). El vaso IV no se incluirá en el presente estudio, debido que está delimitado por un bordo salinero.



Figura 3.- Área de estudio en la laguna de Cuyutlán, Colima; donde se aprecian los tres vasos (delimitados en color rojo) del Sistema Lagunar de Cuyutlán (Imagen Google Earth 2020).

2.2. Clima

En la Figura 4 se muestran los climas presentes en el área de estudio, los cuales son: A (w), que corresponden al tipo cálido subhúmedo con lluvias de verano entre los meses de mayo a octubre y BS1(h'), que corresponde al tipo semiseco muy cálido y cálido. El primer clima señalado, se encuentra en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán y sus alrededores. Este fue determinado por el INEGI, tomando como base los datos de la Estación Meteorológica de Manzanillo. El segundo clima ocupa el vaso IV y su parte norte, y fue determinado con la información de la Estación Climatológica de Armería. (Tablas 1 y 2).

Se dice que existe un régimen de lluvias de verano cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del periodo de mayo - octubre, y este mes recibe por lo menos 10 veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año (Guía para la interpretación de cartografía climatológica, INEGI).

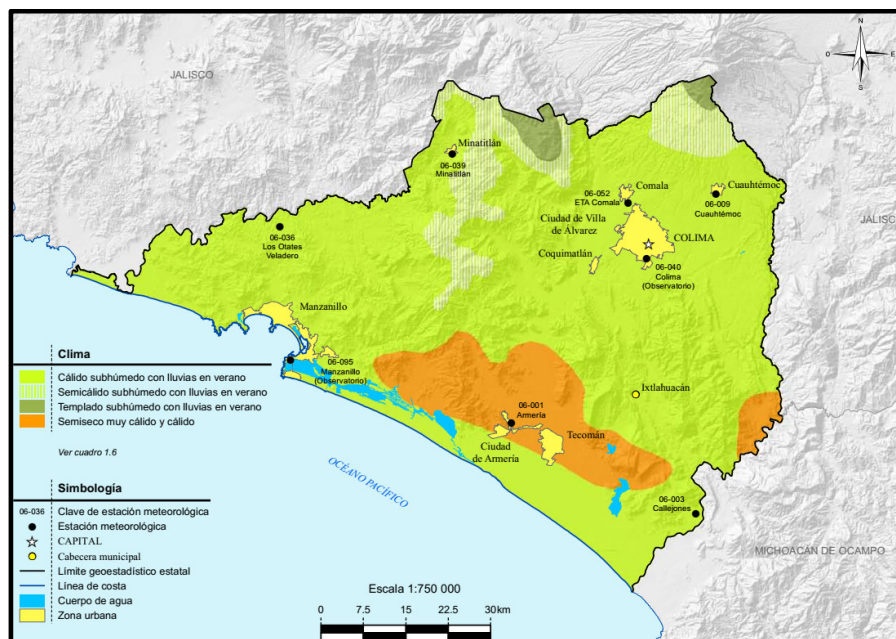


Figura 4.- Climas presentes en el área de estudio. Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI).

Tabla 1. Clasificación de Köppen, modificada por E. García, de los tipos y subtipos distintos de climas. Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI).

Tipo o subtipo	Símbolo
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	A(w)
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	ACw
Templado subhúmedo con lluvias en verano	C(w)
Semiseco muy cálido y cálido	BS1(h')

Tabla 2.- Estaciones meteorológicas vinculadas al área de estudio. Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI).

Clave	Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud
06-095	Manzanillo (Observatorio)	19°02'51''	104°19'08''	5
06-001	Armería	18°57'08''	103°56'41''	37

Temperatura.

En la Tabla 3 se muestran las estaciones, periodo del registro, la temperatura promedio anual, la temperatura promedio del año más frío, la temperatura promedio del año más caluroso, y los promedios mensuales registradas en las Estaciones Meteorológica de Manzanillo (Observatorio) y Armería.

Tabla 3.- Temperatura media anual y promedios mensuales (°C) Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Colima 2016 (INEGI).

Estación y concepto	Periodo	Promedio Media Anual	Meses											
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Manzanillo (Observatorio)	2015	28.45	27.0	25.0	25.7	26.8	28.8	30.1	30.3	30.6	30.0	29.8	29.7	27.6
Promedio	De 1961 a 2015	26.5	24.9	24.5	24.2	24.8	26.4	28.2	28.7	28.5	28.0	28.0	26.7	25.5
Año más frío	2005	20.3	20.6	17.9	15.5	18.5	19.9	22.1	24.4	23.5	23.5	20.5	19.0	19.0
Año más caluroso	2011	33.0	31.9	30.7	31.5	32.2	34.8	36.2	33.6	34.2	33.8	33.7	32.8	30.8
Armería	2015	28.7	27.4	25.0	26.7	26.8	29.6	30.7	30.6	31.1	29.8	29.7	29.1	28.4
Promedio	De 1948 a 2015	26.6	24.7	24.5	24.4	25.3	26.7	28.2	28.1	28.3	27.9	28.0	26.9	25.7
Año más frío	1973	23.5	23,6	23,1	23,8	23,4	23,4	23,0	23,7	23,5	23,6	23,6	23,5	24,3
Año más caluroso	2015	28.7	27.4	25.0	26.7	26.8	29.6	30.7	30.6	31.1	29.8	29.7	29.1	28.4

Precipitación.

Las Tablas 4 y 5 muestran la precipitación media anual y mensual registrada en las Estaciones Manzanillo y Armería.

Tabla 4.- Precipitación media anual (mm). fuente: CNA. Registro mensual de precipitación pluvial en mm.

Estación	Periodo	Precipitación Promedio	Precipitación del año más Seco	Precipitación del año más Lluvioso
Manzanillo	1961-2015	1001.5	393.3	1867.1
Armería	1949-2015	829.8	236.3	1 502.6

Tabla 5.- Precipitación media mensual (mm). Fuente: CNA. Registro mensual de precipitación pluvial en mm.

Estación y Concepto	Periodo	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Manzanillo	2015	1.4	6.0	190.2	0,0	19.4	26.6	94.3	48.3	229.3	601.9	0.7	27.6
Promedio	De 1961 a 2015	30.5	8.5	6.2	0.2	9.6	119.7	171.7	204.6	272.6	120.5	40.1	17.3
Año más seco	1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	113,6	0,0	0.0	270,7	0,0	8,8	0.2
Año más lluvioso	2014	2.7	0,0	0,0	0,0	107.2	292.1	72.7	332.0	500.4	75.6	474.5	9.9
Armería	2015	0.8	111.5	170.8	0.0	16.0	97.9	158.3	35.0	354.4	430.5	2.7	17.4
Promedio	De 1949 a 2015	23.4	7.1	6.7	2.1	8.7	106.3	158.7	158.3	202.7	109.5	35.6	10.6
Año más seco	1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,7	37,9	91,4	11,5	36,3	30,1	10,4
Año más lluvioso	1992	394.7	16,6	0,0	0,5	19,0	86,2	356,8	385,0	125,5	100,5	17,8	0,0

Vientos.

Los vientos en superficie, en el área de Manzanillo presentan una dirección dominante por intervalos de velocidad, de acuerdo con lo siguiente: Velocidades menores o iguales que 3 m/s, del Norte con una frecuencia de 31,4%. Velocidades entre 3,1 y 6,0 m/s, del Norte, con una frecuencia de 5,74% y una dirección dominante secundaria del Oeste con 4,34%. Velocidades mayores que 6,0 m/s, del Sureste con 1,38%. Los vientos dominantes para velocidades menores que 3,0 m/s se deben a los efectos de la brisa terrestre y marina, ya que, en este nivel de velocidades se presenta una dirección dominante secundaria del Suroeste. La zona

es afectada por vientos contra-alisios del Suroeste y Oeste, entre diciembre y abril, así como la entrada de ondas y ciclones tropicales, entre mayo y noviembre, que traen vientos del Sureste y Norte. Existen dos direcciones del viento dominante en superficie para la región de estudio: en primavera – verano es afectado por sistemas tropicales que ocasionan vientos del Sureste y Norte, mientras que en otoño – invierno es afectada por los vientos contra-alisios y la corriente en chorro que provoca vientos del Suroeste y Oeste, (ver Figura 3).

Mediante un análisis de datos se observó el promedio de días en que se presentan las diferentes magnitudes de velocidad durante el año: Los vientos de 0 a 2 m/s se presentan durante el 56.7% del año (207 días), los vientos entre 3 y 4 m/s se presentan durante el 34.3% del año (125 días), mientras que los vientos en el intervalo de velocidad de 5 a 6 m/s se presentan durante 8.13% (30 días). Durante los 3 días restantes del año se presentan vientos entre 7 y 14 m/s, menos de un día al año se presentan vientos mayores que 10 m/s, lo cual indica que los fenómenos meteorológicos violentos pueden afectar a Manzanillo, pero lo hacen en forma rápida, restableciéndose enseguida las condiciones normales. (MIA-R TGNLM, CFE 2007).

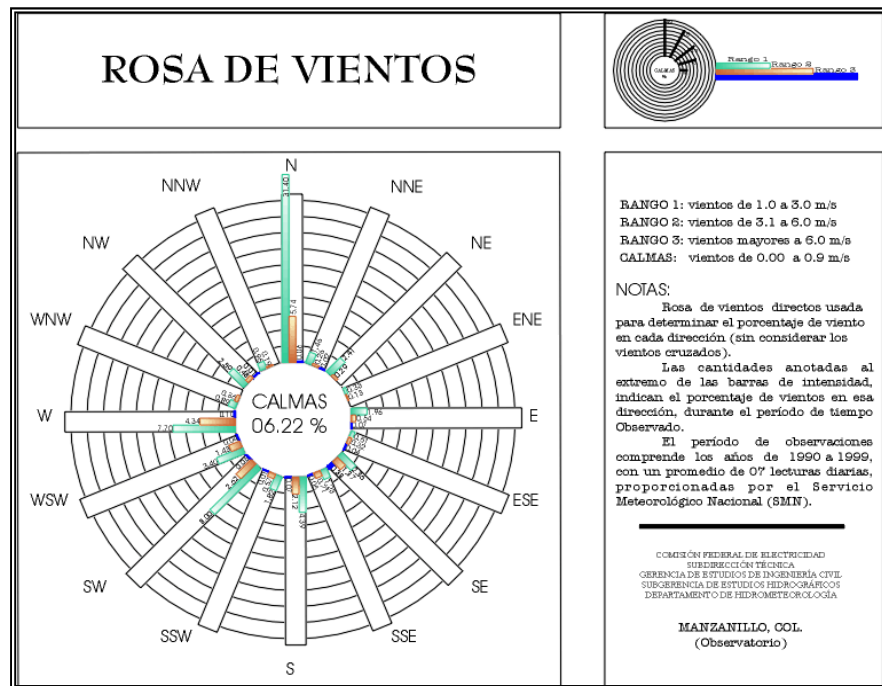


Figura 5.- Rosa de vientos anual en el área de estudio.

Huracanes y tormentas tropicales.

El área de estudio se encuentra ubicada en una zona susceptible a los huracanes y tormentas tropicales que se forman en el océano Pacífico, (ver Tabla 6). Se han presentado varios fenómenos meteorológicos catalogados como importantes: el huracán Patricia, en 2015 alcanzó la categoría 5 en la escala Saffir-Simpson, se acercó a 55 kilómetros al oeste-noroeste de la costa de Manzanillo, con vientos de 305 km/hr; la tormenta tropical "Manuel" en 2013, se acercó a 15 Km al sur-sureste de la costa de Manzanillo, con vientos de 100 km/hr. El huracán "Jova", en 2011, alcanzó la categoría 3 en la escala Saffir-Simpson. Se acercó a 110 kilómetros al suroeste de la costa de Manzanillo, con vientos de 160 km/hr. El huracán Kenna, en el año 2002, alcanzó la categoría 5 en la escala Saffir-Simpson con vientos de 230 km/h. El huracán Greg, en 1999, alcanzó la categoría 1 en la escala Saffir-Simpson, con vientos 120 km/h y Hernán en 1996, alcanzó la categoría 1 en la escala Saffir-Simpson, con vientos de 140 km/h.

Tabla 6.- Se indican los fenómenos atmosféricos que se presentaron en el área de estudio, durante los periodos 2008-2012 y 2015-2018. Fuente: Sistema Meteorológico Nacional <https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Tabla de información histórica				
Nombre	Período	Categoría máxima escala SAFFIR – SIMPSON	Vientos máximos (Km/hr)	Distancia (Km)
			Al punto más cercano del área de estudio.	
Tormenta tropical Odile	08 al 12 de oct. de 2008	Tormenta tropical	65	35
depresión Tropical "1-E"	18 al 19 de jun. de 2009	Depresión tropical	55	395
Huracán Andrés	21 al 24 de jun. de 2009	Huracán categoría 1	120	90
Huracán Jimena	28 de agt. al 04 de sept. de 2009	Huracán categoría 5	215	370
Tormenta tropical "Patricia"	11 al 14 de oct. de 2009	Tormenta tropical	440	65
Huracán "Rick"	15 al 21 de oct. de 2009	Huracán categoría 5	285	480
Tormenta tropical "Blas"	17 al 21 de jun. de 2010	Tormenta tropical	425	65
Tormenta tropical "Estelle"	05 al 10 de agt. de 2010	Tormenta tropical	65	215

Huracán "Frank"	21 al 28 de agt. de 2010	Huracán categoría 1	120	270
Huracán "Beatriz"	19 al 21 de jun. de 2011	Huracán categoría 1	150	20
Huracán "Calvin"	Del 19 al 21 de jun. de 2011	Huracán categoría 1	65	320
Huracán "Eugene"	Del 31 de jul. al 06 de agt. de 2011	Huracán categoría 4	120	700
Huracán "Greg"	Del 16 al 21 de agt. de 2011	Huracán categoría 1	85	240
Huracán "Jova"	Del 05 al 12 de oct. de 2011	Huracán categoría 3	160	110
Tormenta tropical "Héctor"	Del 11 al 16 de agt. de 2012	Tormenta tropical	55	245
Huracán "Paul"	Del 13 al 17 de oct. de 2012	Huracán categoría 3	194	1,000
Huracán Andrés	28 de my. al 4 de jun. de 2015	Huracán categoría 4	56	1,105
Huracán Blanca	31 de my. al 9 de jun. de 2015	Huracán categoría 4	150	515
Huracán Carlos	10 al 17 de jun. de 2015	Huracán categoría 1	110	50
Huracán Dolores	11 al 18 de jul. de 2015	Huracán categoría 4	110	275
Huracán Jimena	26 de agt. al 1 de sept. de 2015	Huracán categoría 4	45	1,330
Huracán Linda	5 al 10 de sept. de 2015	Huracán categoría 3	55	725
Huracán Marty	26 de sept. al 1 de oct. de 2015	Huracán categoría 1	45	255
Huracán Patricia	20 al 24 de oct. de 2015	Huracán categoría 5	305	55
Tormenta Tropical Rick	18 al 22 de nov. de 2015	Tormenta Tropical	65	495
Huracán Sandra	23 al 28 de nov. de 2015	Huracán categoría 4	100	850
Huracán Blas	2 al 10 de jul. de 2016	Huracán categoría 4	55	975
Huracán Celia	6 al 15 de jul. de 2016	Huracán categoría 2	55	915
Huracán Darby	11 al 20 de jul. de 2016	Huracán categoría 3	55	460
Tormenta Tropical Estelle	15 al 22 de jul. de 2016	Tormenta Tropical	55	560
Huracán Frank	21 al 28 de jul. de 2016	Huracán categoría 1	85	330
Tormenta Tropical Javier	7 al 9 de agt. de 2016	Tormenta Tropical	55	80
Huracán Lester	24 al 31 de agt. de 2016	Huracán categoría 4	55	730
Huracán Newton	4 al 7 de sept. de 2016	Huracán categoría 1	75	210
Huracán Seymour	23 al 28 de oct. de 2016	Huracán categoría 4	85	590
Tormenta Tropical Tina	13 al 14 de nov. de 2016	Tormenta Tropical	65	300
Huracán Dora	24 al 28 de jun. de 2017	Huracán categoría 1	110	265
Huracán Fernanda	11 al 20 de jul. de 2017	Huracán categoría 4	65	1,025

Tormenta Tropical Greg	17 al 26 de jul. de 2017	Tormenta Tropical	55	550
Huracán Hilary	21 al 30 de jul. de 2017	Huracán categoría 2	155	470
Depresión Tropical No. 11-E	4 al 5 de agt. de 2017	Depresión Tropical	45	535
Tormenta Tropical Lidia	29 de agt. al 3 de sept. de 2017	Tormenta Tropical	55	330
Huracán Otis	11 al 19 de sept. de 2017	Huracán categoría 3	45	895
Tormenta Tropical Pilar	23 al 25 de sept. de 2017	Tormenta Tropical	65	110
Huracán Aletta	5 al 11 de jun. de 2018	Huracán categoría 4	75	565
Huracán Bud	9 al 15 de jun. de 2018	Huracán categoría 4	165	340
Tormenta Tropical Emilia	27 de jun. al 1 de jul. de 2018	Tormenta Tropical	55	775
Huracán Fabio	30 de jun. al 6 de jul. de 2018	Huracán categoría 2	85	845
Tormenta Tropical Gilma	26 al 29 de jul. de 2018	Tormenta Tropical	25	1015
Tormenta Tropical Ileana	4 al 7 de agt. de 2018	Tormenta Tropical	95	130
Huracán John	5 al 10 de agt. de 2018	Huracán categoría 2	65	500
Huracán Olivia	31 de agt. al 8 de sept. de 2018	Huracán categoría 4	55	680
Huracán Rosa	25 de sept. al 2 de oct. de 2018	Huracán categoría 4	55	590
Huracán Sergio	29 de sept. al 12 de oct. de 2018	Huracán categoría 4	95	775
Tormenta Tropical Tara	14 al 16 de oct. de 2018	Tormenta Tropical	95	40
Tormenta Tropical Vicente	19 al 23 de oct. de 2018	Tormenta Tropical	65	380
Huracán Willa	20 al 24 de oct. de 2018	Huracán categoría 5	260	300
Tormenta Tropical Xavier	2 al 5 de nov. de 2018	Tormenta Tropical	85	155

2.3. Muestreo

2.3.1. Periodos de muestreo

Los muestreos se realizaron mensualmente durante dos periodos; el primer periodo fue antes de la reapertura del canal de Tepalcates comprendido entre los años 2009-2011 y el segundo periodo fue después de la reapertura del canal entre los años 2015-2018.

El primer periodo de monitoreo corresponde de septiembre de 2009 a febrero de 2011 que comprende 26 estaciones de muestreo repartidas de la siguiente manera: en el vaso I, siete estaciones (I-1A a I-7A); en el vaso II, trece estaciones (II-1A a II-

13A) y vaso III, seis estaciones (III-1A a III-6A); la posición geográfica y su distribución se muestran en la Tabla 7 y Figura 6, respectivamente.

Tabla 7.- Relación de estaciones de muestreo y posiciones geográficas en los distintos vasos antes de la ampliación del canal Tepalcates.

Vaso	Antes	Posición geográfica.
I	I-1A	19°01'51.9" N, 104°19'46.1" O
	I-2A	19°01'51.9" N, 104°19'33.7" O
	I-3A	19°01'50.1" N, 104°19'23.6" O
	I-4A	19°02'03.2" N, 104°19'16.8" O
	I-5A	19°02'20.3" N, 104°19'27.7" O
	I-6A	19°02'27.6" N, 104°19'11.9" O
	I-7A	19°02'34.4" N, 104°19'03.1" O
II	II-1A	19°02'55.4" N, 104°18'44.1" O
	II-2A	19°02'45.2" N, 104°18'39.0" O
	II-3A	19°01'59.5" N, 104°18'33.0" O
	II-4A	19°02'12.4" N, 104°17'36.7" O
	II-5A	19°01'32.5" N, 104°17'11.2" O
	II-6A	19°02'23.9" N, 104°16'34.5" O
	II-7A	19°01'36.2" N, 104°16'15.0" O
	II-8A	19°01'07.1" N, 104°16'01.4" O
	II-9A	19°01'30.0" N, 104°15'20.4" O
	II-10A	19°00'45.2" N, 104°15'21.4" O
	II-11A	19°00'43.2" N, 104°15'41.1" O
	II-12A	19°00'30.7" N, 104°15'18.8" O
	II-13A	19°00'36.6" N, 104°14'46.9" O
III	III-1A	18°59'58.0" N, 104°14'16.0" O
	III-2A	19°00'10.4" N, 104°13'18.2" O
	III-3A	19°00'06.1" N, 104°12'26.1" O
	III-4A	18°59'55.0" N, 104°11'44.6" O
	III-5A	18°59'34.9" N, 104°10'15.4" O
	III-6A	18°59'04.8" N, 104°08'52.2" O



Figura 6.- Localización de las 26 estaciones de muestreo en los vasos I, II y III antes de la ampliación del canal de Tepalcates (adaptada de Google Earth, 2020).

El segundo periodo de monitoreo, realizado después de la reapertura del canal de Tepalcates, fue de enero de 2015 a diciembre de 2018, con 19 estaciones de muestreo repartidas de la siguiente manera: en el vaso I, 3 estaciones (I-8D a I-10D); en el vaso II, 12 estaciones (II-14D a II-25D) y vaso III, 4 estaciones (III-7D a III-10D). La distribución de estas estaciones y su posición geográfica se muestran a continuación (Figura 7 y Tabla 8, respectivamente).

Tabla 8.- Relación de estaciones de muestreo y posiciones geográficas en los distintos vasos después de la ampliación del canal Tepalcates.

Vaso	Después	Posición geográfica.
I	I-8D	19°1'50.82" N, 104°19'44.56" O
	I-9D	19°2'7.04" N, 104°19'25.43" O
	I-10D	19°2'25.33" N, 104°19'11.78" O
II	II-14D	19°1'50.82" N, 104°18'46.63" O
	II-15D	19°2'46.01"N, 104°18'39.89" O
	II-16D	19°2'16.25" N, 104°17'50.86" O
	II-17D	19°1'43.19" N, 104°17'22.91" O
	II-18D	19°2'24.8" N, 104°16'41.09" O
	II-19D	19°1'9.74" N, 104°15'60.00" O

	II-20D	19°1'34.11" N, 104°15'27.12" O
	II-21D	19°1'1.70" N, 104°15'22.30" O
	II-22D	19°00'49.1" N, 104°15'32.8" O
	II-23D	19°01'10.1" N, 104°15'20.5" O
	II-24D	19°00'35.8" N, 104°14'46.8" O
	II-25D	19°00'13.9" N, 104°15'18.9" O
III	III-7D	19°00'36.2" N, 104°14'31.0" O
	III-8D	18°59'57.6" N, 104°14'17.8" O
	III-9D	19°00'21.1" N, 104°13'07.6" O
	III-10D	18°59'52.6" N, 104°11'32.4" O



Figura 7.- Localización de las 19 estaciones de muestreo en los vasos I, II y III después de la ampliación del canal de Tepalcates (adaptada de Google Earth, 2020).

2.3.2. Muestreos y parámetros monitoreados

Los muestreos se realizaron de manera mensual, en la primera quincena de cada mes, entre las 8:00 y las 13:00 h, en condiciones de pleamar, a bordo de una embarcación de 19 pies de eslora con motor fuera de borda. Para los distintos parámetros monitoreados se emplearon frascos de plástico de entre 100 y 1000 ml de capacidad, los cuales permanecieron en refrigeración dentro de una hielera

durante el muestreo, hasta que fueron transportados al laboratorio para su determinación.

Los parámetros determinados en la columna de agua de forma superficial (30 cm de profundidad) fueron: Temperaturas, Oxígeno Disuelto, Potencial de Hidrogeno (pH), Nitrógeno Inorgánico Disuelto (nitratos, nitritos y amonio), Fósforo Inorgánico Reactivo (ortofosfatos) y Clo-a.

En ambos periodos, la determinación de los SST se realizó en el laboratorio, mediante la medición cuantitativa de los Sólidos Sedimentables, Sólidos y Materia Orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante, y posterior evaporación de la muestra, llevándola hasta la sequedad en la estufa a 103°C-105°C.

El Muestreo del agua se realizó mediante la aplicación del procedimiento basado en la normatividad vigente (NMX-AA-003-1980 AGUAS RESIDUALES-MUESTREO y NMX-AA-014-1980 CUERPOS RECEPTORES MUESTREO).

Cada muestra se identificó con etiquetas en las que se incluye la siguiente información:

- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Personal que recolectó la muestra.
- Tipo de análisis para el que se recolectó la muestra.
- Tipo de preservación de la muestra (solo si aplica).

Cada lote de muestras se registró en una cadena de custodia en donde se especifican los datos del proyecto y de las muestras (fecha, hora, número consecutivo, análisis a realizar, personal involucrado, entre otras).

2.3.3. Método analítico en el periodo 2009-2011

Durante los muestreos de agua en los tres vasos del Sistema lagunar, se obtuvieron *In Situ* valores de: Temperatura y pH, utilizando una sonda multiparámetros marca Hydrolab modelo MS5; Clo-a mediante un equipo Fluorómetro Aquaflour TURNER

DESIGNS modelo 8000-010 y Oxígeno Disuelto mediante el método Iodométrico (Winkler).

Las muestras colectadas se enviaron al Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua (LDQA), de CFE, ubicado en el Centro de Trabajo Tenayuca, en Tlalnepantla, Estado de México. Los parámetros analizados en el LDQA fueron: Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Inorgánico Disuelto (nitratos, nitritos y amonio), Fósforo Inorgánico Reactivo (ortofosfatos), Salinidad de Knudsen y Silicatos (SiO_2).

Durante cada monitoreo el equipo fue calibrado con los siguientes materiales de referencia:

- Buffer marca HACH de pH 7 y 10, para determinar pH
- Conductividad Eléctrica solución de cloruro de potasio 59 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Estándar sólido secundario (PN 8000-950), para Clo-a.

Para los nutrientes inorgánicos disueltos como Nitratos, Nitritos y Amonio se utilizaron las técnicas colorimétricas descrita por Strickland y Parsons (1968). Los Ortofosfatos se cuantificaron en base a la técnica propuesta por Murphy y Riley (1962). Los Silicatos (SiO_2) se determinaron mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con flama utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica AAnalyst 700.

2.3.4. Método analítico en el periodo 2015-2018

La temperatura del agua y el Oxígeno disuelto fueron determinados de manera *in situ* utilizando una sonda automatizada YSI 85 previamente calibrada con una precisión de 0.01 unidades.

Las muestras colectadas fueron llevadas al Laboratorio de Química Analítica del Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad de Colima, Campus Manzanillo; donde fueron congelados a $-18\text{ }^\circ\text{C}$ hasta su determinación, o donde fueron procesados y determinados según técnicas analíticas.

La determinación de Nitratos, Nitritos, Amonio y Ortofosfatos se realizó colorimétricamente, utilizando un autoanalizador de flujo segmentado SKALAR San

Plus II con una precisión de 0.01 μM , según las siguientes técnicas propuestas por Strickland y Parsons (1972), Solórzano (1969) y Grasshoff *et al.* (1983).

Para la Clo-a se realizó el método tricromático descrito por Strickland y Parsons (1972), en el cual, se determina mediante la lectura a diferentes longitudes de onda (665, 645 y 630 nm y 750 nm para correcciones por error de turbidez en las celdas), para lo cual la muestra se colocó en un tubo de centrifuga de 15 ml y se le agregó 10 ml de acetona al 90%, el cual se almacenó durante 24 horas en refrigeración y en total oscuridad. Posteriormente, se centrifugó durante 10 minutos, a 3500 rpm, para decantar parte del sobrenadante en una celda de cuarzo de 10 ml, para su posterior lectura en un espectrofotómetro de luz visible marca Jenway, modelo 6500.

Estas lecturas se llevaron a cabo contra un blanco de acetona al 90%, la misma que se utilizó para la extracción. Se restó la extinción a 750 nm de las extinciones a 665, 645 y 630 nm. La concentración para cada Clo-a en $\mu\text{g/L}$ (mg/m^3) se obtuvo a partir de la siguiente ecuación (SCOR/UNESCO, 1980):

$$\text{Clo-a} = 11.64 E_{665} - 2.16 E_{645} + 0.10 E_{630}$$

Los valores obtenidos se multiplicaron por el volumen de la extracción en mililitros (10 ml) y se dividieron entre el volumen de la muestra de agua en litros.

2.3.5. Índice trófico mediante el modelo TRIX

Es un índice multivariado denominado índice del estado trófico TRIX, propuesto por Vollenweider *et al.* (1998), el cual se obtiene según la siguiente expresión:

$$\text{TRIX} = [\text{Log}_{10} (\text{Clo-a} \times \% \text{OD} \times \text{NID} \times \text{PRS}) + \text{K}] / \text{m}$$

Dónde: cada uno de los cuatro componentes representa un estado trófico variable a decir que:

(a) Factores de productividad

Clo-a = concentración de Clorofila-a (mg/m^3)

%OD = valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir, $[100 - \% \text{OD}]$

(b) Factores nutricionales

NID = nitrógeno inorgánico disuelto N como: $[\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+]$, en (mg/m^3)

PRS = fósforo reactivo soluble (mg/m^3)

Las constantes $K = 1.5$ y la constante $m = 12/10 = 1.2$, son valores de escala introducidos para ajustar el valor límite más bajo del índice TRIX. Tiene valores entre 0 y 10 y cubre cuatro estados tróficos y de la calidad del agua que son los siguientes según el valor obtenido. (Tabla 9)

Tabla 9.- Valor y calidad del agua según Índice TRIX. Fuente: Vollenweider et al. (1998).

Escala TRIX	Índice trófico	Características del agua
0 – 4	Oligotrófico	Pobrementemente productiva, nivel trófico bajo
4 – 5	Mesotrófico	Moderadamente productiva, nivel trófico medio
5 – 6	Eutrófico	Entre moderada y alta en cuanto a productividad
6 – 10	Hipertrófico	Altamente productiva, nivel trófico el más alto

Para obtener el valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto $[100 - \%OD]$, se utilizará la Ley de Henry la cual establece que la concentración de equilibrio o saturación del gas disuelto en un líquido está en función de la presión parcial del gas sobre el líquido (Metcalf & Eddy, 1979).

$$P_g = Hx_g$$

Donde P_g = presión parcial del gas, atm

H = constante de la Ley de Henry

X_g = fracción molar de equilibrio disuelto.

$$= \text{moles de gas}(n_g) / [\text{moles de gas}(n_n) + \text{moles de agua}(n_w)]$$

La constante de la Ley de Henry está en función de la temperatura, los constituyentes y el tipo de líquido.

Considerando que el SLC es una laguna costera, la densidad del agua que se utilizará en la ecuación de la Ley de Henry se determinará a partir de los valores de salinidad obtenidos durante el periodo de estudio.

2.4 Método estadístico

Para el análisis de los resultados y para conocer el comportamiento de las diferentes variables consideradas durante el período de muestreo, se utilizó estadística descriptiva (máximo, mínimo, mediana y desviación estándar) para cada vaso, cada mes y cada año.

La normalidad y homocedasticidad de los datos se obtuvo al aplicar las pruebas de Kolmogorov-Smirnov's y Lilliefors; Bartlett, Hartley y Cochran respectivamente. Para determinar o descartar la existencia de diferencias significativas en los indicadores de eutrofización entre zonas por período de muestreo y nivel de eutrofización, entre épocas climáticas. Se emplearon pruebas paramétricas (ANOVA 1 vía) para el conjunto de datos normales y homogéneos, y pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) cuando los datos no presentaron una distribución normal y homogeneidad de varianza.

Cuando las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas, se aplica la prueba, a posteriori, de diferencia mínima significativa de Tukey-HSD, para saber entre cuáles existían tales diferencias. Todas las pruebas se realizaron con un intervalo de confianza del 95%, o una significancia de 0.05 ($\alpha=0.05$) en el software Statistica versión 10.

2.5. Metodología para la revisión de la evolución de la normatividad ambiental aplicable al área de estudio (antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates)

Se realizó una escala de tiempo, considerando la legislación Federal, Estatal y Municipal, las Normas Oficiales Mexicanas, los ordenamientos ecológicos, las áreas naturales protegidas, los Sitios Ramsar, así como las autorizaciones ambientales

emitidas por la SEMARNAT para el desarrollo de infraestructura en el SLC. Por lo anterior se realizará lo siguiente:

2. Consulta y análisis de información en direcciones electrónicas como:

- <http://sinat.semarnat.gob.mx/Gaceta/aniosgaceta> en la que se obtendrá la clave del proyecto, promovente, entidad federativa, municipio, modalidad del estudio evaluado (MIA, IP, etc.), fecha de ingreso y fecha de resolución.
- <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/consultatramite/inicio.php> en la que se ingresará la clave del proyecto y se obtendrán los oficios resolutivos de las autorizaciones ambientales emitidas por la SEMARNAT para la construcción y operación de los proyectos de infraestructura desarrollados en el SLC durante el periodo de estudio.

3. Consultar la legislación Federal, Estatal y Municipal, reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas publicadas en el Diario Oficial de la Federación, a través de la plataforma LEGISMEX (<http://www.legismex.com.mx/>).

4. Para la identificación y análisis de las Unidades de Gestión Ambiental y Sitios Ramsar en el área de estudio se utilizará la plataforma SIGEIA (Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental) en la dirección electrónica <https://mapas.semarnat.gob.mx/sigeia/#/sigeia> en esta plataforma se cargará la información geográfica en archivo .KML, trazado previamente en la plataforma Google Earth y se obtendrán las capas de los instrumentos normativos de los Ordenamientos Ecológicos (OE) y Sitios Ramsar correspondientes.

5. Para la identificación de las Áreas Naturales Protegidas en el área de estudio, se utilizará la plataforma digital de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) en las direcciones electrónicas <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/> y <https://www.gob.mx/conanp>, obteniéndose los mapas cartográficos de las regiones CONANP y los archivos .KML y SHAPE los cuales contienen la información de las Regiones CONANP. Posteriormente con la ayuda de la plataforma Google Earth se realizará el análisis tomando un punto de referencia (*coordenadas x= 579386.21 m E, y=2102091.37 m N*) dentro del área de estudio y trazando un radio de 25 km.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Objetivo 1. Determinar la variación espaciotemporal de los parámetros fisicoquímicos

Se realizó el análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos, tomando en cuenta las temporadas de lluvia y de estiaje de los vasos I, II y III así, como los periodos comprendidos entre el 2009-2011 y 2015-2018.

Aplicando las pruebas no paramétricas (kruskal-wallis) y, *a posteriori*, comparación múltiple, con un nivel de significancia de $p=0.05$, se observó que los datos mantuvieron un comportamiento anormal y no homogéneo.

La distribución de los datos obtenidos registró una variabilidad significativa entre ellos, por lo que en este trabajo se utilizó la mediana como medida de tendencia central.

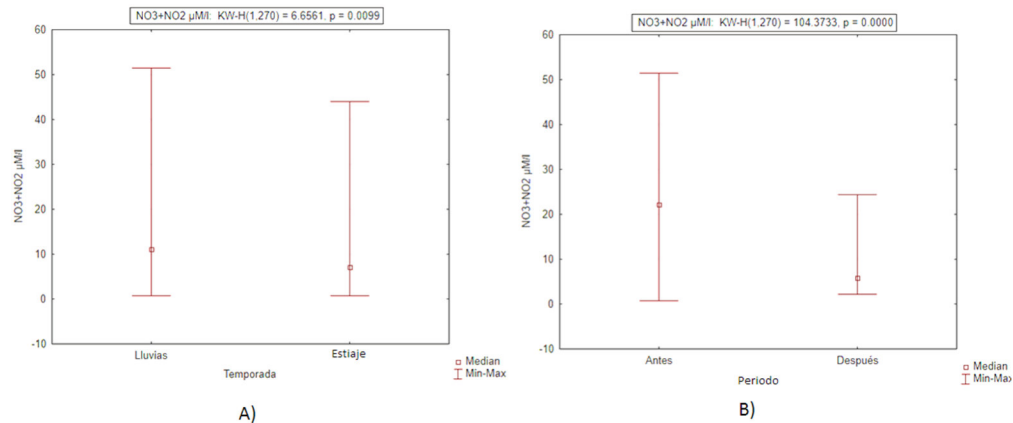
3.1.1. Vaso I. Variación de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros químico-biológicos

I. Nitratos y nitritos ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)

Durante las temporadas de lluvias y de estiaje, los valores obtenidos de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, en el vaso I, fue de $0.70 \mu\text{M/l}$, como valor mínimo para ambas temporadas y de 51 y $44 \mu\text{M/l}$, como máximos, respectivamente. La temporada de lluvia registró mayores fluctuaciones. Los valores de las medianas fueron de 11.18 y $7.15 \mu\text{M/l}$, respectivamente. Estadísticamente se obtiene una diferencia significativa entre las muestras ($p=0.0099$), ver Gráfica 1 A.

Las concentraciones de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, antes de la reapertura del canal de Tepalcates, fueron $0.70 \mu\text{M/l}$ (mínima) y $51.50 \mu\text{M/l}$ (máxima). Después de la reapertura, fueron $2.17 \mu\text{M/l}$ (mínima) y $24.37 \mu\text{M/l}$ (máxima). Antes de la reapertura del canal de Tepalcates, se registró mayor fluctuación de las concentraciones que después. Los valores de las medianas fueron de $22.28 \mu\text{M/l}$ (antes) y $5.8 \mu\text{M/l}$ (después). Estadísticamente se obtuvo una diferencia significativa entre las muestras ($p=0.0000$), ver Gráfica 1 B.

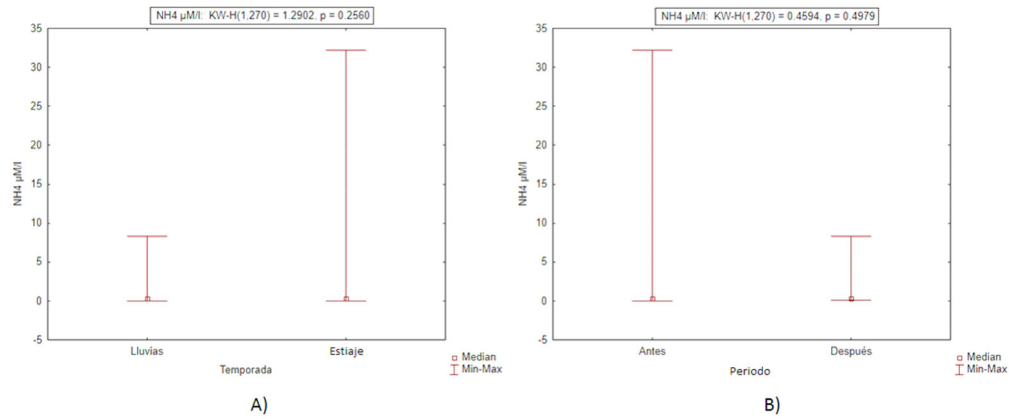


Gráfica 1.- Vaso I comparación de la concentración de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

II. Amonio

El NH_4^+ durante la temporada de lluvia, registró un máximo de $8.26 \mu\text{M/l}$ y en temporada de estiaje $32.22 \mu\text{M/l}$, teniendo una diferencia de $23.96 \mu\text{M/l}$ entre dichas temporadas analizadas. Los mínimos para ambas temporadas fueron de $0 \mu\text{M/l}$. Las medianas obtenidas para ambas temporadas, fue de $0.32 \mu\text{M/l}$ de NH_4^+ en el vaso I. Estadísticamente no se obtiene una diferencia significativa entre las muestras ($p=0.2560$), ver Gráfica 2 A.

Antes de la reapertura del canal de Tepalcates, se registraron concentraciones de hasta $32.22 \mu\text{M/l}$; después de la reapertura, la concentración máxima fue de $8.26 \mu\text{M/l}$ y una concentración mínima de $0.1 \mu\text{M/l}$ para ambos periodos. Las medianas registraron concentraciones de $0.31 \mu\text{M/l}$ para ambos periodos. Estadísticamente no se obtiene una diferencia significativa entre las muestras ($p=0.4594$), ver Gráfica 2 B.

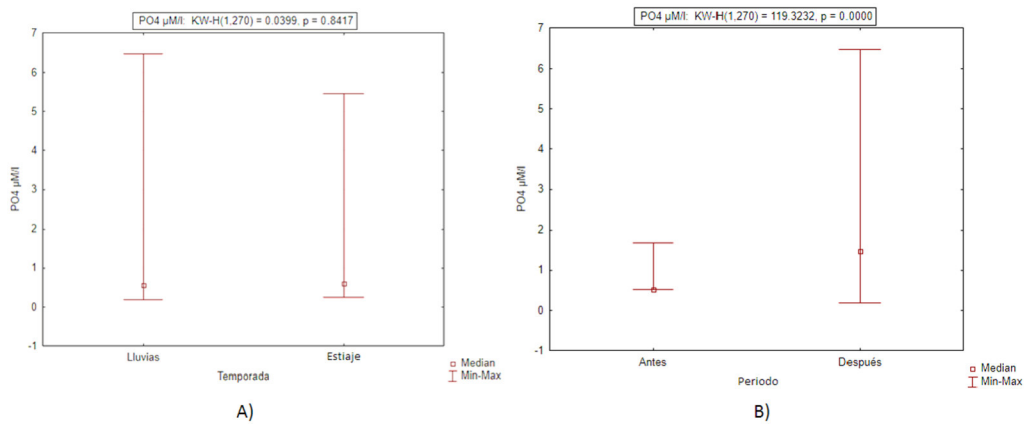


Gráfica 2.- Vaso I comparación de la concentración NH_4^+ : A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

III. Fosfatos

Los valores obtenidos de PO_4^{3-} en el vaso I, durante las temporadas de lluvia y de estiaje, registraron concentraciones máximas de 6.46 y 5.46 $\mu\text{M/l}$ y mínimas de 0.19 y 0.16 $\mu\text{M/l}$ respectivamente, con medianas, cercanas entre sí, de 0.59 y 0.61 $\mu\text{M/l}$. Estadísticamente no se obtiene una diferencia significativa entre las muestras ($p=0.8417$), ver Gráfica 3 A.

Las concentraciones de PO_4^{3-} , en el vaso I, antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates tuvieron valores máximos de 1.68 y 6.46 $\mu\text{M/l}$, respectivamente. Las medianas para los diferentes periodos fueron de 0.52 (antes) y 1.47 $\mu\text{M/l}$ (después), por lo que se obtuvo una diferencia significativa entre dichos periodos analizados ($p=0.0000$), ver Gráfica 3 B.

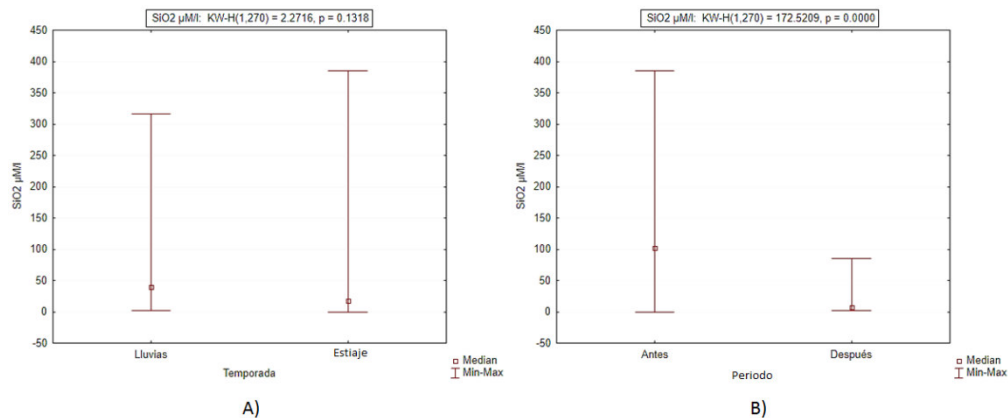


Gráfica 3.- Vaso I comparación de fosfatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

IV. Silicatos

La concentración de silicatos (SiO_2) en el vaso I, durante las temporadas de lluvia y de estiaje, registraron valores máximos de 316.70 y 385.06 $\mu\text{M/l}$, respectivamente, con una diferencia de 68.36 $\mu\text{M/l}$; mientras que los mínimos obtenidos fueron de 1.87 y 0.0 $\mu\text{M/l}$ respectivamente. Las medianas para las temporadas de lluvia y estiaje fueron de 39.87 y 19.30 $\mu\text{M/l}$. Estadísticamente no se cuenta con diferencia significativa entre las temporadas ($p=0.1318$), ver Gráfica 4 A.

Con relación a las variaciones entre periodos, las concentraciones máximas oscilaron entre 385.06 (antes) y 85.80 $\mu\text{M/l}$ (después), con una diferencia de 299.26 $\mu\text{M/l}$, los mínimos se mantuvieron entre 0 (antes) y 1.87 $\mu\text{M/l}$ (después), Las medianas para el antes fue de 101.59 $\mu\text{M/l}$ y para después 7.64 $\mu\text{M/l}$. Estadísticamente se obtuvo una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 4 B.

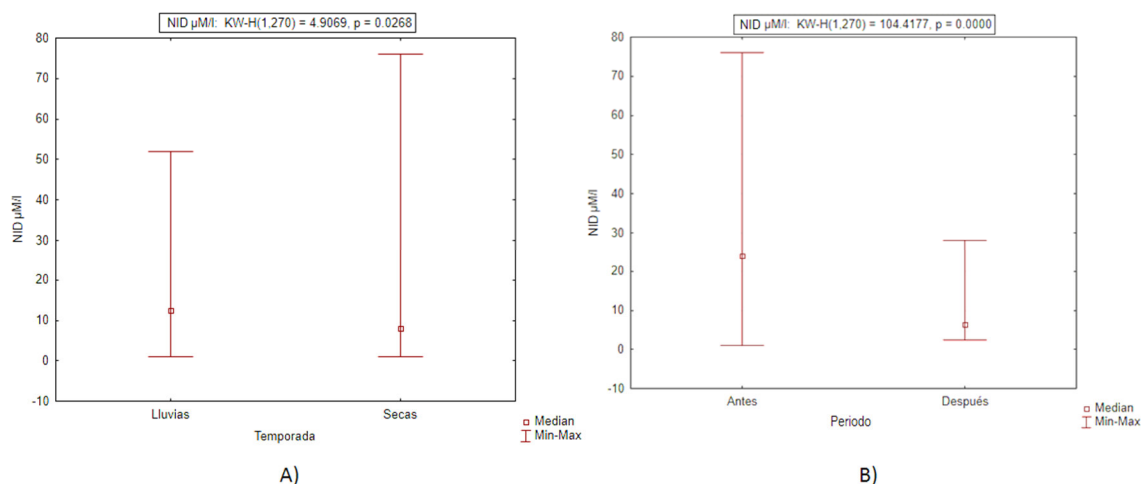


Gráfica 4.- Vaso I comparación de los silicatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

V. Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, las concentraciones de Nitrógeno inorgánico disuelto que corresponden a la suma de las concentraciones de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$, el vaso I, se obtuvieron valores máximos de 51.87 $\mu\text{M/l}$ (durante lluvia) y 76.16 $\mu\text{M/l}$ (para estiaje), con una diferencia de 24.29 $\mu\text{M/l}$. El intervalo para los mínimos fue de 0.93 (lluvia) y 0.95 $\mu\text{M/l}$ (estiaje). Las medianas obtenidas fueron de 12.57 $\mu\text{M/l}$ (lluvia) y 7.93 $\mu\text{M/l}$ (estiaje). Estadísticamente, se obtuvo una diferencia significativa ($p=0.0268$), ver Gráfica 5 A.

Las concentraciones del NID, antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, presentaron máximos de 76.16 y 28.24 $\mu\text{M/l}$ respectivamente, observándose una diferencia de 47.92 $\mu\text{M/l}$ entre ambas. Los mínimos obtenidos fueron de 0.95 $\mu\text{M/l}$ (antes) y 2.44 $\mu\text{M/l}$ (después). Las medianas oscilaron entre 23.85 y 6.31 $\mu\text{M/l}$, respectivamente. Estadísticamente se obtuvo una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 5 B.

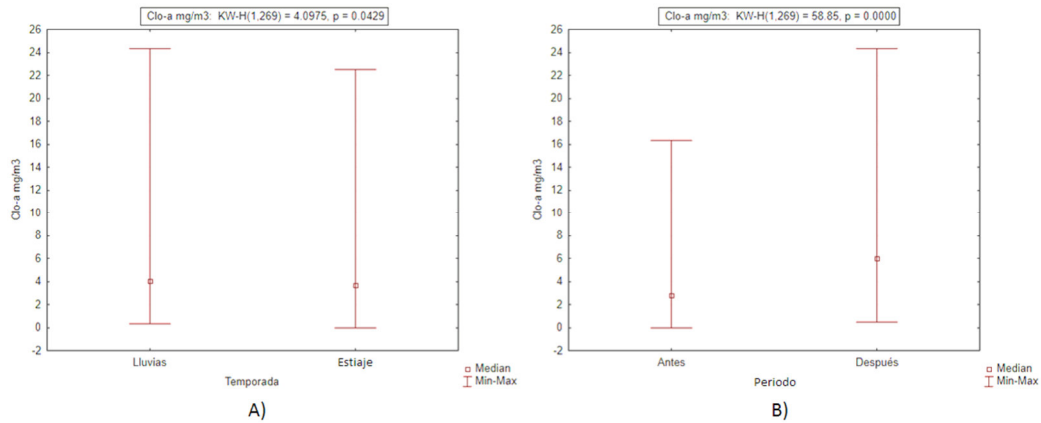


Gráfica 5.- Vaso I comparación del nitrógeno inorgánico disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

VI. Clorofila-a (Clo-a)

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, las concentraciones de Clo-a, registraron máximos de 24.37 mg/m^3 y 22.49 mg/m^3 respectivamente. Los valores mínimos registrados fueron de 0.33 mg/m^3 (lluvia) y 0.0 mg/m^3 (estiaje). Las concentraciones de las medianas fueron de 4.02 mg/m^3 y 3.71 mg/m^3 . Estadísticamente no registraron diferencias significativas entre temporadas ($p=0.0429$), ver Gráfica 6 A.

Antes de la reapertura del canal de Tepalcates, se registraron concentraciones de Clo-a con máximos de 16.31 y 24.37 mg/m^3 respectivamente y las mínimas se acercan a 0.0 mg/m^3 , las medianas fueron de 2.81 y 6.02 mg/m^3 (antes y después de la reapertura), obteniendo una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 6 B.



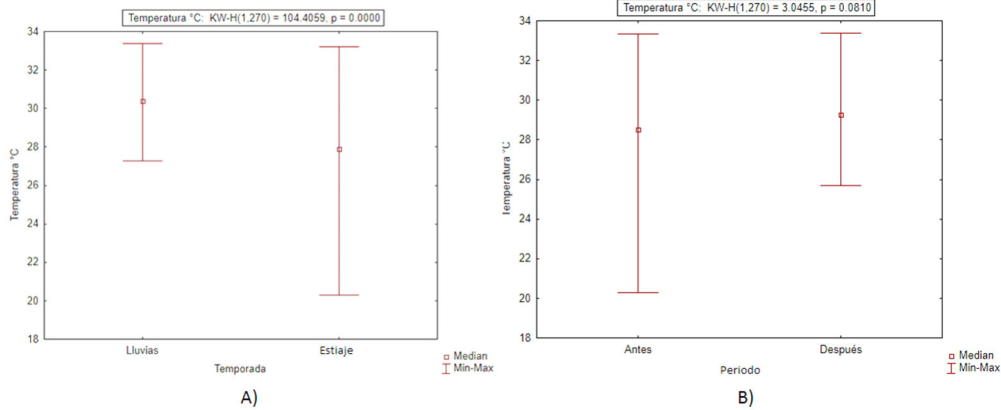
Gráfica 6.- Vaso I comparación de la Clo-a: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

Parámetros físicos

I. Temperatura

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, los valores máximos registrados de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el vaso I, fueron de 33.4°C y 33.32°C , respectivamente. Los valores mínimos fueron de 27.28°C (lluvia) y 20.27°C (estiaje), respectivamente, se registra una diferencia de 6°C . Los valores de las medianas obtenidas fueron de 30.4°C (lluvia) y 27.90°C (estiaje). Estadísticamente se muestra una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 7 A.

Respecto a la variación de la temperatura en los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, se presentan máximas de 33.32 y 33.40°C , respectivamente, mientras que las mínimas de temperatura fueron de 20.27 (antes) y 25.70°C (después). El valor de las medianas fue de 28.53 y 29.25°C (para los periodos anterior y posterior a la reapertura del canal), por lo que no registró diferencias significativas ($p=0.0810$), ver Gráfica 7 B.

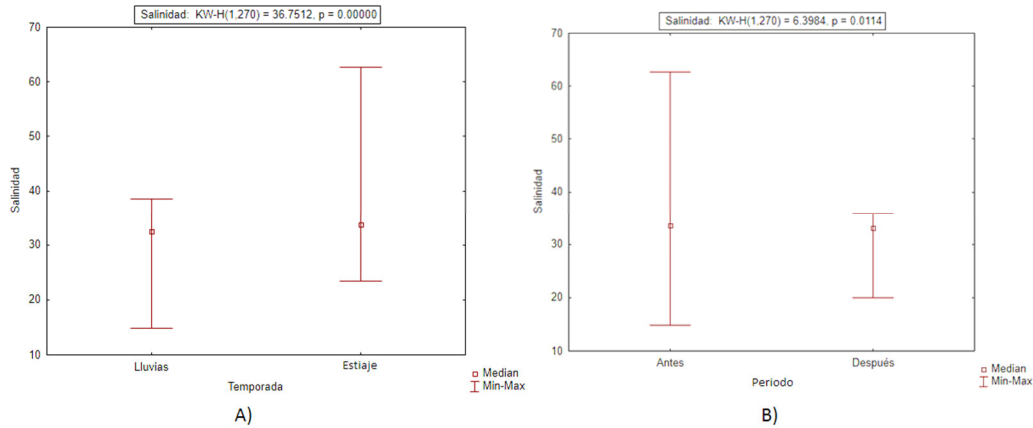


Gráfica 7.- Vaso I comparación de la temperatura: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

II. Salinidad

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, para el caso de la salinidad, se registra un máximo de 38.60 y 62.66 UPS, respectivamente, obteniendo una diferencia de 24 UPS entre dichas temporadas. En el caso de los mínimos de lluvia y de estiaje fueron de 14.85 y de 23.4 UPS respectivamente; por lo anterior, se obtuvo una diferencia significativa ($p=0.0000$), aun cuando la variación de las medianas fue de 32.45 (lluvia) y 33.73 UPS (estiaje), ver Gráfica 8 A.

Las concentraciones de salinidad para los periodos antes y después de la reapertura del canal Tepalcates, registraron máximas de 62.66 y de 35.90 UPS, respectivamente, con mínimos de 14.85 y 20 UPS. Mientras que las medianas de antes y después fueron de 32.5 y de 32.28 UPS, respectivamente. Estadísticamente registraron una diferencia significativa ($p=0.0114$), ver Gráfica 8 B.

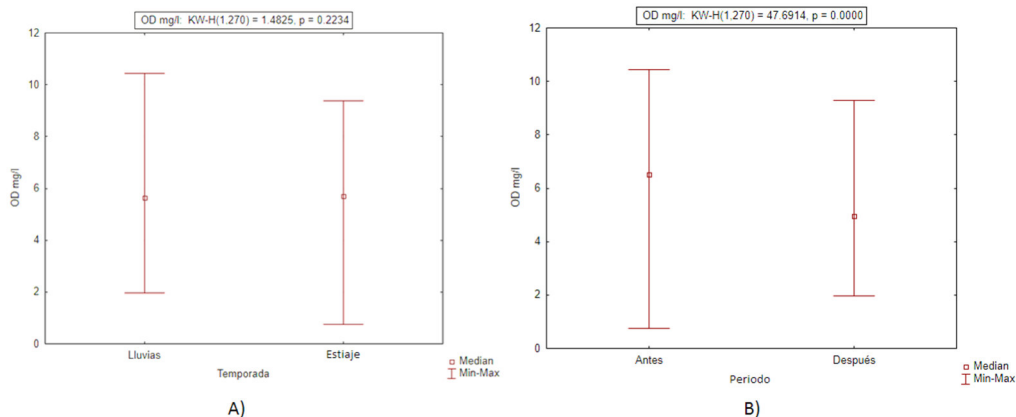


Gráfica 8.- Vaso I comparación de la salinidad: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

III. Oxígeno disuelto

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, los valores de Oxígeno disuelto (OD) registrados mostraron unas máximas de 10.46* y 9.37* mg/l, respectivamente. Los mínimos oscilaron para lluvia y para estiaje entre 1.98 a 0.74 mg/l, respectivamente, las medianas de las temporadas de lluvia y estiaje registran concentraciones de 5.6 y 5.72 mg/l, respectivamente; no mostrando una diferencia significativa ($p=0.2234$), ver Gráfica 9 A.

Las concentraciones de Oxígeno disuelto (OD) entre periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, se tienen un máximo de 10.46* y 9.30* mg/l, respectivamente, con mínimos de 0.74 (antes) y 1.98 mg/L (después). Los valores de las medianas obtenidas fueron de 6.52 mg/l antes de la reapertura del canal y de 4.95 mg/l después. Estadísticamente se obtiene una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 9 B.

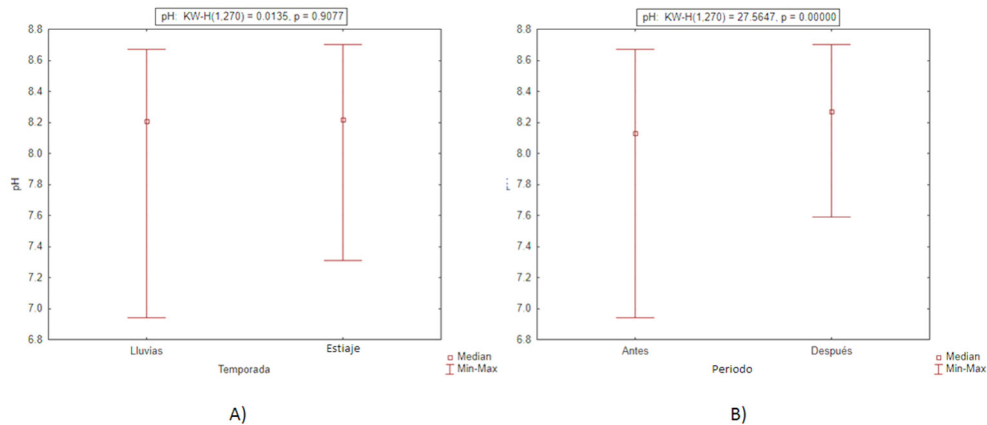


Gráfica 9.- Vaso I comparación de Oxígeno disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

IV. Potencial de Hidrógeno

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, los valores obtenidos del pH registrado en el vaso I durante temporadas registraron máximos de 8.67 y 8.7 respectivamente; los mínimos fueron de 6.94 (lluvia) y 7.31 (estiaje). Los valores medios mostraron un mismo comportamiento entre las temporadas, con valores de 8.21. Debido a esto, no se registró una diferencia significativa entre las medianas ($p=0.9077$), ver Gráfica 10 A.

Para el caso de los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates se obtuvieron valores máximos de 8.67 y 8.7, mientras que los valores mínimos fueron de 6.94 y 7.59, respectivamente. Los valores de las medianas de los pH obtenidos en el vaso I antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates fueron de 8.13 y 8.27, respectivamente. Estadísticamente se muestra una variación significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 10 B.

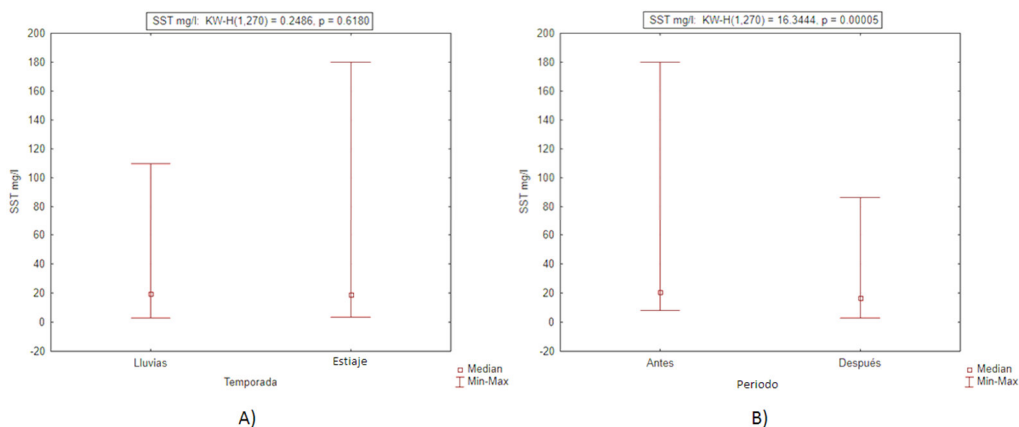


Gráfica 10.- Vaso I comparación del pH: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

V. Sólidos suspendidos totales

Durante las temporadas de lluvia y de estiaje, los valores máximos registrados fueron de 110 y de 180 mg/l, respectivamente, teniendo una diferencia de hasta 70 mg/l entre temporadas, mientras que se obtuvieron mínimos de 3.0 (lluvia) y 3.2 mg/l (estiaje). Los valores medios obtenidos mostraron un comportamiento similar, ya que los valores oscilaron entre 19.40 (lluvia) y 19 mg/l (estiaje). Estadísticamente no se obtiene una variación significativa ($p=0.6180$), ver Gráfica 11 A.

Por otra parte, la concentración de SST en el vaso I, antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates registró máximos de 180 mg/l y de 86.4 mg/l, respectivamente, con una diferencia de hasta 93.6 mg/L entre dichos periodos. Las concentraciones mínimas de SST se mantuvieron entre 8 (antes) y 3 mg/L (después) con valores medios de 20.50 y 16.80 mg/l (antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates), obteniendo una diferencia significativa entre los periodos ($p=0.00005$), ver Gráfica 11 B.



Gráfica 11.- Vaso I comparación de sólidos suspendidos totales: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

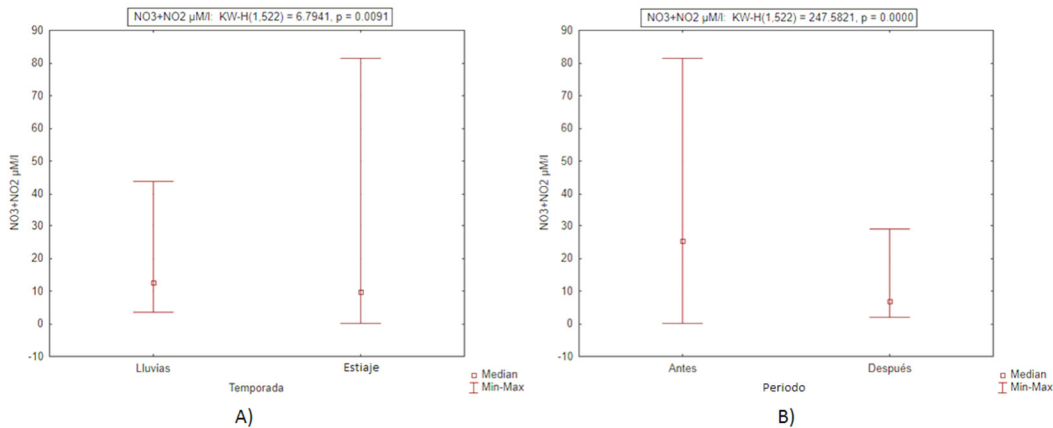
3.1.2. Vaso II. Variación de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros químico-biológicos

I. Nitratos y nitritos

Con relación a las concentraciones registradas en las temporadas de lluvia y de estiaje, los valores obtenidos en el vaso II de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, los máximos presentaron 43.76 y 81.53 $\mu\text{M/l}$ respectivamente, mientras que los mínimos registran 3.55 $\mu\text{M/l}$ en lluvia y 0.16 $\mu\text{M/l}$ para estiaje. Las medianas registraron valores de 12.50 (lluvia) y 9.73 $\mu\text{M/l}$ (estiaje). Estadísticamente obtuvieron diferencias significativas ($p=0.0091$), ver Gráfica 12 A.

Respecto a las temporadas analizadas, durante los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, las máximas concentraciones oscilaron entre 81.53 (antes) y 29.1 $\mu\text{M/l}$ (después), teniendo una diferencia de 52.43 $\mu\text{M/l}$. Con relación a los mínimos, éstos estuvieron en 0.16 $\mu\text{M/l}$ (antes) y 2.09 $\mu\text{M/l}$ (después). Con relación a los valores medios, las concentraciones se mantuvieron entre 25.36 y 7.03 $\mu\text{M/l}$ respectivamente, con una diferencia de 18.33 $\mu\text{M/l}$, registrando una diferencia significativa entre periodos ($p=0.0000$), ver Gráfica 12 B.

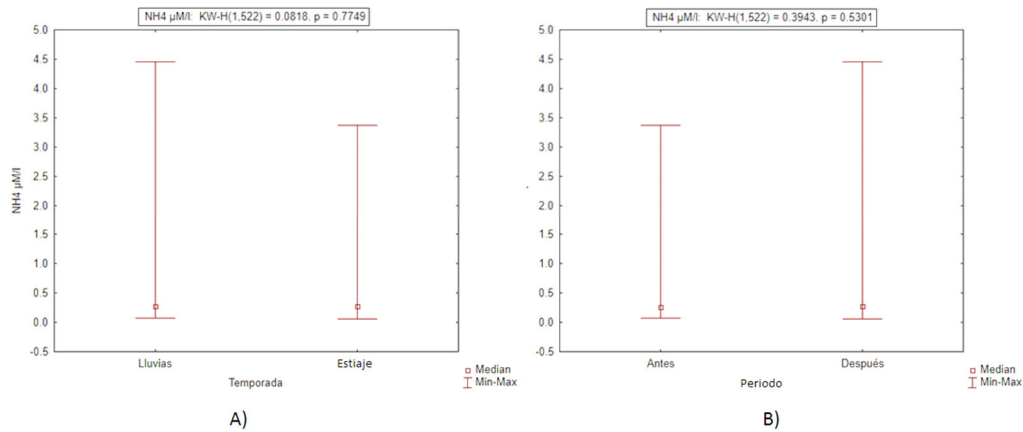


Gráfica 12.- Vaso II comparación de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

II. Amonio

La concentración del NH_4^+ en el vaso II en temporadas de lluvia y de estiaje, se registraron valores máximos de 4.46 y 3.37 $\mu\text{M/l}$ respectivamente, mientras que los mínimos mantuvieron un comportamiento similar de 0.07 (lluvia) y 0.05 $\mu\text{M/l}$ (estiaje). Estadísticamente no se muestra una diferencia significativa, ya que para ambos las medianas tienen 0.27 $\mu\text{M/l}$ ($p=0.7749$), ver Gráfica 13 A.

Con relación a las variaciones entre periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, las concentraciones máximas oscilaron entre valores de 3.37 y 4.46 $\mu\text{M/l}$, respectivamente. Los mínimos presentaron 0.07 (antes) y 0.05 $\mu\text{M/l}$ (después), mientras que las medianas oscilaron entre 0.26 (antes) y 0.27 $\mu\text{M/l}$ (después), las relaciones entre estas dos no presentan diferencias significativas ($p=0.5301$), ver Gráfica 13 B.

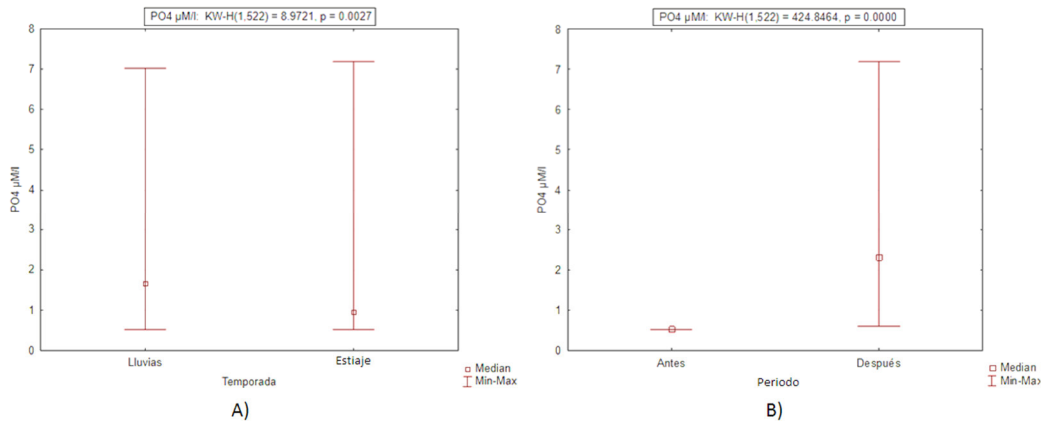


Gráfica 13.- Vaso II comparación del NH_4^+ : A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

III. Fosfatos

La concentración de los PO_4^{3-} en el vaso II, en temporadas de lluvia y de estiaje, se registraron valores máximos de 7.03 (lluvia) y 7.2 $\mu\text{M/l}$ (estiaje), con mínimos en ambas temporadas de 0.52 $\mu\text{M/l}$ y con medianas para lluvia y para estiaje de 1.68 y 0.99 $\mu\text{M/l}$ respectivamente, las cuales registraron diferencias significativas ($p=0.0027$), ver Gráfica 14 A.

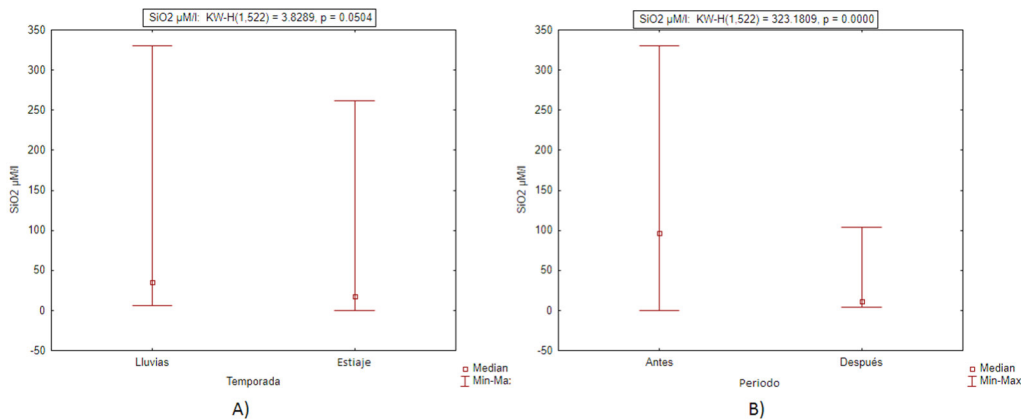
Para los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates de los valores registrados como máximos de los fosfatos para el antes y el después de la reapertura del canal de Tepalcates, fueron de 0.6 y 7.2 $\mu\text{M/l}$, mientras que el mínimo fue de 0.52 $\mu\text{M/l}$ para ambos y las medianas fueron de 0.6 y 2.30 $\mu\text{M/l}$, respectivamente, por lo que se obtuvo una diferencia significativa entre dichos periodos analizados ($p=0.0000$), ver Gráfica 14 B.



Gráfica 14.- Vaso II comparación de fosfatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

IV. Silicatos

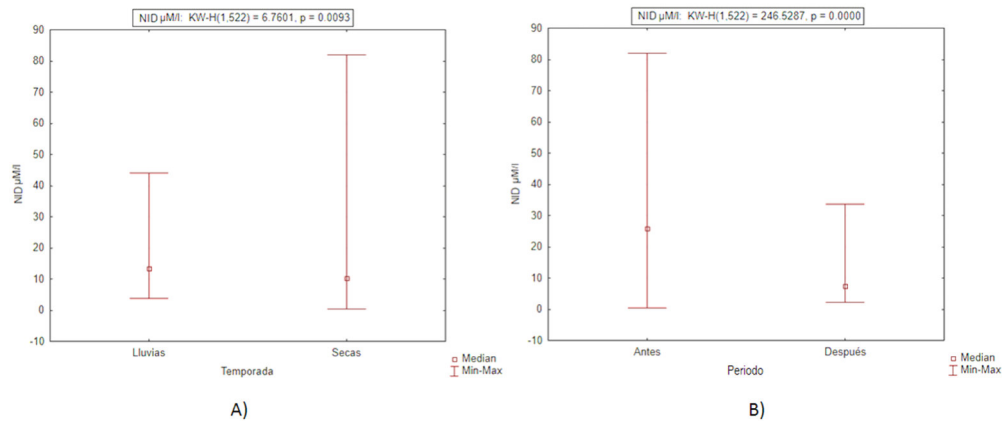
La variación por temporadas de los silicatos muestra una variación significativa y marcada, debido a que los valores máximos entre ellas fueron de 330 (lluvia) y 261.94 μM/l (estiaje), teniendo una diferencia 68.06 μM/l entre ambas temporadas. Respecto a los mínimos no se muestra una diferencia marcada, puesto que los valores oscilan entre los 6.75 (lluvia) y 0.05 μM/l (estiaje). Este comportamiento no tiene sustento mediante medianas, ya que los valores se encontraron entre 35.78 y 18.40 μM/l, pero sí por los valores entre máximos y mínimos con una $p=0.0504$, ver Gráfica 15 A. Entre los periodos, del antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, el después muestra un comportamiento anormal al antes, ya que los máximos entre ellas fueron de 330 y 104.12 μM/l respectivamente, con una diferencia de 228.88 μM/l., mientras que las concentraciones mínimas se mantuvieron entre 0 (antes) y 4.35 μM/l (después). Además, las medianas oscilaron entre 96.76 (antes) y 11.16 μM/l (después), lo cual representa una diferencia significativa marcada entre la apertura del canal tepalcates ($p=0.0000$), ver Gráfica 15 B.



Gráfica 15.- Vaso II comparación de silicatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

V. Nitrógeno inorgánico disuelto

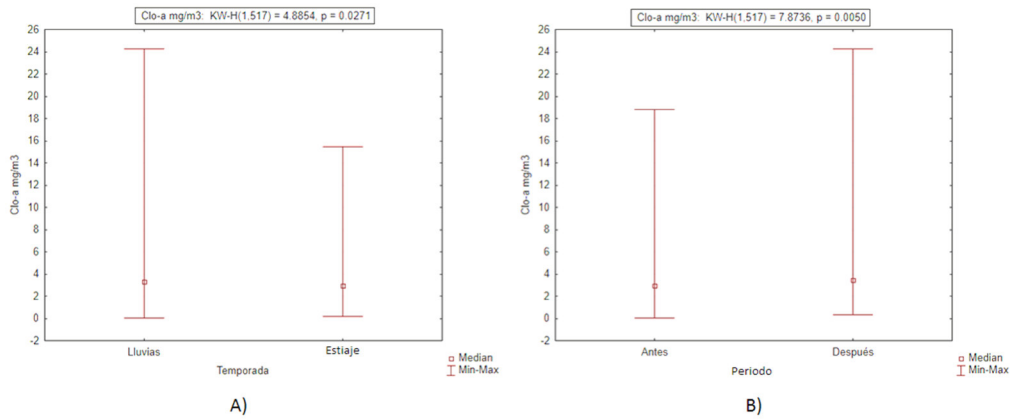
El NID mostró, para el vaso II, valores máximos de 43.99 en temporada de lluvia y 81.84 $\mu M/l$ en temporada de estiaje, con una diferencia de 37.85 $\mu M/l$, mientras que los valores mínimos son 3.72 y 0.30 $\mu M/l$ para la lluvia y para la de estiaje, respectivamente. Las concentraciones de los valores medios oscilaron entre los 13.37 (lluvia) y 10.19 $\mu M/l$ (estiaje), registrando una diferencia significativa ($p=0.0093$), ver Gráfica 16 A. Las concentraciones máximas registradas durante los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates muestran una variación significativa ($p=0.0000$) con valores de 81.84 (antes) y 33.56 $\mu M/l$ (después). Por otro lado, los mínimos mantuvieron una oscilación entre 0.30 (antes) y 2.32 $\mu M/l$ (después). La concentración de los valores medios del NID corresponde a 25.77 (antes) y 7.40 $\mu M/l$ (después), cuyo comportamiento muestra una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 16 B.



Gráfica 16.- Vaso II comparación del nitrógeno inorgánico disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

VI. Clorofila-a

El análisis de la Clo-a muestra un comportamiento significativo entre las temporadas de lluvia y de estiaje, con valores máximas de 24.26 y 15.44 mg/m³ respectivamente, mientras que las concentraciones mínimas para lluvia y para estiaje fueron de 0.04 y 0.21 mg/m³, respectivamente. A su vez, las medianas oscilan entre 3.35 (lluvia) y 2.98 mg/m³ (estiaje), de lo cual no se obtuvo una diferencia significativa (p=0.0271) entre las temporadas analizadas, ver Gráfica 17 A. Por otro lado, entre los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, el antes muestra una diferencia significativa respecto al después, debido a que los valores máximos oscilan entre 18.8 (antes) y 24.26 mg/m³ (después), con mínimos de 0.04 (antes) y 0.35 mg/m³ (después), aun cuando las medianas oscilaron entre 2.95 y 3.45 mg/m³ antes y después respectivamente (p=0.0050), ver Gráfica 17 B.

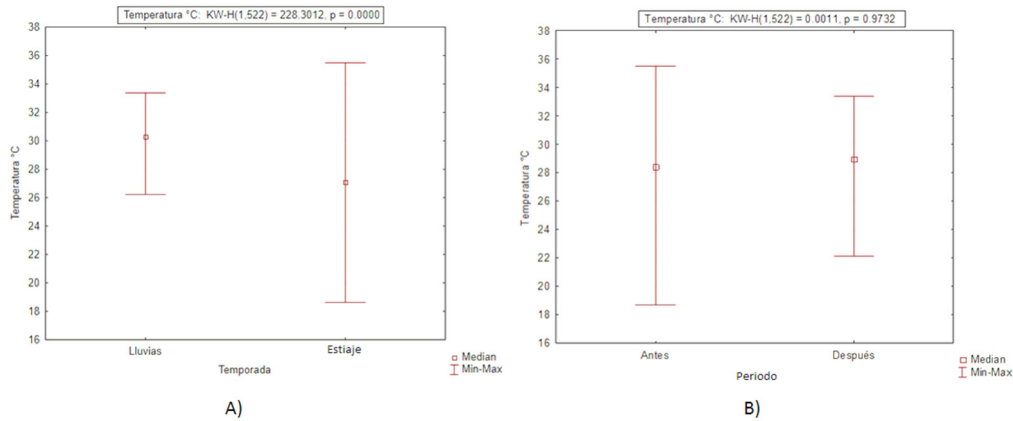


Gráfica 17.- Vaso II comparación de la Clo-a: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

Parámetros físicos

I. Temperatura

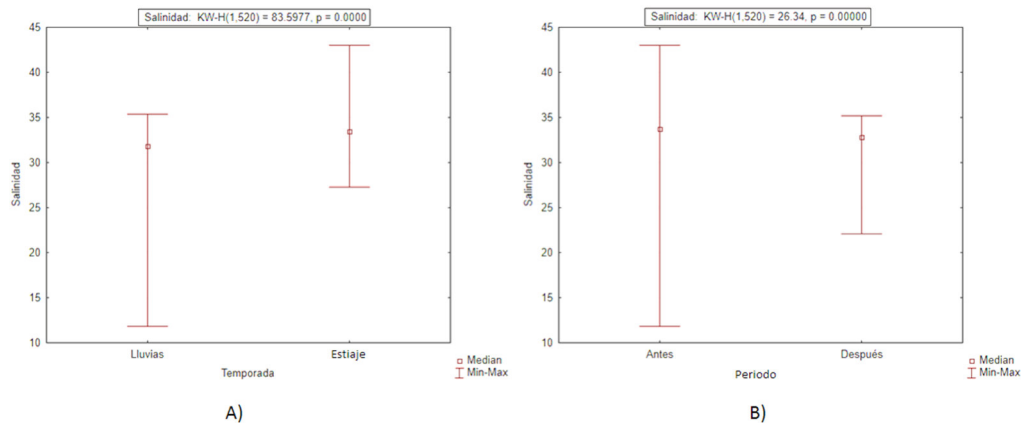
Con relación a la temperatura, en temporadas de lluvia y de estiaje se registraron máximas de 33.4 y 35.5 °C respectivamente, sin embargo, las mínimas oscilaron entre 26.26 (lluvia) y 18.66°C (estiaje), teniendo una mediana para lluvia y para estiaje de 30.31 y 27.12°C respectivamente. Estadísticamente presenta una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 18 A. En los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, se registró una máxima de 35.5°C para antes y un máximo de 33.4°C para después. Los valores mínimos presentaron una pequeña variación debido a que los valores oscilaron entre los 18.66 (antes) y 22.10°C (después); sin embargo, al haber pequeñas fluctuaciones y con pocas diferencias marcadas, no se cuenta con una diferencia significativa entre los periodos ($p=0.9732$), ver Gráfica 18 B.



Gráfica 18.- Vaso II comparación de la temperatura: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

II. Salinidad

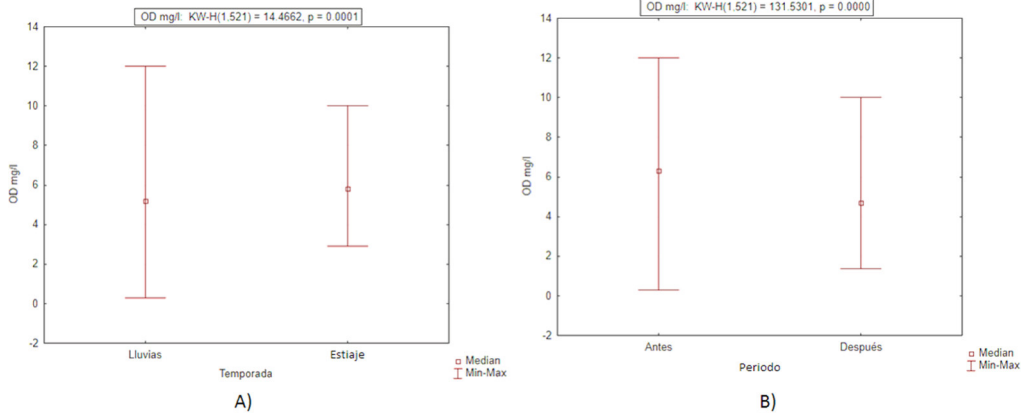
Por otro lado, la salinidad en temporadas de lluvia y de estiaje registraron máximas de 35.3 (lluvia) y 43 UPS (estiaje) con una diferencia de 7.7 UPS. Los mínimos registrados oscilaron entre 11.8 para lluvia y 27.3 UPS en estiaje, mientras que las medianas registraron una diferencia entre temporadas de 3 UPS, con valores de 30.54 (lluvia) y 33.60 UPS (estiaje) las cuales registraron una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 19 A. Para los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, se registró una máxima de 43 UPS para antes y una máxima de 35.2 UPS para después. Las concentraciones mínimas presentaron una variación que osciló entre 11.8 UPS (antes) y 22.1 (después). La mediana para ambas fue de 33.7 y 32.8 UPS (antes y después), y se registra con una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 19 B.



Gráfica 19.- Vaso II comparación de la salinidad: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

III. Oxígeno disuelto

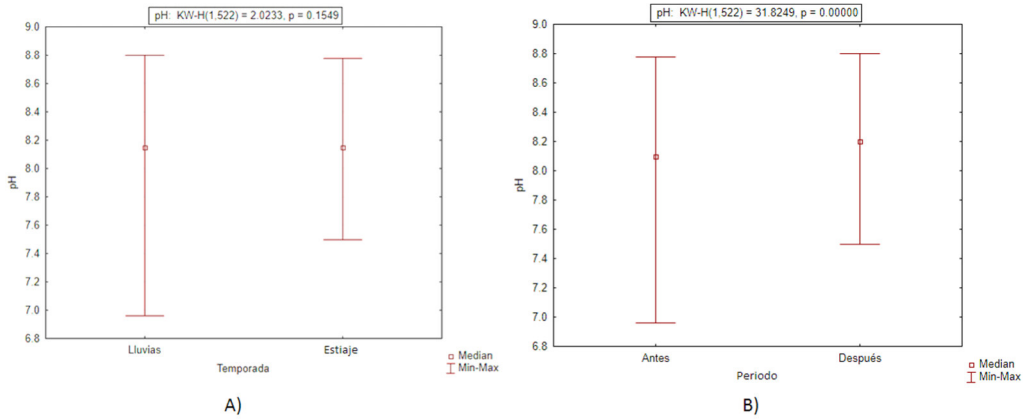
El Oxígeno disuelto (OD) presentó en las temporalidades de lluvia y de estiaje valores máximos de 12.02* (lluvia) y 10.00* mg/l (estiaje) y mínimos valores de 0.3 (lluvia) y 2.89 mg/l (estiaje), con una mediana para ambas temporadas de 5.19 y 5.8 mg/l, respectivamente, por lo que presenta una diferencia significativa estadísticamente ($p=0.0001$), ver Gráfica 20 A. Con relación a los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, los valores máximos oscilaron entre los 12.02* y los 10.00* mg/L, respectivamente, y con mínimos de 0.3 (antes) y 1.39 mg/l (después). La mediana para antes y para después fue de 6.3 y 4.69 mg/l, respectivamente, por lo que presenta una diferencia significativa estadísticamente ($p=0.0000$), ver Gráfica 20 B.



Gráfica 20.- Vaso II comparación de Oxígeno disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

IV. El potencial de Hidrogeno

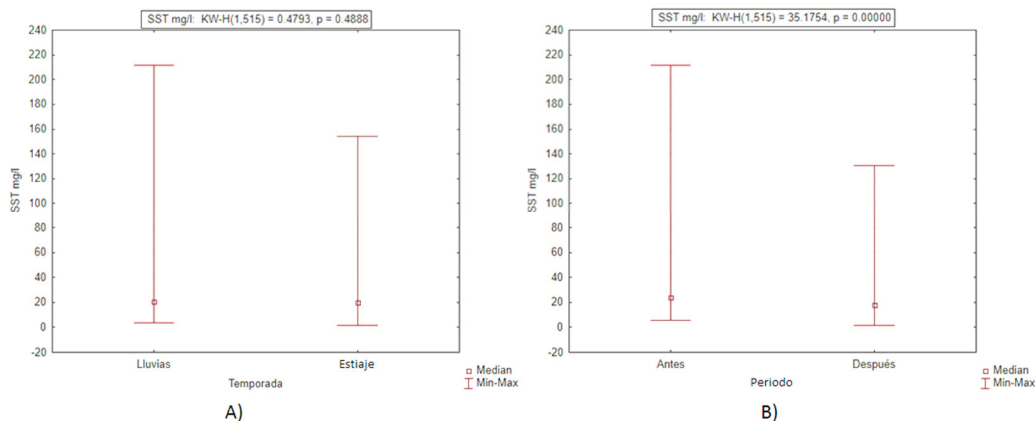
En el pH para las temporadas de lluvia y de estiaje se presentaron valores máximos de 8.8 y 8.78, con mínimos de 6.97 y 7.5 para lluvia y para estiaje respectivamente. Los valores de las medianas no representan una variación significativa, ya que están en 8.15 (lluvia y estiaje), no obteniéndose diferencias significativas ($p=0.1549$) entre las temporadas (Gráfica 21 A). Respecto a los periodos, antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, los valores máximos fueron de 8.78 y de 8.8 (antes y después respectivamente), los mínimos fueron de 6.97 (antes) y 7.5 (después), con medianas de 8.10 (antes) y 8.2 (después); sin embargo, se presentó una diferencia significativa entre los periodos ($p=0.0000$), ver Gráfica 21 B.



Gráfica 21.- Vaso II comparación del pH: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

V. Sólidos suspendidos totales

Por otro lado, en las temporadas de lluvia y de estiaje, los sólidos suspendidos totales (SST) en el vaso II registraron máximos de 212 (lluvia) y 154 mg/l (en estiaje), teniendo una diferencia de 58 mg/l, mientras que se obtuvieron mínimos de 3.8 (lluvia) y 1.4 mg/l (estiaje). Con relación a los valores medios, las temporadas mostraron un comportamiento similar, ya que los valores oscilaron entre 20.77 (lluvias) y 19.70 mg/l (estiaje), obteniendo una similitud ($p=0.4888$), ver Gráfica 22 A. Por otra parte, en los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, la concentración de SST registró máximos de 212 y de 130.5 mg/l, en el antes y el después respectivamente, con una diferencia de 81.5 mg/l entre dichos periodos. Las mínimas concentraciones se mantuvieron entre 6 (antes) y 1.4 mg/l (después) con valores medios de 24 (antes) y 17.6 mg/l (después), obteniendo una diferencia significativa entre los periodos analizados ($p=0.00000$), ver Gráfica 22 B.



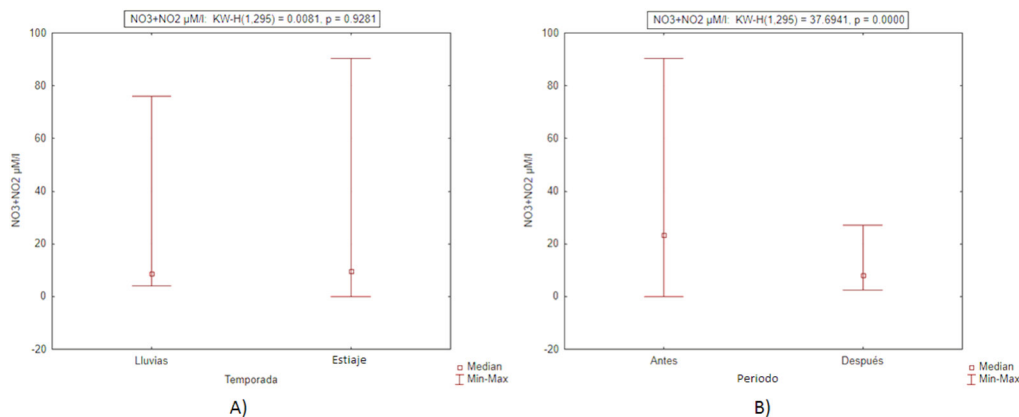
Gráfica 22.- Vaso II comparación de los sólidos suspendidos totales: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

3.1.3. Vaso III. Variación de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros químico-biológicos

I. Nitratos y nitritos

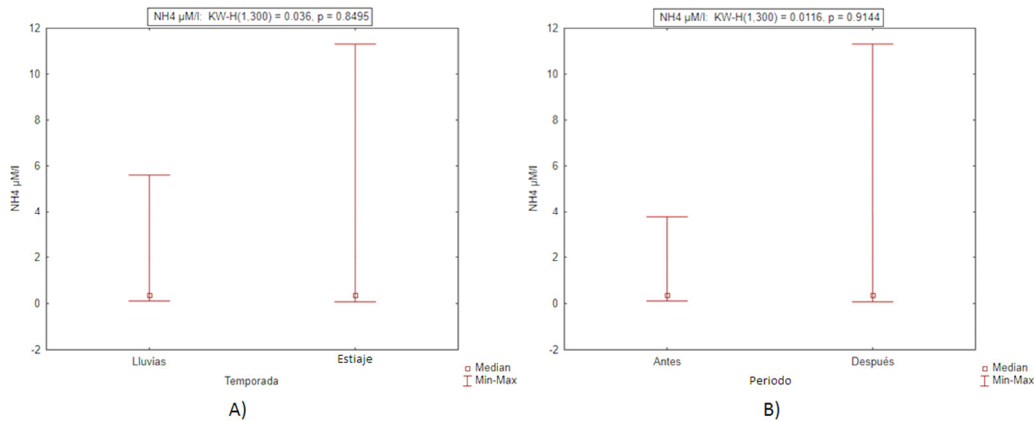
Las concentraciones registradas en el vaso III de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ en las temporadas de lluvia y de estiaje, los máximos registraron 75.97 (lluvia) y 90.49 $\mu\text{M/l}$ (estiaje), en los mínimos de 4.1 y 0 M/l (para lluvia y estiaje respectivamente). Los valores medios fueron 8.83 (lluvia) y 9.68 $\mu\text{M/l}$ (estiaje); estadísticamente no se obtuvieron diferencias significativas ($p=0.9281$), ver Gráfica 23 A. Respecto a las temporadas analizadas. Durante los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, las máximas concentraciones oscilaron entre 90.49 (antes) y 27 $\mu\text{M/l}$ (después), teniendo una diferencia de 63.49 $\mu\text{M/l}$, en relación con los mínimos, éstos estuvieron en 0 y 2.41 $\mu\text{M/l}$ (antes y después, respectivamente). Con relación a las medias, las concentraciones se mantuvieron entre 23.28 y 7.93 $\mu\text{M/l}$, respectivamente, con una diferencia de 15.35 $\mu\text{M/l}$, registrando una diferencia significativa entre periodos ($p=0.0000$), ver Gráfica 23 B.



Gráfica 23.- Vaso III comparación de la concentración de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

II. Amonio

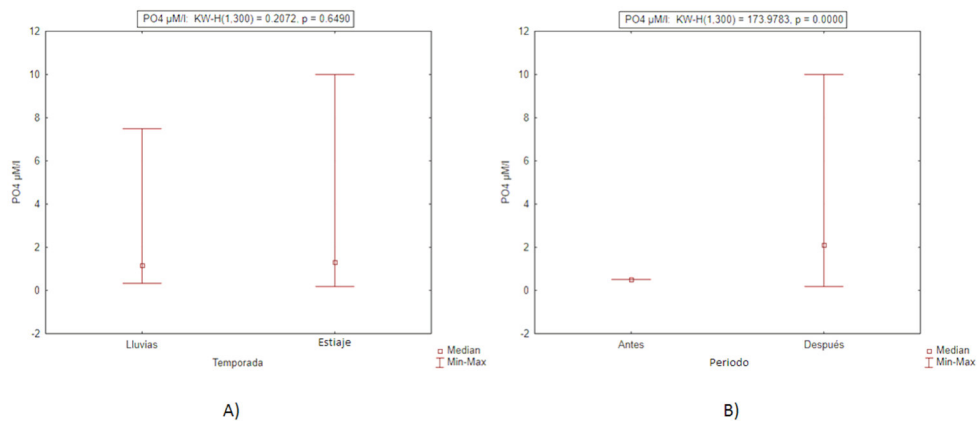
Durante la temporada de lluvia, el NH_4^+ registra un máximo de $5.62 \mu\text{M/l}$ y en temporada de estiaje, de $11.3 \mu\text{M/l}$, teniendo una diferencia de $5.68 \mu\text{M/l}$ entre las temporadas analizadas; por otro lado, los mínimos para ambas temporadas fueron de $0.10 \mu\text{M/l}$, estadísticamente no registró diferencias significativas ($p=0.8495$), ya que los valores medios se registran en 0.38 y $0.36 \mu\text{M/l}$ (lluvia y estiaje), ver Gráfica 24 A. Las concentraciones registradas en los periodos del antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates no mostraron una diferencia significativa ($p=0.9144$); en el antes se registraron valores de $3.75 \mu\text{M/l}$ como máximo y $0.13 \mu\text{M/l}$ como mínimo. En el después, la máxima fue de $11.3 \mu\text{M/l}$ y la mínima de $0.1 \mu\text{M/l}$, con concentraciones de los medios de $0.36 \mu\text{M/l}$ para ambos (Gráfica 24 B).



Gráfica 24.- Vaso III comparación del NH_4^+ : A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

III. Fosfatos

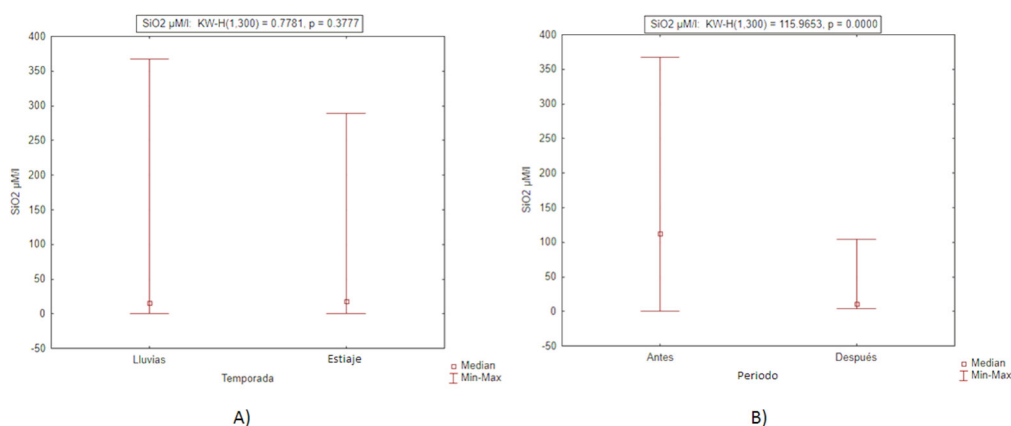
En las temporadas de lluvia y de estiaje, para los fosfatos, las máximas analizadas fueron de 7.5 (lluvia) y 10 $\mu\text{M/l}$ (estiaje), con mínimos de 0.32 y 0.2 $\mu\text{M/l}$ lluvia y estiaje respectivamente), las medianas de 1.16 (lluvia) y 1.29 $\mu\text{M/l}$ (estiaje), las cuales no registraron diferencias significativas ($p=0.6490$), ver Gráfica 25 A. Para los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, los valores registrados para el antes sólo es del 0.52 $\mu\text{M/l}$ y en el después, el máximo tuvo un valor de 10 $\mu\text{M/l}$, mientras que el mínimo fue de 0.2 y la mediana de 2.1 $\mu\text{M/l}$, por lo que se obtuvo una diferencia significativa entre dichos periodos analizados ($p=0.0000$), ver Gráfica 25 B.



Gráfica 25.- Vaso III comparación de fosfatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

IV. Silicatos

Se registraron en las temporadas de lluvia y de estiaje, valores de silicatos (SiO_2) máximos de 366.93 y 288.99 $\mu\text{M/l}$ (lluvia y estiaje, respectivamente), con una diferencia de 77.94 $\mu\text{M/l}$, mientras que ambos de los mínimos se registraron en 0 $\mu\text{M/l}$. Los valores de las medianas entre lluvia y estiaje se mantuvieron entre 15.86 y 17.75 $\mu\text{M/l}$ con una ligera diferencia estadística entre las temporadas ($p=0.3777$), ver Gráfica 26 A. Con relación a las variaciones entre los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates, las concentraciones máximas oscilaron entre 366.93 (antes) y 104.01 $\mu\text{M/l}$ (después), con una diferencia de 262.92 $\mu\text{M/l}$. Los mínimos se mantuvieron en ambos a 0 $\mu\text{M/l}$ (antes y después). La mediana para el antes fue de 113.23 $\mu\text{M/l}$ y para el después, 10.65 $\mu\text{M/l}$. Estadísticamente se obtuvo una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 26 B.

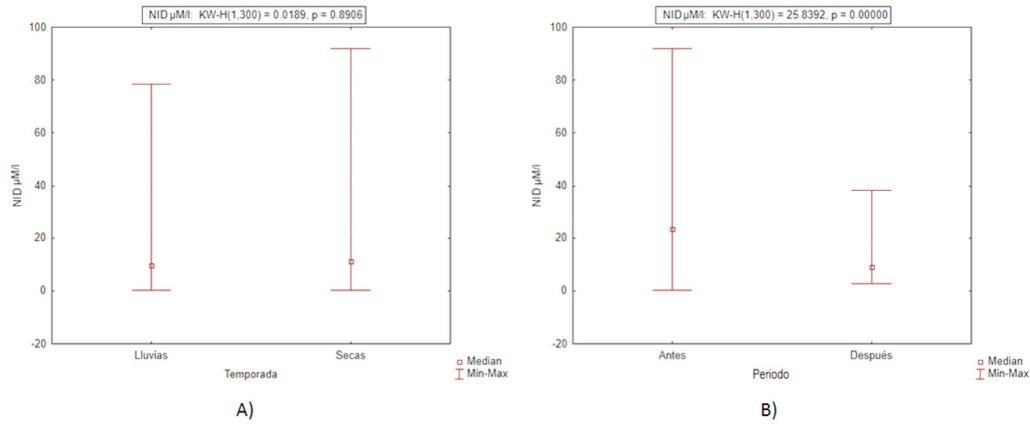


Gráfica 26.- Vaso III comparación de silicatos: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

V. Nitrógeno inorgánico disuelto

En las temporadas de lluvia y de estiaje, el NID mostró, para el vaso III, valores máximos de 78.37 (lluvia) y 91.78 $\mu\text{M/l}$ (estiaje). Los valores mínimos son 0.33 y 0.28 $\mu\text{M/l}$ para la lluvia y para estiaje respectivamente. Las concentraciones de los valores medios oscilaron entre los 9.6 (lluvia) y 11.23 $\mu\text{M/l}$ (estiaje), no registrando una diferencia significativa ($p=0.8906$), ver Gráfica 27 A. Las concentraciones máximas registradas durante los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates muestran una variación significativa ($p=0000$), con valores de 91.78 (antes) y 38.30 $\mu\text{M/l}$ (después). Por otro lado, los mínimos mantuvieron una

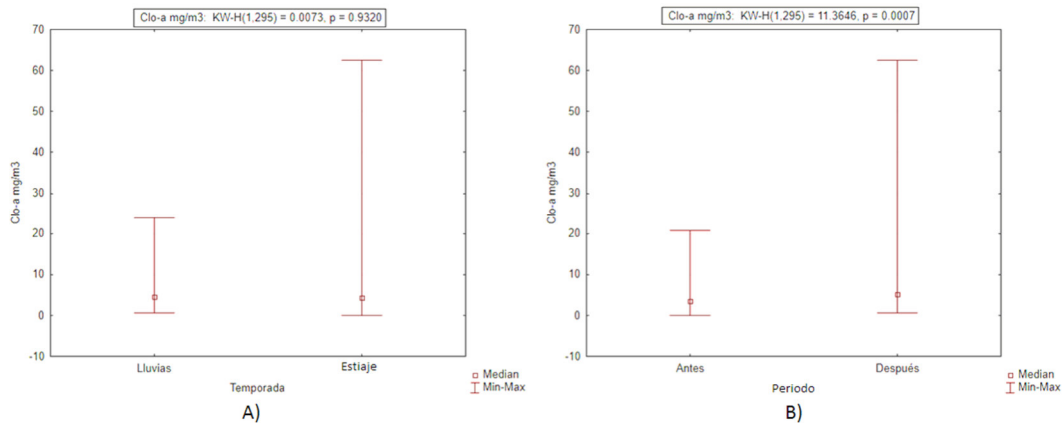
oscilación entre 0.16 (antes) y 2.66 $\mu\text{M/l}$ (después). La concentración de los medios del NID corresponde a 23.23 (antes) y 8.89 $\mu\text{M/l}$ (después), cuyo comportamiento muestra una diferencia significativa ($p=0.0000$), ver Gráfica 27 B.



Gráfica 27. Vaso III comparación del nitrógeno inorgánico disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

VI. Clorofila-a

En las temporadas de lluvia y de estiaje, se registraron máximas que oscilaron entre 23.96 y 62.54 mg/m^3 , en lluvia y estiaje, mientras que las mínimas se mantuvieron en 0.66 y 0 mg/m^3 , respectivamente. Las concentraciones de las medianas fueron de 4.48 y 4.30 mg/m^3 , no registrando diferencias significativas ($p=0.9320$), ver Gráfica 28 A. Por otra parte, se encontraron diferencias marcadas entre los periodos antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates analizados con máximos de 20.77 y 62.54 mg/m^3 respectivamente y las mínimas de cero y 0.62 mg/m^3 (antes y después), las medianas fueron de 3.59 y 5.18 mg/m^3 (antes y después, respectivamente), no obteniendo una diferencia significativa ($p=0.0007$), ver Gráfica 28 B.

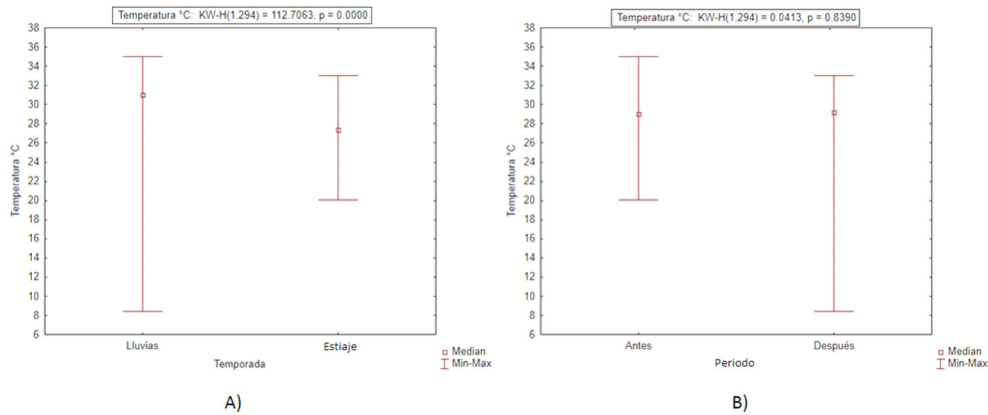


Gráfica 28.- Vaso III comparación de la Clo-a: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

Parámetros físicos

I. Temperatura

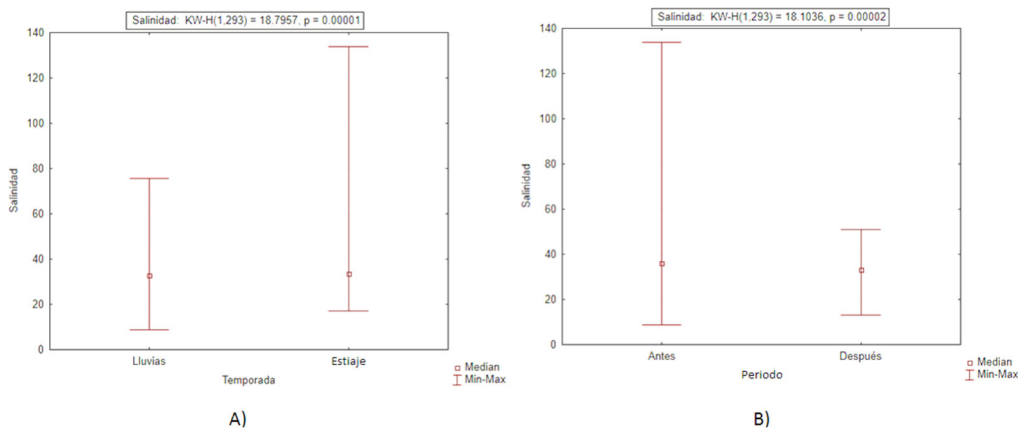
El comportamiento de la temperatura, en las temporadas de lluvia y de estiaje para el vaso III, registró máximas de 34.98°C en lluvia y para estiaje 32.80°C. Sin embargo, los mínimos oscilaron entre 8.4 y 20.02°C, respectivamente, en las cuales existe una diferencia de 11.62°C. Al realizar la comparación de las medianas se muestra una diferencia significativa ($p=0.0000$), aun cuando la variación entre ellas fue de 31°C (lluvia) y 27.6°C (estiaje), ver Gráfica 29 A. Respecto a la variación de la temperatura en los periodos antes y después de la reapertura del canal Tepalcates, la mayor fluctuación se presenta en el después, con mínimos de 8.4°C y máximos de 31.6°C, teniendo una variación de 22.6°C, mientras que en el antes se obtuvieron mínimos de 20.02 y máximos de 34.98°C. Sin embargo, el valor de las medianas es de 28.53 y 29.25°C (antes y después) por lo que no registró diferencias significativas ($p=0.8390$), ver Gráfica 29 B.



Gráfica 29.- Vaso III comparación de la temperatura: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

II. Salinidad

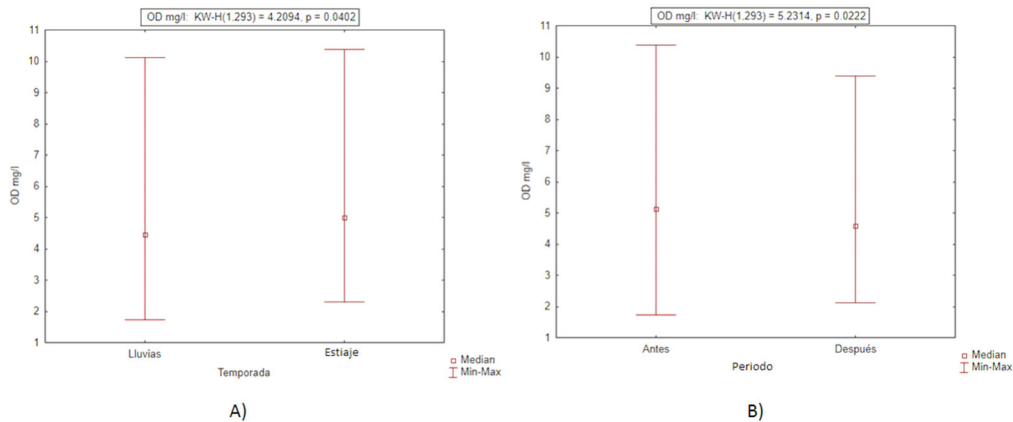
Para el caso de la salinidad en el vaso III, la temporada de lluvia mostró un máximo de 75.8 UPS, mientras que en temporada de estiaje se elevó a 133.88 UPS, obteniendo una diferencia de 58.08 UPS entre dichas temporadas. En el caso de los mínimos de lluvia y estiaje, fueron de 8.6 y 17.3 UPS, respectivamente. Por lo anterior, se obtuvo una diferencia significativa ($p=0.00001$), aun cuando la variación de las medianas fue de 32.6 (lluvia) y 33.6 UPS (estiaje), ver Gráfica 30 A. Los valores de salinidad para los periodos antes y después de la reapertura del canal Tepalcates, registraron valores máximos de 133.88 y 51.1 UPS, respectivamente, con mínimos de 8.6 y 13.3 UPS. Mientras que las medianas de dichos periodos (36 y 33 UPS) registraron una diferencia significativa ($p=0.00002$), ver Gráfica 30 B.



Gráfica 30.- Vaso III comparación de la salinidad: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

III. Oxígeno disuelto

Para el vaso III, los valores de Oxígeno disuelto (OD) registrados durante temporadas de lluvia y estiaje mostraron máximas de 10.13* y 10.39* mg/l respectivamente, mientras que los mínimos oscilaron entre 1.73 y 2.38 mg/l. Las medianas con 4.39 y 5 mg/l (lluvia y estiaje respectivamente), mostrando una diferencia significativa ($p=0.0402$), ver Gráfica 31 A. Entre los periodos antes y después de la reapertura del canal Tepalcates, se tiene una máxima de 10.39* (antes) y 9.40* mg/l (después), con mínimos de 1.73 (antes) y 2.11 mg/l (después). Con relación a las medianas se observó una variación significativa (5.12 durante el antes y de 4.59 mg/L después de la apertura del canal, con una ($p=0.0222$), ver Gráfica 31 B.

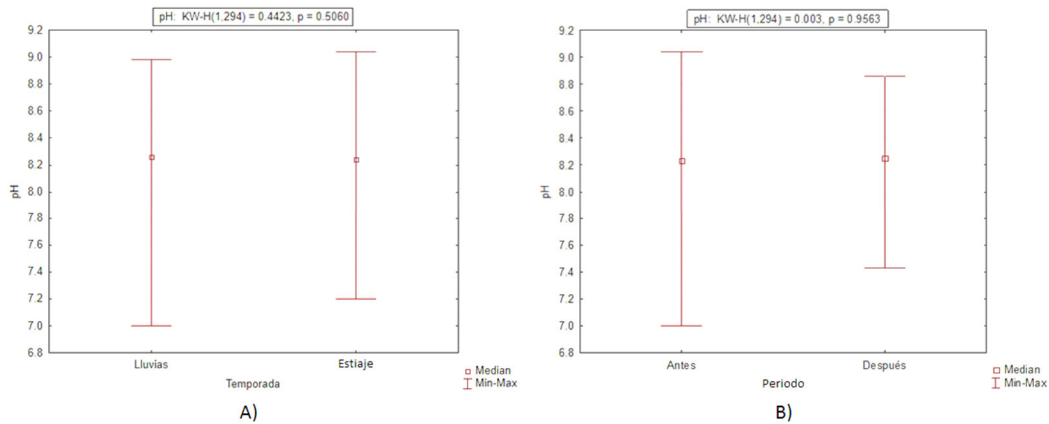


Gráfica 31.- Vaso III comparación de Oxígeno disuelto: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates.

IV. Potencial de Hidrógeno

El pH registrado en el vaso III durante las temporadas de lluvia y estiaje indicaron máximos de 8.98 y 9.04 (lluvia y estiaje, respectivamente); por otro lado, los mínimos de 7 (lluvia) y 7.2 (estiaje). Las medianas mostraron un comportamiento casi similar entre las temporadas, con valores de 8.26 y 8.24 (lluvia y estiaje). Debido a esto, no se registró una diferencia significativa entre las medianas ($p=0.5060$), ver Gráfica 32 A. Para el caso de los periodos antes y después de la reapertura del

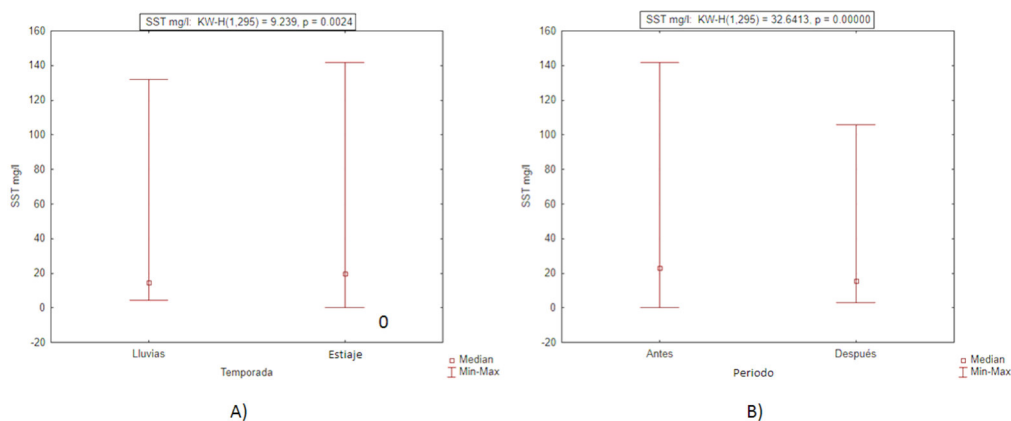
canal Tepalcates, se obtuvieron valores máximos de 9.04 y 8.86, mientras que los mínimos de 7 y 7.43 respectivamente. El de las medianas del pH en el vaso III, en el antes y el después fue de 8.23 y 8.25, respectivamente. Estadísticamente no se muestra una variación significativa ($p=0.9563$), ver Gráfica 32 B.



Gráfica 32.- Vaso III comparación del pH: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal de Tepalcates.

V. Sólidos suspendidos totales

En el vaso III, los sólidos suspendidos totales (SST) registraron, para las temporadas, máximos de 132 (lluvia) y 142 mg/l (en estiaje), teniendo una diferencia de 10 mg/l, mientras que los mínimos son de 14.8 (lluvia) y 19.85 mg/l (estiaje). Con relación a las medianas, los valores oscilaron entre 14.8 (lluvia) y 19.85 mg/l (estiaje), obteniendo una variación significativa ($p=0.0088$), ver Gráfica 33 A. Por otra parte, en los periodos antes y después de la reapertura del canal Tepalcates, la concentración de SST registró máximos de 142 y de 106 mg/l, en el antes y después, respectivamente, con una diferencia de 36 mg/l. Las mínimas concentraciones se mantuvieron entre 0 (antes) y 2.8 mg/l (después). Los valores de las medianas, de 23 (antes) y de 15.6 mg/l (después), obteniendo una diferencia significativa entre los periodos analizados ($p=0.00000$), ver Gráfica 33 B.



Gráfica 33.- Vaso III comparación de los sólidos suspendidos totales: A) en temporadas de lluvia y de estiaje y B) en los periodos del antes y después de la reapertura del canal.

En la Tabla 10, se indica el resultado del análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en los vasos I, II y III, para las temporadas de lluvia y de estiaje durante los periodos 2009-2011 y 2015-2018.

Tabla 10.- Resumen del análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán, durante las temporadas de lluvia y estiaje.

Parámetro	Vaso	Temporada							
		Lluvias				Estiaje			
		Máx.	Mediana	Min.	Desviación estándar (σ)	Máx.	Mediana	Min.	Desviación estándar (σ)
NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻ (μ M/l)	I	51.5	11.2	0.7	10.9	43.9	7.2	0.7	10.3
	II	43.8	12.5	3.6	11.4	81.5	9.7	0.2	11.2
	III	76	8.8	4.1	16.1	90.5	9.7	0	15.6
NH ₄ ⁺ (μ M/l)	I	8.3	0.3	0	3.8	32.2	0.3	0	3.8
	II	4.5	0.3	0.1	0.7	3.4	0.3	0.1	0.7
	III	5.6	0.4	0.1	0.8	11.3	0.4	0.1	1.2
NID (μ M/l)	I	51.9	12.6	0.9	12.3	76.2	7.9	1	11.9
	II	44	13.4	3.7	11.4	81.8	10.2	0.3	11.3
	III	78.4	9.6	0.3	16.2	91.8	11.2	0.3	15.7
Clo-a (mg/m ³)	I	24.4	4	0.3	4.6	22.5	3.7	0	4.7
	II	24.3	3.4	0	3.4	15.4	3	0.2	3.5
	III	24	4.5	0.7	6.1	62.5	4.3	0	6.2
SiO ₂ (μ M/l)	I	316.7	39.9	1.9	69.4	385.1	19.3	0	68.7
	II	330	35.8	6.8	67.1	261.9	18.4	0	67.4
	III	366.9	15.9	0	73	289	17.8	0	71.9
PO ₄ ³⁻ (μ M/l)	I	6.5	0.6	0.2	1	5.5	0.6	0.2	1.1
	II	7.0	1.7	0.5	1.2	7.2	1.0	0.5	1.3

	III	7.5	1.2	0.3	1.3	10.0	1.3	0.2	1.5
T (°C)	I	33.4	30.4	27.3	2.3	33.2	27.9	20.3	2.2
	II	33.4	30.3	26.3	2.5	35.5	27.1	18.7	2.5
	III	35.0	31	8.4	5.7	32.8	27.6	20.0	5.8
Salinidad (UPS)	I	38.6	32.5	14.9	4.2	62.7	33.7	23.4	4.2
	II	35.3	31.8	11.8	3.7	43.0	33.5	27.3	3.7
	III	75.8	32.6	8.6	14.9	133.9	33.6	17.3	14.9
OD (mg/L)	I	10.5*	5.6	2.0	1.5	9.4*	5.7	0.7	1.5
	II	12.0*	5.2	0.3	1.4	10.0*	5.8	2.9	1.4
	III	10.1*	4.4	1.7	1.5	10.4*	5.0	2.4	1.5
pH	I	8.7	8.2	6.9	0.3	8.7	8.2	7.3	0.2
	II	8.8	8.2	7.0	0.3	8.8	8.2	7.5	0.2
	III	9.0	8.3	7.0	0.6	9.0	8.2	7.2	0.6
SST (mg/L)	I	110.0	19.4	3.0	21.8	180.0	19	3.2	22.2
	II	212.0	20.8	3.8	24.3	154.0	19.7	1.4	24.4
	III	132.0	14.8	4.4	21.8	142.0	19.9	0.0	22.4

En la Tabla 11, se indica el resultado del análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos, para los periodos anterior y posterior a la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates entre los periodos 2009-2011 y 2015-2018, respectivamente.

Tabla 11.- Resumen del análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán, entre los periodos anterior y posterior a la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates.

Parámetro	Vaso	Periodo							
		Anterior (2009-2011)				Posterior (2015-2018)			
		Máx.	Mediana	Min.	Desviación estándar (σ)	Máx.	Mediana	Min.	Desviación estándar (σ)
NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻ (µM/l)	I	51.5	22.3	0.7	11.3	24.4	5.8	2.2	2.9
	II	81.5	25.4	0.2	11.1	29.1	7.0	2.1	4.2
	III	90.5	23.3	0.0	22.5	27.0	7.9	2.4	4.4
NH ₄ ⁺ (µM/l)	I	32.2	0.3	0.0	5.2	8.3	0.3	0.1	1.2
	II	3.4	0.3	0.1	0.6	4.5	0.3	0.1	0.7
	III	3.8	0.4	0.1	0.7	11.3	0.4	0.1	1.4
NID (µM/l)	I	76.2	23.9	1.0	12.9	28.2	6.3	2.4	3.5
	II	81.8	25.8	0.3	11.0	33.6	7.4	2.3	4.5
	III	91.8	23.2	0.2	22.8	38.3	8.9	2.7	5.1

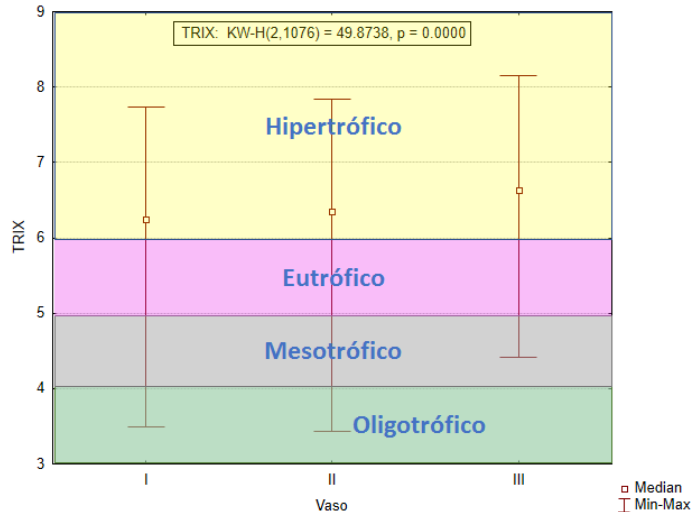
Clo-a (mg/m ³)	I	16.3	2.8	0.0	2.8	24.4	6.0	0.4	5.1
	II	18.8	3.0	0.0	3.3	24.3	3.5	0.4	3.6
	III	20.8	3.6	0.0	3.5	62.5	5.2	0.6	7.0
SiO ₂ (μM/l)	I	385.1	101.6	0.0	64.6	85.8	7.6	1.9	12.8
	II	330.0	96.8	0.0	63.2	104.1	11.2	4.4	13.3
	III	366.9	113.2	0.0	78.8	104.0	10.7	0.0	17.4
PO ₄ ³⁻ (μM/l)	I	1.7	0.5	0.5	0.2	6.5	1.5	0.2	1.2
	II	0.5	0.5	0.5	0.0	7.2	2.3	0.6	1.1
	III	0.5	0.5	0.5	0.0	10.0	2.1	0.2	1.5
T (°C)	I	33.3	28.5	20.3	2.7	33.4	29.3	25.7	1.7
	II	35.5	28.4	18.7	2.8	33.4	29.0	22.1	2.2
	III	35.0	29.1	20.0	4.1	31.6	29.2	8.4	6.3
UPS	I	62.7	33.6	14.9	5.3	35.9	33.1	20.0	2.8
	II	43.0	33.7	11.8	5.0	35.2	32.8	22.1	2.0
	III	133.9	36	8.6	22.7	51.1	33.0	13.3	5.4
OD (mg/L)	I	10.5*	6.5	0.7	1.5	9.3*	5.0	2.0	1.3
	II	12.0*	6.3	0.3	1.3	10.0*	4.7	1.4	1.2
	III	10.4*	5.1	1.7	1.8	9.4*	4.6	2.1	1.3
pH	I	8.7	8.1	6.9	0.3	8.7	8.3	7.6	0.2
	II	8.8	8.1	7.0	0.3	8.8	8.2	7.5	0.2
	III	9.0	8.2	7.0	0.9	8.9	8.3	7.4	0.2
SST (mg/L)	I	180.0	20.5	8.0	25.6	86.4	16.8	3.0	16.5
	II	212.0	24.0	6.0	28.0	130.5	17.6	1.4	16.2
	III	142.0	23.0	0.0	28.7	106.0	15.6	2.8	15.2

3.2. Objetivo 2. Índice del estado trófico (TRIX) y sus variaciones de los vasos I, II y III

3.2.1. Cálculo del estado trófico de los vasos I, II y III

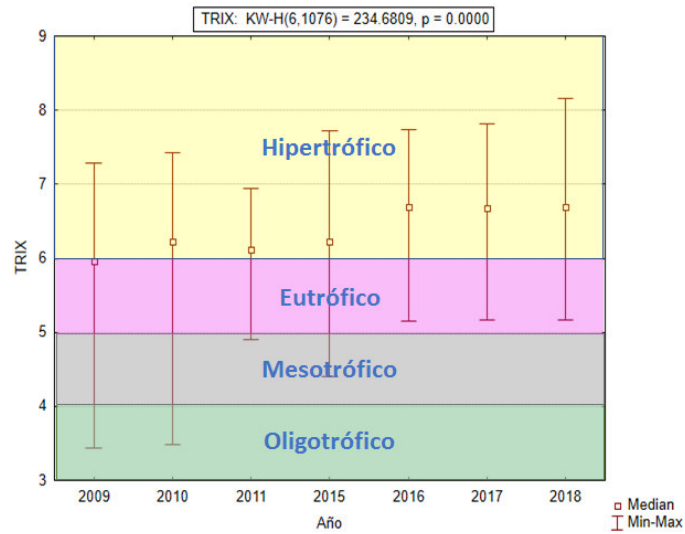
Al evaluar el estado trófico de la laguna de Cuyutlán, en los diferentes vasos, durante ambos periodos de estudio, se observaron valores de las medianas de los tres vasos que oscilaron entre 6.2 y 6.63. Además, se registró una diferencia significativa entre ellos de ($p=0000$) lo que indica que el estado trófico de la laguna está en inicios del estado hipertrófico y la calidad del agua altamente productiva en el nivel trófico más alto. De la misma manera, se obtuvieron valores mínimos de

3.49, 3.43 y 4.41, en los vasos I, II y III, lo que vincula la presencia de un estado oligotrófico en los vasos I y II. En cambio, las máximas en los vasos I, II y III llegan al estado hipertrófico, ver Gráfica 34.



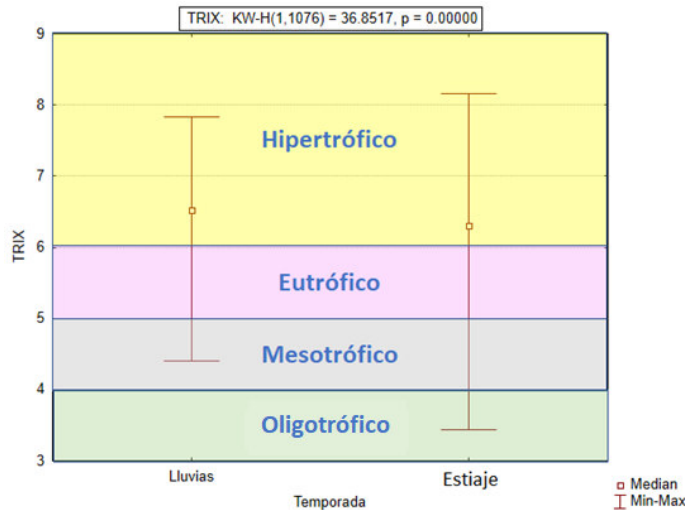
Gráfica 34.- Índice de estado trófico (TRIX) comparación del vaso I, II y III de la laguna Cuyutlán.

Considerando los periodos antes (2009 - 2011) y después (2015 - 2018), de la apertura del canal de Tepalcates, se observa una diferencia marcada en el estado trófico del sistema lagunar. Durante el primer periodo se registra valores del TRIX de 3.43 hasta 7.42 y valores medios cercanos a 6. Esto condiciona a un estado de oligotrófico a hipertrófico, entre pobremente a altamente productiva, de niveles bajos a altos en cuanto a productividad. Por otra parte, el segundo periodo (2015 – 2018) los datos mínimos registran valores de hasta 4.41 condicionando un estado mesotrófico, hasta un máximo de 8.15 hipertrófico. Sin embargo, los valores medios prevalecen cercanos a 6.7, lo que condiciona a un estado hipertrófico; es decir, altamente productiva en el nivel trófico más alto (Gráfica 35).



Gráfica 35.- Índice estado trófico (TRIX), periodos antes (2009-2011) y después (2015-2018).

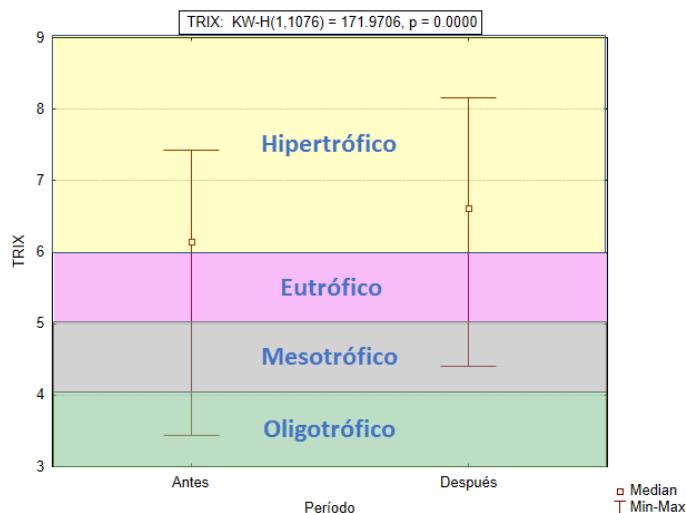
La variabilidad del TRIX entre las temporadas, de lluvias y de estiaje, mantuvieron un comportamiento homogéneo durante las temporadas, ya que los valores medios oscilan entre los 6.53 y 6.30, condicionando un estado hipertrofico. La temporada de estiaje registra mayor fluctuación, de 3.43 a 8.15, oscilando del estado oligotrofico al hipertrofico (Gráfica 36).



Gráfica 36.- Índice de estado trófico (TRIX) durante temporadas de lluvia y estiaje de la laguna Cuytlán.

Según los datos obtenidos del TRIX, en los periodos del antes y el después de la reapertura del canal de Tepalcates, se registran valores de 6.14 y 6.60,

respectivamente, con una diferencia de 0.46, condicionando a un estado hipertrófico. Cabe describir que en el antes los mínimos llegan a un valor oligotrófico, mientras que el después persisten el mesotrófico (Gráfica 37).



Gráfica 37.- Índice de estado trófico (TRIX) de los periodos antes y después de la apertura del canal de tepalcates de la Laguna Cuyutlán.

En las Tablas 12, 13, y 14 se muestran los índices del estado trófico (TRIX), obtenidos mediante la ecuación de Vollenweider *et al.* (1998), por vaso de la laguna de Cuyutlán, por temporadas de lluvia y estiaje y por los periodos anterior y posterior a la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, respectivamente.

Tabla 12.- Índice del estado trófico (TRIX) de los vasos I, II y III, obtenido a partir de los parámetros fisicoquímicos analizados durante los periodos 2009-2011 y 2015-2018.

Índice	Vaso	Máx.	Mediana	Min.
TRIX	I	7.74	6.23	3.49
	II	7.83	6.35	3.43
	III	8.15	6.63	4.41

Tabla 13.- Índice de estado trófico (TRIX) durante las temporadas de lluvia y estiaje de la laguna Cuyutlán.

Índice	Temporada	Máx.	Mediana	Min.
TRIX	Lluvias	7.83	6.53	4.41
	Estiaje	8.15	6.30	3.43

Tabla 14.- Índice de estado trófico (TRIX) antes y después de la apertura del canal de tepalcates de la laguna Cuyutlán.

Índice	Periodo	Máx.	Mediana	Min.
TRIX	Antes de la reapertura del canal de Tepalcates (2009 – 2011)	7.42	6.14	3.43
	Después de la reapertura del canal de Tepalcates (2015 - 2018)	8.15	6.60	4.41

3.3. Objetivo 3. Evolución de la legislación y la normatividad ambiental aplicable al área de estudio (antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates).

3.3.1. Revisión de la evolución de la normatividad ambiental aplicable al área de estudio.

El artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que toda persona tiene derecho a crecer y desarrollarse en un medio ambiente sano y que el Estado garantizará el respeto a este derecho.

Adicionalmente, la efectividad de la legislación ambiental, establecida en el principio 11 de la Declaración de Río, que a la letra dice:

“Los Estados deberán promulgar leyes eficaces sobre el medio ambiente. Las normas, los objetivos de ordenación y las prioridades ambientales deberían reflejar el contexto ambiental y de desarrollo al que se aplican. Las normas aplicadas por algunos países pueden resultar inadecuadas y representar un costo social y económico injustificado para otros países, en particular para los países en desarrollo.”

En este sentido, dicho principio está directamente relacionado con el desarrollo de las leyes ambientales mexicanas, por lo que, a partir de la década de los años noventa, se han expedido y modificado en México, diversas leyes y reglamentos, tales como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la Ley General para la prevención y Gestión Integral de los Residuos, la Ley de Aguas Nacionales y la Ley de Hidrocarburos, entre otras (Hernández, 2019).

La revisión de la evolución de la normatividad ambiental durante el periodo de estudio, comprendido del 2009 al 2018, en lo que comprende el antes y el después

de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, en el vaso II del Sistema Lagunar de Cuyutlán, se representa gráficamente mediante una Escala de Tiempo en la Figura 6, la cual se describe a continuación:

Las obras de reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, como acceso del Océano Pacífico hacia el vaso II de la laguna de Cuyutlán, iniciaron en febrero del 2009 y concluyeron en diciembre del 2011. Esta última fecha, se representa con una línea roja punteada en la “Escala de Tiempo”, que delimita el antes y después de la reapertura del canal.

Es conveniente mencionar que las obras en el canal de Tepalcates, se realizaron al amparo de la autorización ambiental del Proyecto Terminal de Gas Natural Licuado (TGNLM), emitida por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la SEMARNAT, mediante el oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG. 0465.08, de fecha 11 de febrero del 2008.

En la Figura 6, se puede apreciar que, en 2007 antes de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, se actualizó el Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna Cuyutlán (PROETSLC), en el que se manifiesta la oportunidad de llevar a cabo el desarrollo sustentable del área, la recuperación ecológica de la laguna de Cuyutlán y, al mismo tiempo cumplir las expectativas de desarrollo estratégico de la región. En su artículo 5, considera la construcción de nuevas instalaciones e infraestructura, proyectada a corto, mediano y largo plazo, como son los siguientes proyectos estratégicos: la TGNLM, la nueva línea del ferrocarril, la construcción de un gasoducto y la creación del puerto en el vaso II de la laguna de Cuyutlán.

De igual manera, conforme a la Escala de Tiempo, representada en la Figura 6, se observa que en el 1 de febrero de 2007 se reformó de Ley General de Vida Silvestre (Adición del Artículo 60 TER) mediante el cual, entre otros temas relevantes, se prohíbe la remoción, el relleno, el trasplante, la poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia, exceptuando de la prohibición las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar.

Por lo anteriormente expuesto, y al amparo de los instrumentos legales que se reformaron, se puede observar en la Figura 6, que durante los años 2008 y 2009, la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la SEMARNAT, autorizó en materia de impacto ambiental, la construcción y operación de los siguientes proyectos estratégicos: Proyecto Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo (TGNLM), Proyecto carretero Campos-Alameda-Punta Grande y ramal ferroviario por la margen norte del vaso II de la Laguna de Cuyutlán, Manzanillo, Colima, Mex.” y “Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo” (STGNM), los cuales se desarrollaron en el vaso II de la laguna de Cuyutlán.

Durante la etapa final de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, en febrero del 2011, los vasos III y IV de la laguna de Cuyutlán se designaron como “Humedales de Importancia Internacional” en la Convención de Ramsar.

De la revisión y análisis de la “Escala de Tiempo”, después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, señalada con una línea roja punteada en la Figura 6, se observa lo siguiente:

Mediante decreto publicado en el D.O.F. el 23 de diciembre del 2011, el vaso II de la laguna de Cuyutlán se habilitó con carácter de Puerto, con el tipo de navegación de cabotaje y altura; tal y como se había previsto en el Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca laguna Cuyutlán (PROETSLC) del 2007.

Durante los años 2012, 2013 y 2017 se reformó el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (POETEC) y en el año 2014, se reformó El Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna Cuyutlán.

Por otra parte, derivado de la Reforma a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia energética; aprobada por el Congreso de la Unión y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de diciembre de 2013, se puede observar en la “Escala de Tiempo”, que el 11 de agosto de 2014, se publicaron en el D.O.F., entre otras, las siguientes Leyes Secundarias: Ley de Hidrocarburos y Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio

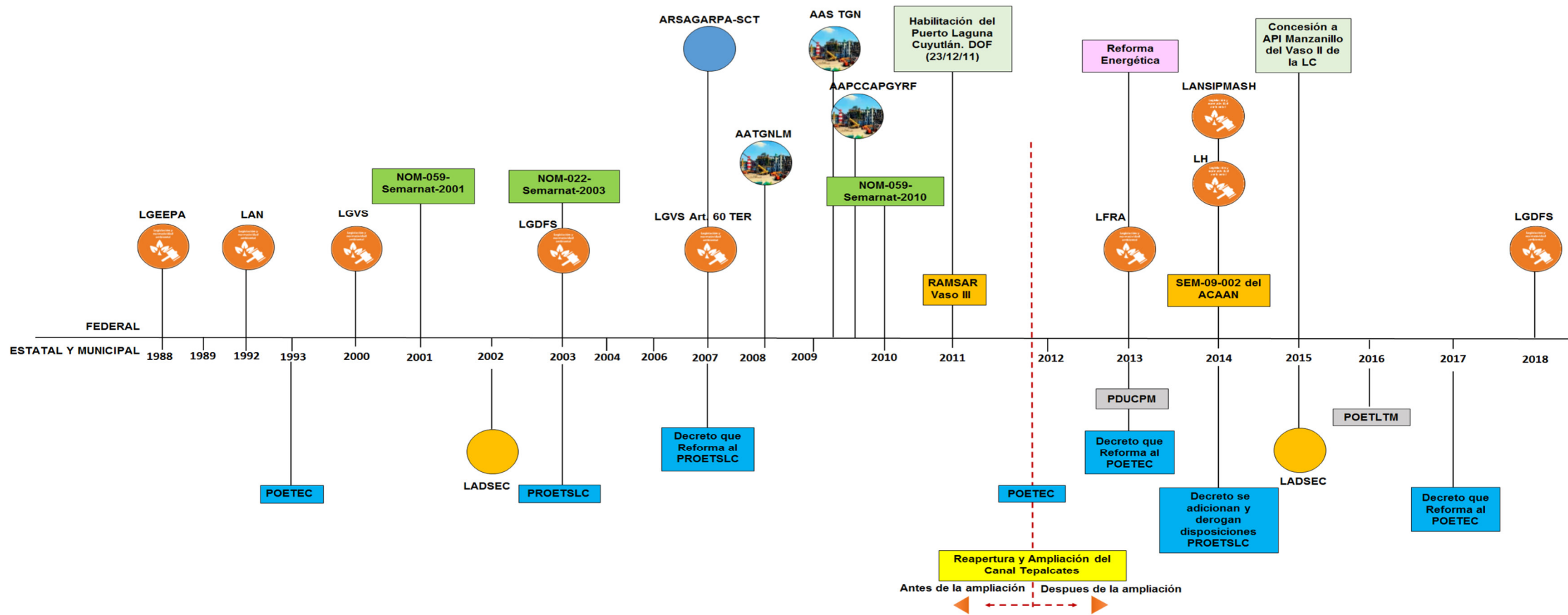
Ambiente del Sector Hidrocarburos, esta última tuvo como objeto crear la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), como un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con autonomía técnica y de gestión.

Por lo anterior y de conformidad con el artículo 5°, fracción III, de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, La Agencia tiene la atribución de regular en materia de protección ambiental las actividades del Sector Hidrocarburo. Por tal motivo, la TGNLM, el STGNM, Z Gas del Pacífico y demás empresas de dicho Sector, que se localizan o pretendan instalarse en el vaso I ó II de la laguna de Cuyutlán, deberán sujetarse a las atribuciones y regulaciones de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos y, entre otras leyes, a lo dispuesto por la Ley de Hidrocarburos.

En 2013 se publicó en el D.O.F., la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental y con el propósito regular la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al ambiente, así como la reparación y compensación de dichos daños, cuando sea exigible a través de los procesos judiciales federales previstos por el artículo 17 constitucional.

A continuación, se realiza una revisión de la legislación, la normativa, los programas, los planes y ordenamientos en materia ambiental, en el orden cronológico, indicado en la Figura. 6. Esta revisión se realiza considerando el área y el periodo de estudio.

Evolución de la Legislación y Normatividad Ambiental aplicable al área de estudio, antes y después de la reapertura del Canal de Tepalcates



SIGLAS	DESCRIPCIÓN
ACAAN	Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte.
AAPCCAPGYRF	Autorización Ambiental del Proyecto Carretero Campos-Alameda-Punta Grande y Ramal Ferroviario
AASTGN	Autorización Ambiental del Sistema de Transporte de Gas Natural.
AATGNLM	Autorización Ambiental de la Terminal de Gas Natural Licuado de Manzanillo
API	Administración Portuaria Integral.
ARSAGARPA-SCT	Acuerdo de Retiro de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación se destinan al servicio de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
LADSEC	Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Colima.
LAN	Ley de Aguas Nacionales.
LANSIPMASH	Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos.
LFRA	Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.
LGDFS	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
LGVS	Ley General de Vida Silvestre.
LH	Ley de Hidrocarburos.
PDUCPM	Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo, Colima
POETLTM	Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Territorio de Manzanillo, Colima
POETEC	Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Colima
PROETSLC	Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán.

- Reforma a la Constitución Política Mexicana.
- Decretos y Concesiones SCT-API
- Designaciones y Acuerdos Internacionales.
- Normas Oficiales Mexicanas.
- Programas, Planes u Ordenamiento del Estado de Colima.
- Programas o Planes del Municipio de Manzanillo.
- Legislación Federal.
- Autorizaciones Ambientales Emitidas por SEMARNAT a Infraestructura en el Área de Estudio.
- Acuerdos.
- Legislación Estatal

MODIFICACIONES QUE TUVIERON LAS LEYES AMBIENTALES	PERIODO DE ESTUDIO.																									
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ley de Aguas Nacionales.																										
Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos - Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente.																										
Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.																										
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.																										
Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.																										
Ley General de Vida Silvestre.																										
Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Colima																										

Figura 8.- Escala de tiempo, de la evolución de la normatividad ambiental, durante el periodo de estudio 2009-2018.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

Publicada en el D.O.F. el 28 de enero de 1988. Esta Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer entre otras bases, las siguientes:

“I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar;

...

“III.-La preservación, restauración y el mejoramiento del ambiente.

IV.- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas.

IV.- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;

VI.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo...”

Ley de Aguas Nacionales

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992. Esta Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. Es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado del Estado de Colima (POETEC)

Publicado mediante decreto, el día 28 de agosto de 1993, en el Periódico Oficial “El Estado de Colima. Este POETEC establece dentro de sus considerandos lo siguiente:

Conforme con los estudios técnicos realizados, la entidad reorganizó, de acuerdo con características geográficas y ecológicas, que por su similitud identifican áreas bien diferenciadas y han sido denominadas unidades ambientales.

El Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Colima, consideró cuatro niveles de unidad ambiental: la zona climático-geográfica, la provincia ecológica, el sistema y los paisajes terrestres. De conformidad con lo anterior, el Estado de Colima, presenta en su territorio:

- a) Dos zonas climático-geográficas:
- b) Cuatro provincias ecológicas:
- c) Once sistemas terrestres, y
- d) Treinta y cuatro paisajes terrestres.

El decreto establece en su artículo quinto lo siguiente: Las políticas de Ordenamiento Ecológico del Territorio Estatal que habrán de observarse de acuerdo con lo que establece el Programa, son: **Protección, Restauración, Conservación y Aprovechamiento.**

En su artículo sexto se señala que; “Para la aplicación de las Políticas anteriormente descritas, se tomará en cuenta la racionalización ecológica del territorio estatal, como se describe a continuación:” describiendo y detallando la delimitación geográfica de todas y cada una de las unidades ambientales en sus cuatro niveles.

Sin embargo, en el decreto mediante el cual se aprobó el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Colima, no se incluyeron las matrices que permitan identificar las actividades productivas que pueden desarrollarse en cada unidad ambiental o los usos de suelo y los criterios que habrán de aplicarse a tales actividades, solamente se determinaron las políticas para cada una de las unidades ambientales.

Ley General de Vida Silvestre

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000, es reglamentaria del párrafo tercero del artículo 27 y de la fracción XXIX inciso g, del artículo 73 Constitucional. Esta Ley es de orden público y de interés social. Tiene por objeto establecer la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana.

Así mismo, el 10 de enero de 2002, se publicó en el Diario Oficial de la Federación que el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables y de las especies cuyo medio de vida total sea el agua, será regulado por las leyes forestal y de pesca, respectivamente, salvo que se trate de especies o poblaciones en riesgo.

NOM-059-SEMARNAT-2001

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2002, es de observancia obligatoria para las personas físicas o morales que promuevan la inclusión, la exclusión o el cambio de las especies o poblaciones silvestres en alguna de las categorías de riesgo en el territorio nacional, establecidas por esta Norma. El aprovechamiento y manejo de las especies y poblaciones en riesgo se debe llevar a cabo de acuerdo con lo establecido en el artículo 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico, y en los artículos 85 y 87 y demás aplicables de la Ley General de Vida Silvestre. Tiene como objeto identificar las especies o poblaciones de flora y de fauna silvestres en riesgo, en la República Mexicana mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción.

Ley Ambiental Para el Desarrollo Sustentable del Estado de Colima (LADSEC)

Esta Ley fue publicada mediante el Decreto número 216, el 15 de junio de 2002 y ha sido reformada en cuatro ocasiones: La primera, mediante Decreto número 333, publicado el 08 de abril de 2006; la segunda reforma, mediante Decreto número 490,

publicado el 03 de marzo de 2012; la tercera, mediante Decreto número 509, publicado el 05 de mayo de 2012 y la cuarta mediante Decreto número 542, publicado el 07 de julio de 2012. Y tiene por objeto la preservación y la restauración del equilibrio ecológico, la protección al ambiente, así como propiciar el desarrollo sustentable. En su Artículo 34, establece que los programas de ordenamiento ecológico y territorial competencia del Estado son: I. El Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado, que comprenderá la totalidad del territorio estatal; II. Los programas regionales de ordenamiento ecológico y territorial, que comprenderán parte del territorio del Estado entre dos o más municipios; y III. Los programas municipales de ordenamiento ecológico y territorial.

NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003

Publicada en el D.O.F. de fecha 10 de abril de 2003, Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer las especificaciones que regulen el aprovechamiento sustentable en humedales costeros, para prevenir su deterioro, fomentando su conservación y, en su caso, su restauración. Esta norma define el concepto de humedal costero como las unidades hidrológicas integrales que contengan comunidades vegetales de manglares. Así mismo, 07 de mayo del 2004, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo que adiciona la especificación 4.43 a la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar, para quedar como sigue:

“4.43 La prohibición de obras y actividades estipuladas en los numerales 4.4 y 4.22 y los límites establecidos en los numerales 4.14 y 4.16 podrán exceptuarse siempre que en el informe preventivo o en la manifestación de impacto ambiental, según sea el caso se establezcan medidas de compensación en beneficio de los humedales y se obtenga la autorización de cambio de uso de suelo correspondiente.”

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003, es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX inciso G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable. Cuando se trate de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas, se observará lo dispuesto por el artículo 2 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán (PROETSLC)

Publicado en el periódico oficial del Estado de Colima el 5 de julio de 2003 y actualizado el 3 de mayo de 2007 y 05 de abril del 2014.

El Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna Cuyutlán, tiene por objeto evaluar y programar, desde la perspectiva ambiental, los usos del suelo, el aprovechamiento de los recursos naturales, las actividades productivas y el desarrollo urbano, con el fin de hacer compatible la conservación de la biodiversidad, la protección al ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos y elementos naturales, con el desarrollo urbano y rural, así como con las actividades económicas que se realicen, sirviendo de base para la elaboración de los programas y proyectos de desarrollo que se pretendan ejecutar, a partir del análisis del deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos, contenidos en el programa respectivo. Comprende un área total de 536.098 km². Dicha superficie se localiza en la vertiente occidental de las Sierras de la costa de Jalisco y Colima; en las coordenadas UTM siguientes: Norte: 2116816.50; Sur: 2087443.74; Este: 570031.00 y Oeste:609838.24.

El PROETS LC, en su artículo 5, establece lo siguiente:

“1.- Consideraciones generales

La presión en el área de estudio derivada de los procesos de desarrollo existentes (Central Termoeléctrica de Manzanillo, Gas Z, la explotación salinera y el crecimiento urbano de Manzanillo) y la construcción de nuevas instalaciones e infraestructura, proyectadas a corto, mediano y largo plazo, como son los siguientes proyectos estratégicos: la regasificadora, la nueva línea del ferrocarril, la construcción de un gasoducto y la creación del puerto en el vaso II de la laguna, obligan a establecer planteamientos de manejo ambiental que mitiquen los efectos de esta presión bajo los horizontes temporales de la iniciativa de desarrollo, mediante un ordenamiento especial para el área de estudio.”

“...representa una oportunidad para llevar a cabo el desarrollo sustentable del área, la recuperación ecológica de la laguna de Cuyutlán y al mismo tiempo cumplir las expectativas de desarrollo estratégico de la región.”

“2.- Políticas ambientales

Protección. - Con esta política se busca preservar los ambientes naturales con características relevantes con el fin de asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos; así como salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres y acuáticas, principalmente las endémicas raras, amenazadas o en peligro de extinción...”

“Se propone la declaratoria de un área Natural Protegida (ANP) en los ecosistemas con elevada riqueza taxonómica y funcional. También se prevé la declaratoria como área natural protegida los vasos III y IV, así como la inscripción de dicha zona en el listado de la convención Ramsar[†] y el apego a las recomendaciones para la Conservación y Manejo de las Aves Playeras

[†] La Convención sobre los Humedales Ramsar (Ramsar, Irán, 1971) es un tratado intergubernamental cuya misión es “la conservación y el uso racional de los humedales, a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional, a fin de contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo” (www.ramsar.org).

y sus hábitats en México (DUMAC, 2006) elaborado para la Dirección General de Vida Silvestre de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la SEMARNAT.”

De acuerdo con el PROETSLC, en el vaso I interaccionan directamente 6 Unidades de Gestión Ambiental con sus políticas ambientales de restauración, aprovechamiento sustentable y de conservación. En el vaso II interaccionan 16 Unidades de Gestión Ambiental y sus políticas ambientales de conservación, aprovechamiento sustentable, de restauración y de protección. En el vaso III interaccionan 20 Unidades de Gestión Ambiental teniendo políticas ambientales de aprovechamiento sustentable, conservación y restauración (ver Figura 9 y Tabla 15).

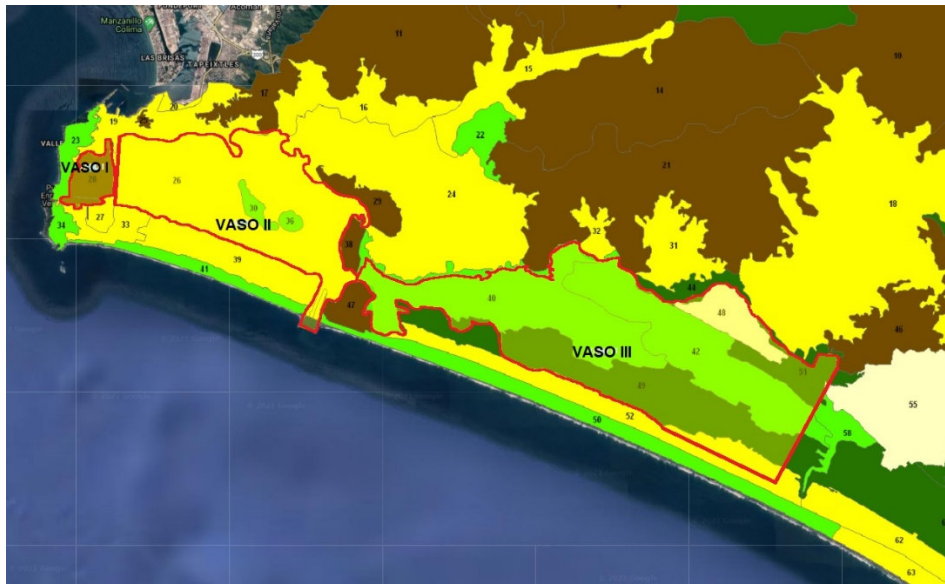


Figura 9.- Distribución de la Unidades de Gestión Ambiental en el área de estudio, conforme al PROETSLC

Tabla 15.- Relación de las Unidades de Gestión Ambiental en el área de estudio conforme al PROETSLC. Se consideraron las UGAs contenidas en cada uno de los vasos y las colindantes en su periferia.

Nombre del Ordenamiento	Tipo	Unidad de Gestión Ambiental (UGA)	Política Ambiental	Descripción del Vaso
Programa Regional de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca de la Laguna De Cuyutlán	Regional	19	Aprovechamiento	I
		23	Conservación	
		27	Aprovechamiento	
		28	Restauración	
		26	Aprovechamiento	
		33	Aprovechamiento	
		30	Conservación	II

	39	Aprovechamiento	
	24	Aprovechamiento	
	41	Conservación	
	26	Aprovechamiento	
	27	Aprovechamiento	
	29	Restauración	
	33	Aprovechamiento	
	38	Restauración	
	36	Conservación	
	17	Restauración	
	47	Restauración	
	19	Aprovechamiento	
	40	Conservación	
	50	Conservación	
	16	Aprovechamiento	
	50	Conservación	
	52	Aprovechamiento	III
	55	Aprovechamiento - Conservación	
	46	Restauración	
	49	Protección	
	21	Restauración	
	26	Aprovechamiento	
	40	Conservación	
	48	Aprovechamiento - Conservación	
	38	Restauración	
	42	Conservación	
	18	Aprovechamiento	
	58	Conservación	
	51	Protección	
	44	Protección	
	14	Restauración	
	32	Aprovechamiento	
	24	Aprovechamiento	
	47	Restauración	
	31	Aprovechamiento	

Si bien es cierto que el objetivo del PROETSLC es el de impedir cualquier modificación significativa en la Laguna de Cuytlán, esto no significa que no se puedan realizar la construcción de obras de infraestructura y servicios, ya que como instrumento de regulación, considera que los posibles cambios o modificaciones en el área de estudio, deberán someterse al procedimiento de evaluación en materia de impacto ambiental con base en lo establecido en la Legislación Ambiental Estatal y/o Federal vigente en el ámbito de sus respectivas competencias.

El PROETS LC establece la siguiente Estrategia de Gestión: “Para el caso de los proyectos futuros, el desarrollo deberá ser gradual. En cada etapa el promovente deberá garantizar que no ha alterado la estructura, la composición ni la función de los ecosistemas presentes o circundantes.

En caso de que los proyectos llegaran a provocar la pérdida de los servicios ambientales o alteraciones en los ecosistemas se deberán llevar a cabo acciones de compensación ambiental.

Reforma de Ley General de Vida Silvestre (Adición del Artículo 60 TER)

Reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2007, mediante DECRETO por el que se adiciona un artículo 60 TER. Describe que queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos. Se exceptuarán de la prohibición a que se refiere el párrafo anterior las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar. Artículo segundo. - Se adiciona un segundo párrafo al artículo 99 de la Ley General de Vida Silvestre, para quedar como sigue: Artículo 99.- ... Las obras y actividades de aprovechamiento no extractivo que se lleven a cabo en manglares deberán sujetarse a las disposiciones previstas por el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.” Que a la letra dice:

“ARTÍCULO 28.- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes

obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:

...

X.- Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales;

XI. Obras y actividades en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación;

...”

Acuerdo SAGARPA-SCT

Acuerdo publicado en el D.O.F., el 18 de diciembre del 2007, por el que se retiran del servicio de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, seis fracciones de terreno ubicados en Manzanillo, Colima y se destinan al servicio de la SCT, a efecto de realizar en las mismas las obras marítimas y de dragado necesarias para ampliar el canal de Tepalcates.

Autorización en materia de impacto y riesgo ambiental el Proyecto “Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo (TGNLM)”

Mediante oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG.0465.08 de fecha 11 de febrero del 2008, la DGIRA de la SEMARNAT, en el ejercicio de sus atribuciones, resolvió autorizar, de manera condicionada, en materia de impacto y riesgo ambiental el Proyecto “Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo (TGNLM).”

El Proyecto de la TGNLM incluye obras consistentes en equipos para el almacenamiento de gas natural licuado (GNL), muelle de descarga, canal de acceso, dársena de ciaboga, escolleras de protección, acueductos, instalación de gasoducto y de ducto para agua fría (sistema de agua de sinergia), estos dos últimos desde la TGNLM al Complejo Termoeléctrico Manzanillo.

Autorización en materia de impacto ambiental del “Proyecto carretero Campos-Alameda-Punta Grande y ramal ferroviario por la margen norte del vaso II de la Laguna de Cuyutlán, Manzanillo, Colima, Mex.”

Mediante oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG.2350.09, de fecha 19 de junio de 2009, la DGIRA de la SEMARNAT, autorizó, de manera condicionada, en materia de impacto ambiental el “Proyecto carretero Campos-Alameda-Punta Grande y ramal ferroviario por la margen norte del vaso II de la Laguna de Cuyutlán, Manzanillo, Colima, Mex.”

El Proyecto consiste en: a) la construcción de aproximadamente 12 km de una doble vía férrea por la margen norte del vaso II de la Laguna de Cuyutlán, como parte del proceso constructivo de la vía férrea en los tramos acuáticos y de humedal, se realizó sobre viaductos piloteados, esto conforme al oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG.6695.09, de fecha 22 de octubre del 2009, mediante el cual se autorizó la modificación del Proyecto; b) la construcción de aproximadamente 11.8 km de carretera tipo A4s, en la margen norponiente del vaso II de la Laguna de Cuyutlán.

Autorización en materia de impacto y riesgo ambiental el Proyecto “Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo” (STGNM)

Mediante oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG.3413.09, de fecha 26 de junio de 2009, la DGIRA de la SEMARNAT, autorizó, de manera condicionada, en materia de impacto y riesgo ambiental el Proyecto “Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo” (STGNM).

El Proyecto STGNM comprende dos tramos, tramo 1 (T1) y tramo 2 (T2). Cabe mencionar que el tramo 1 (T1) fue evaluado en la MIA del Proyecto TGNLM, con una longitud aproximada de 6.5 km y un diámetro de 36 pulgadas y va de la TGLM al Complejo Termoeléctrico Manzanillo.

El tramo 2 (T2), es el Proyecto autorizado mediante el oficio resolutivo N° S.G.P.A./DGIRA.DG.3413.09, con una longitud aproximada de 304 km y diámetro de 24 y 36 pulgadas, inicia en la TGNLM y termina conectándose al Sistema Nacional de Gasoductos, de PEMEX-Gas y Petroquímica Básica, en el punto denominado “El Castillo” en el Municipio de El Salto, Jalisco. El tramo 2 (T2), cruza el canal de Tepalcates que conecta el vaso II de la Laguna de Cuyutlán con el océano Pacífico.

Este cruce se realizó mediante el procedimiento constructivo denominado “Perforación Direccional”.

NOM-059-SEMARNAT-2010

NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

La Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059) es el instrumento normativo que identifica las especies o poblaciones de México en riesgo mediante la aplicación del Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres de México (MER).

El Objetivo y campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y de fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción y es de observancia obligatoria en todo el Territorio Nacional, para las personas físicas o morales que promuevan la inclusión, exclusión o cambio de las especies o poblaciones silvestres en alguna de las categorías de riesgo, establecidas por esta Norma.

Sitio Ramsar en el área de estudio

El 2 de febrero de 2011, los vasos III y IV de la laguna de Cuyutlán se designaron como “Humedales de Importancia Internacional” en la Convención de Ramsar, con el número 1985.

Un *Sitio “Ramsar”* es un humedal designado como de importancia internacional bajo la Convención de Ramsar.

La Convención sobre Humedales, conocida como la Convención de Ramsar, es un tratado ambiental intergubernamental establecido en la ciudad de Ramsar, Irán, en el año de 1971, por la UNESCO. Este tratado entró en vigor en 1975, el cual proporciona la base para la acción nacional y cooperación internacional con respecto a la

conservación de humedales y el uso racional y sostenible de sus recursos. La Convención Ramsar identifica humedales de importancia internacional, especialmente aquellos que proporcionan hábitat para aves acuáticas.

Vaso III de la laguna de Cuyutlán, designado Sitio Ramsar.

La laguna de Cuyutlán se caracteriza por poseer una gran diversidad de especies de flora y de fauna silvestre, de entre las que destacan las especies de mangle correspondientes al mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) (Ángeles 1997).

El vaso III es el que mayor superficie presenta (Figura 8). Dentro de este vaso se ubica una parte de la zona salinera, dado que las condiciones son idóneas para el desarrollo de esta actividad, ya que la temperatura y la evaporación generan una concentración de sales y precipitación de éstas en la temporada de estiaje, que se presenta entre los meses de febrero a mayo de cada año. El tirante de agua en el vaso es reducido, por lo que las condiciones no son adecuadas para el desarrollo de especies de importancia comercial. En la mayor parte de este vaso, la temperatura es relativamente más alta que en los otros vasos a excepción de las cercanías del puente Tepalcates y el canal del mismo nombre.



Figura 10.- Sitios RAMSAR vasos III y IV Laguna de Cuyutlán (Fuente: plataforma SIGEIA de la SEMARNAT).

Áreas Naturales Protegidas en el área de estudio.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra actualmente 182 áreas naturales divididas en 9 Direcciones Regionales.

- Península de Baja California y P. Norte
- Noroeste y Alto Golfo de California
- Norte y Sierra Madre Occidental
- Noreste y Sierra Madre Oriental
- Occidente y Pacífico Centro
- Centro y Eje Neovolcánico
- Planicie Costera y Golfo de México
- Frontera Sur-Istmo y Pacífico Sur
- Península de Yucatán y Caribe M.

Con el propósito de acotar al área de estudio, se enfocará particularmente en la Región Occidente y Pacífico Centro (ver Figura 9), la cual abarca 29 Áreas Naturales Protegidas (ANP), reconocidas en el nivel mundial por su alto valor ambiental, las cuales suman en conjunto 15,526,963 hectáreas. Mismas que se clasifican de la siguiente manera:

Reservas de la Biósfera

- Reserva de la Biósfera Chamela - Cuixmala
- Reserva de la Biósfera Islas Marías
- Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán
- Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales Nayarit
- Reserva de la Biósfera Zicuirán - Infiernillo
- Reserva de la Biósfera Pacífico Mexicano Profundo

Parques Nacionales

- Parque Nacional Islas Marietas
- Parque Nacional Barranca del Cupatitzio
- Parque Nacional Cerro de Garnica
- Parque Nacional Insurgentes José María Morelos
- Parque Nacional Isla Isabel
- Parque Nacional Lago de Camécuaro
- Parque Nacional Volcán Nevado de Colima
- Parque Nacional Rayón

Áreas de Protección de Flora y Fauna

- Área de Protección de Flora y Fauna El Jabalí
- Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila
- Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera
- Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro

Áreas de Protección de Recursos Naturales

- Área de Protección de Recursos Naturales CADNR 001 Pabellón
- Área de Protección de Recursos Naturales CADNR 043 Estado de Nayarit
- Área de Protección de Recursos Naturales Las Huertas

Santuarios

- Santuario Islas La Pajarera, Cocinas, Mamut, Colorada, San Pedro, San Agustín, San Andrés y Negrita, y los Islotes Los Anegados, Novillas, Mosca y Submarino
- Santuario Playa Cuitzmala
- Santuario Playa de Maruata y Colola
- Santuario Playa de Mismaloya
- Santuario Playa El Tecuán

- Santuario Playa Mexiquillo
- Santuario Playa Piedra de Tlacoyunque
- Santuario Playa Teopa

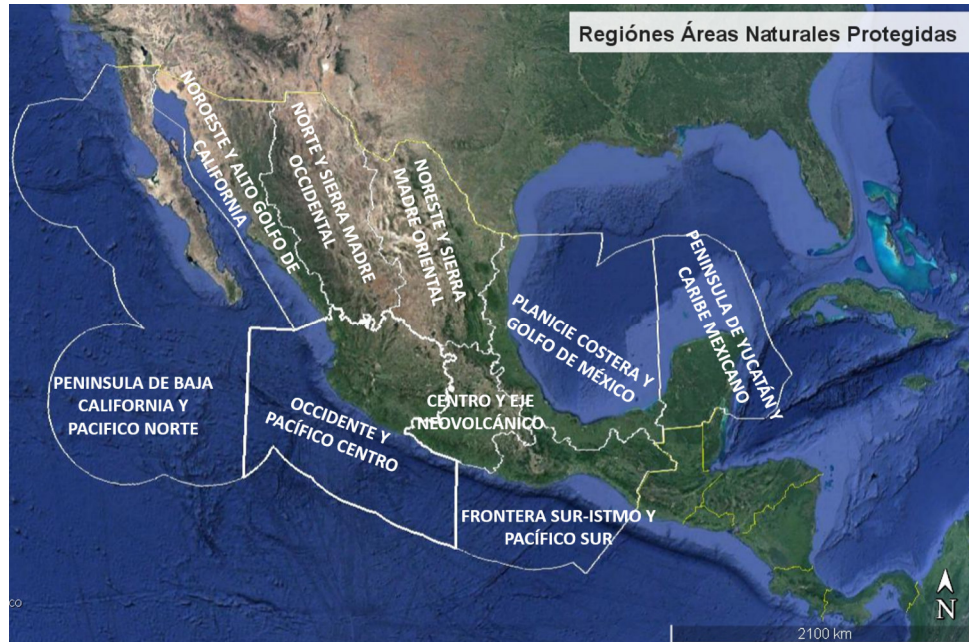


Figura 11.- Identificación de Regiones de las ANP (Fuente CONAMP).

El área de estudio se encuentra localizada la jurisdicción de la Región Occidente y Pacífico Centro (ver Figura 12).

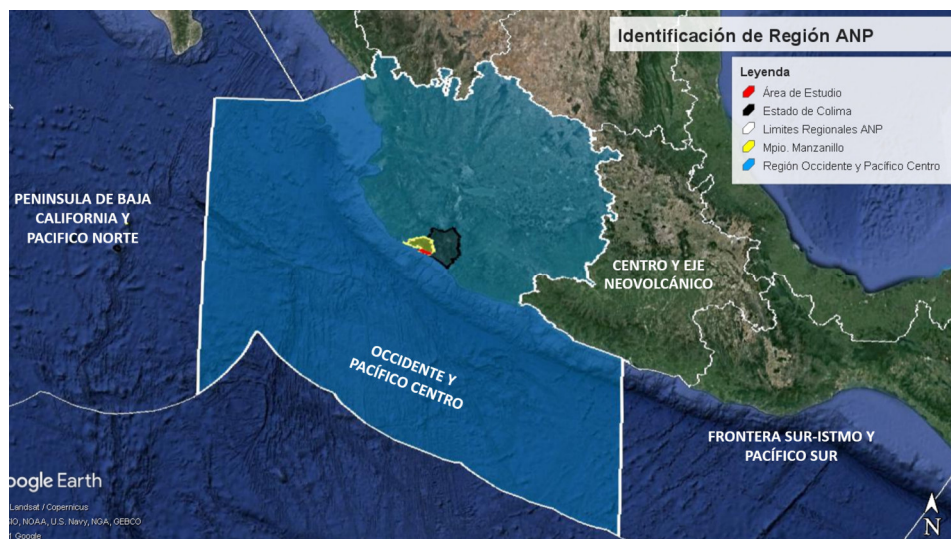


Figura 12.- Localización del área de estudio dentro de la región Occidente y Pacífico centro de ANP (Fuente CONAMP).

A pesar de que la región Occidente y Pacífico centro cuenta con 29 Áreas Naturales Protegidas, ninguna de éstas tiene influencia en esta área de estudio. Se realizó el análisis tomando un punto de referencia (coordenadas $x= 579386.21 \text{ m E}$, $y=2102091.37 \text{ m N}$) dentro del área de estudio y trazando un radio de 25 km, obteniendo los siguientes resultados (ver Figura 13).



Figura 13.- Radio de influencia de las ANP con respecto a nuestra área de estudio.

Los resultados obtenidos nos muestran que las ANP's más cercanas al área de estudio, están fuera del radio de los 25 km, las cuales se enumeran en la Tabla 16.

Tabla 16.- Áreas Naturales Protegidas cercanas al área de estudio (fuera del radio de 25 km)

NÚM	REGIÓN	NOMBRE DEL ÁREA	DECRETO	SUP. (HA`S)	CERCANIA KM
1	Occidente y Pacífico Centro	Reserva de la Biósfera Pacífico Mexicano Profundo	07/12/2016	43,614,120.19	28.00
2		Reserva Biósfera Sierra de Manantlán	23/03/1987	139,577.12	50.00
3		Área Natural de Protección de Recursos Las Huertas	23/06/1988	167	61.00
4		Santuario Playa El Tecuán (JALISCO)	29/10/1986	36.33	72.80
5		Área de Protección de Flora y Fauna El Jabalí	14/08/1981	5,178.56	72.96
6		Parque Nacional Volcán Nevado de Colima	05/09/1936	6,554.75	82.00

7		Santuario Playa Cuitzmala (JALISCO)	29//10/1986	20.92	87.00
8		Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala	30/12/1993	131,142.00	89.00
9		Santuario Playa Teopa (JALISCO)	19/10/1986	30.28	92.00

Decreto de habilitación del puerto de la laguna Cuyutlán, ubicada en el municipio de Manzanillo, en el Estado de Colima.

Decreto publicado en el D.O.F., el 23 de diciembre del 2011, mediante el cual se habilita con el carácter de Puerto, el lugar denominado "laguna de Cuyutlán", ubicado en el municipio de Manzanillo, en el Estado de Colima, con el tipo de navegación y localización geográfica que se indican en la Tabla 17.

Tabla 17.- Localización geográfica del Puerto "Laguna de Cuyutlán"

Carácter	Denominación	Navegación	LOCALIZACIÓN	
			Latitud Norte	Longitud Oeste
Puerto	Laguna de Cuyutlán	Cabotaje y Altura	18°59'53.2533"	104°15'22.48955"

En el decreto se establece que el Puerto "laguna de Cuyutlán" quedará adscrito a la capitanía de puerto de Manzanillo, en el Estado de Colima, en virtud de la inmediación geográfica de ambos puertos y que la capitanía de puerto correspondiente y las autoridades aduaneras, sanitarias, migratorias o cualquiera otra competente, ejercerán sus atribuciones en el puerto habilitado mediante el presente decreto, en los términos de las disposiciones legales aplicables.

Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (POETEC)

Publicado en el periódico oficial del Estado de Colima el 11 de agosto del 2012 y reformado mediante decreto el de 21 de septiembre del 2013 y 30 de diciembre de 2017. El Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima tiene por objeto evaluar y programar desde la actual perspectiva ambiental y con las herramientas de vanguardia, los usos del suelo, el aprovechamiento de los recursos

naturales, las actividades productivas y el desarrollo urbano, con el fin de hacer compatible la conservación de la biodiversidad, la protección al ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos y los elementos naturales, con el desarrollo urbano y rural, así como con las actividades económicas que se realicen sirviendo de base para la elaboración de los programas y proyectos de desarrollo que se pretendan ejecutar.

Es un instrumento de política ambiental dirigido a regular e inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente, la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de éstos (LGEEPA, Artículo 3. Frac. XXIII).

El área de estudio se ubica en la UGA 88 del POETEC, en la cual se establece que se seguirán la política general, lineamientos, usos, criterios, estrategias y acciones del Programa Regional de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán.

No obstante, lo anterior, se realizó el análisis geoespacial utilizando como apoyo la plataforma del sistema de información geográfica para la evaluación del impacto ambiental (SIGEIA) de la SEMARNAT. En la Figura 14 y en la Tabla 18 se indican las UGA's del área de estudio conforme al POETEC.



Figura 14.- Distribución de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio, conforme al POETEC

De acuerdo con el POETEC, en el vaso I interaccionan 5 unidades de gestión ambiental con sus políticas ambientales de restauración, aprovechamiento sustentable y de conservación. En el vaso II interaccionan 13 unidades de gestión y sus políticas ambientales de conservación, aprovechamiento sustentable, de restauración y de aprovechamiento restauración. En el vaso III interaccionan 15 unidades de gestión ambiental teniendo políticas ambientales de protección, de aprovechamiento sustentable, conservación y restauración.

Tabla 18.- Relación de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio conforme al PROETSLC.

Nombre del Ordenamiento	Tipo	Unidad de Gestión Ambiental (UGA)	Política Ambiental	Descripción del Vaso	
Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima	Regional	UGA 88-28	Restauración	I	
		UGA 88-23	Conservación		
		UGA 88-27	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-33	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-19	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-30	Conservación	II	
		UGA 88-19	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-41	Conservación		
		UGA 88-39	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-26	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-33	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-27	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-24	Aprovechamiento Restauración		
		UGA 88-36	Conservación		
		UGA 88-16	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-17	Restauración		
		UGA 88-47	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-55	Aprovechamiento sustentable		
		UGA 88-50	Protección		III
		UGA 88-58	Conservación		
UGA 88-52	Aprovechamiento sustentable				
UGA 88-48	Aprovechamiento sustentable				
UGA 88-51	Conservación				

		UGA 88-26	Aprovechamiento sustentable	
		UGA 88-38	Restauración	
		UGA 88-42	Conservación	
		UGA 88-18	Aprovechamiento sustentable	
		UGA 88-49	Protección	
		UGA 88-40	Conservación	
		UGA 88-44	Protección	
		UGA 88-21	Restauración	
		UGA 88-46	Restauración	

Reforma de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia energética.

La reforma constitucional, fue aprobada por el Congreso de la Unión y publicada en el D.O.F. de la Federación el 20 de diciembre de 2013. Se reformaron los párrafos cuarto, sexto y octavo del artículo 25; el párrafo sexto del artículo 27; los párrafos cuarto y sexto del artículo 28; y se adicionan un párrafo séptimo, recorriéndose los subsecuentes en su orden, al artículo 27; un párrafo octavo, recorriéndose los subsecuentes en su orden, al artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

De acuerdo con el resumen ejecutivo publicado por el gobierno de México en la página <https://www.gob.mx/uploads/attachment>, la reforma energética busca los siguientes objetivos y premisas fundamentales:

1. Mantener la propiedad de la nación sobre los hidrocarburos que se encuentran en el subsuelo.
2. Modernizar y fortalecer, sin privatizar, a Petróleos Mexicanos (Pemex) y a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) como Empresas Productivas del Estado, 100% públicas y 100% mexicanas.
3. Reducir la exposición del país a los riesgos financieros, geológicos y ambientales en las actividades de exploración y extracción de petróleo y gas natural.

4. Permitir que la nación ejerza, de manera exclusiva, la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, en beneficio de un sistema competitivo que permita reducir los precios de la energía eléctrica.
5. Atraer mayor inversión al sector energético mexicano para impulsar el desarrollo del país.
6. Contar con un mayor abasto de energéticos a mejores precios.
7. Garantizar estándares internacionales de eficiencia, calidad y confiabilidad de suministro energético, así como transparencia y rendición de cuentas en las distintas actividades de la industria energética.
8. Combatir de manera efectiva la corrupción en el sector energético.
9. Fortalecer la administración de los ingresos petroleros e impulsar el ahorro de largo plazo en beneficio de las futuras generaciones.
10. Impulsar el desarrollo, con responsabilidad social y ambiental.

Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo, Colima (PDUCPM)

Publicado en el periódico oficial "El Estado de Colima", el **21 de septiembre 2013** y modificado el 14 de noviembre del 2014 y 11 de abril de 2018 por el H. Cabildo del municipio de Manzanillo, y publicado en el periódico oficial "El Estado de Colima", el 21 de febrero de 2015 y 14 de julio del 2018 respectivamente.

Ley Federal de Responsabilidad Ambiental

Nueva ley publicada en el D.O.F. el 7 de junio de 2013, reformada el 20-05-2021. Esta ley regula la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al ambiente, así como la reparación y compensación de dichos daños cuando sea exigible a través de los procesos judiciales federales previstos por el artículo 17 constitucional, los mecanismos alternativos de solución de controversias, los procedimientos administrativos y aquéllos que correspondan a la comisión de delitos contra el ambiente y la gestión ambiental. Los preceptos de este ordenamiento son reglamentarios del

artículo 4o. Constitucional, de orden público e interés social y tienen por objeto la protección, la preservación y restauración del ambiente y el equilibrio ecológico, para garantizar los derechos humanos a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de toda persona, y a la responsabilidad generada por el daño y el deterioro ambiental.

Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo, Colima

El H. Cabildo constitucional del municipio de Manzanillo, Col., en sesión celebrada el día 9 de julio de 2013, aprobó el "PROGRAMA DE DESARROLLO URBANO DEL CENTRO DE POBLACIÓN DE MANZANILLO, COLIMA", el cual se publicó en el periódico oficial "El Estado de Colima", de fecha 21 de septiembre del mismo año. Con fecha 14 de noviembre de 2014 el H. Cabildo, aprobó una modificación al programa de que se habla, según certificación expedida el 10 de febrero de 2015, por el secretario del ayuntamiento de Manzanillo.

Para el área de Campos y cerca del sistema lagunar en el vaso I y II, lo definen por zonas como se describe en seguida:

- I. ZONA: Industrial, ligera y de bajo impacto, CLAVE: I1
- II. ZONA: Equipamiento regional, CLAVE: ER
- III. ZONA: Industria media y de mediano impacto, CLAVE: I2
- IV. ZONA: Industria, pesada y de alto impacto, CLAVE: I3
- V. ZONA: Habitacional, densidad alta, CLAVE: H4
- VI. ZONA: Servicios a la industria y al comercio CLAVE: S
- VII. ZONA: Equipamiento regional, CLAVE: ER
- VIII. ZONA: Parque Natural, CLAVE: PN



Figura 15.- Zonificación que define el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo, Colima.

Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos

Publicada en el diario oficial de la federación el 11 de agosto de 2014, y reformada el 20 de mayo del 2021. Esta ley es de orden público e interés general y de aplicación en todo el territorio nacional y zonas en las que la Nación ejerce soberanía o jurisdicción y tiene como objeto crear la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), como un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con autonomía técnica y de gestión.

La Agencia tiene por objeto la protección de las personas, el medio ambiente y las instalaciones del sector hidrocarburos, a través de la regulación y supervisión de:

- I. La seguridad industrial y seguridad operativa;
- II. Las actividades de desmantelamiento y abandono de instalaciones, y
- III. El control integral de los residuos y emisiones contaminantes.

Ley de Hidrocarburos

Esta ley es reglamentaria de los artículos 25, párrafo cuarto; 27, párrafo séptimo y 28, párrafo cuarto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de Hidrocarburos. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 11 de agosto de 2014 y la última reforma publicada DOF 20-05-2021. Esta Ley tiene por objeto regular las siguientes actividades en territorio nacional:

- I. El Reconocimiento y Exploración Superficial, y la Exploración y Extracción de Hidrocarburos;
- II. El Tratamiento, refinación, enajenación, comercialización, Transporte y Almacenamiento del Petróleo;
- III. El procesamiento, compresión, licuefacción, descompresión y regasificación, así como el Transporte, Almacenamiento, Distribución, comercialización y Expendio al Público de Gas Natural;
- IV. El Transporte, Almacenamiento, Distribución, comercialización y Expendio al Público de Petrolíferos, y
- V. El Transporte por ducto y el Almacenamiento que se encuentre vinculado a ductos, de Petroquímicos.

Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN)

El Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte celebrado entre los gobiernos de Canadá, México y Estados Unidos, complementa al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y tiene que ver con los asuntos ambientales que puedan surgir del intercambio comercial.

Ley Ambiental Para el Desarrollo Sustentable Del Estado De Colima

Esta ley fue reformada mediante decreto número 514, el **11 de julio de 2015**. Conserva el mismo objeto de la publicada de 15 de junio de 2002, el cual consiste en la preservación y restauración del equilibrio ecológico, la protección al ambiente, así como propiciar el desarrollo sustentable.

Concesión a API Manzanillo del vaso II de la laguna de Cuyutlán

Segundo adendum al título de concesión otorgado por la secretaría de comunicaciones y transportes el 1 de febrero de 1994, en favor de administración portuaria integral de Manzanillo, S.A. de C.V., para usar, aprovechar y explotar bienes del dominio público de la Federación, y de las obras e instalaciones propiedad del Gobierno Federal; así como para la construcción de obras, marinas, terminales e instalaciones portuarias y la prestación de los servicios portuarios en los recintos portuarios del puerto de Manzanillo y su jurisdicción, Estado de Colima.

Publicado en el diario oficial de la federación, el 13 de julio del 2016. El objeto del segundo adendum es incorporar a la concesión integral una superficie de agua de 14,625,165.01 m² del vaso II en el puerto laguna de Cuyutlán, en el Estado de Colima.

Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Territorio de Manzanillo, Colima (POETLTM)

Aprobado por el H. Cabildo del municipio de Manzanillo, el 14 de julio del 2016 y publicado en el periódico oficial "El Estado de Colima", el 30 de julio del mismo año.

El POETLTM, tiene por objeto evaluar y programar desde la actual perspectiva ambiental y con las herramientas de vanguardia, los usos del suelo, el aprovechamiento de los recursos naturales, las actividades productivas y el desarrollo urbano, con el fin de hacer compatible la conservación de la biodiversidad, la protección al ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos y elementos naturales, con el desarrollo urbano y rural, así como con las actividades económicas que se realicen sirviendo de base para la elaboración de los programas y proyectos de desarrollo que se pretendan ejecutar.

El POETLTM está compuesto por una serie de elementos que lo conforman en su conjunto: la visión de desarrollo establecida para el municipio, un conjunto de Unidades de Manejo Ambiental (UGA's), destinos de uso del suelo o políticas para cada una de éstas, estrategias ambientales y criterios de regulación ecológica que interpretan la política e indicadores de cumplimiento.

El análisis de las UGA's con influencia en el área de estudio se llevó a cabo utilizando como apoyo la plataforma del sistema de información geográfica para la evaluación del impacto ambiental (SIGEIA) perteneciente a la entidad gubernamental SEMARNAT.

En la Tabla 19 y Figura 16 se muestran los resultados obtenidos del análisis espacial, el cual indica que, de acuerdo con el POETLTM, el área de estudio se rige por la UGA 34 de este ordenamiento, misma que redirecciona al Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán (PROETSCLC).



Figura 16.- Distribución de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio, conforme al POETLTM

Tabla 19.- Relación de las unidades de gestión ambiental en el área de estudio conforme al POETLTM

Nombre del ordenamiento	Tipo	Unidad de gestión ambiental (UGA)	Política ambiental	Municipio/Estado	Descripción
Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Municipio de Manzanillo	Local	34	Se aplicarán las políticas del POET de la Subcuenca Laguna De Cuyutlán	Manzanillo/Col	Vaso I
	Local	34	Se aplicarán las políticas del POET de la Subcuenca Laguna De Cuyutlán	Manzanillo/Col	Vaso II
	Local	34	Se aplicarán las políticas del POET de la Subcuenca Laguna De Cuyutlán	Manzanillo/Col	Vaso III

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)

La presente ley está reglamentada en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, última reforma publicada en el D.O.F. el 19 de enero del 2018. Tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación, las entidades federativas, los Municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX inciso G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable. Cuando se trate de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas se observará lo dispuesto por el artículo 2 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión del Objetivo 1. Determinar la variación espaciotemporal de los parámetros fisicoquímicos.

4.1.1. Parámetros químico-biológicos

I. Nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , y SiO_2)

Para el caso de la variabilidad estacional de los nutrientes, uno de los factores que condicionan su disponibilidad y aumento son los aportes antropogénicos, pluviales y fluviales (Varona-Cordero y Gutiérrez, 2003). Aunado a esto, en temporada de lluvia se generan escorrentías y aumento del espejo de agua y debido a efectos dinámicos resuspensión de material orgánico sedimentado y con esta resuspensión de sedimentos, un aumento de nutrientes en la laguna (Monbet, 1992; Ringwood y Keppler, 2002). Este mismo comportamiento fue encontrado en la laguna Lobos en la costa este del Golfo de California, por Valenzuela *et al.*, 2006, los cuales observaron que las mayores concentraciones de nutrientes se atribuyeron a la temporada de verano, cuando las precipitaciones fueron mayores y por ende, el transporte del material

fue considerable; situación que se refleja en este trabajo, donde se incrementaron las concentraciones de nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} y SiO_2) en la temporada de lluvias, principalmente en los vasos I y II.

La variación espacial de nutrientes en la laguna de Cuyutlán (vaso I, II y III), muestra un aumento en las concentraciones de amonio (NH_4^+) y silicatos (SiO_2) y menor concentración de fosfatos (PO_4^{3-}), nitratos y nitritos (NO_3^- , NO_2^-) en el vaso I, en comparación con los vasos II y III. Esto es debido a que el vaso I presenta mayor aporte de material orgánico por las escurrimientos o descargas residuales clandestinas desde las zonas urbanas de su ladera norte (ver Figuras 17 y 18), además, el vaso I presenta una alta tasa de vegetación circundante, lo cual propicia la remineralización del material orgánico (hojarasca), específicamente en formas de nitrógeno (amonio, nitrato y nitrito) y fósforo (fosfatos) por procesos microbianos (Arenas y De la Lanza, 1990; Moreno-Casasola *et al.*, 2001). De la misma manera, un aumento significativo de SiO_2 debido a que éstas funcionan como trampa de material inorgánico (Álvarez-Borrego, 1976).



Figura 17.- Zona urbana en la parte norte de los vasos I y II de la laguna de Cuyutlán, antes de la apertura y ampliación del canal de Tepalcates (Imagen Google Earth del 2009).



Figura 18.- Zona urbana en la parte norte de los vasos I y II de la laguna de Cuyutlán, después de la apertura y ampliación del canal de Tepalcates (Imagen Google Earth del 2017).

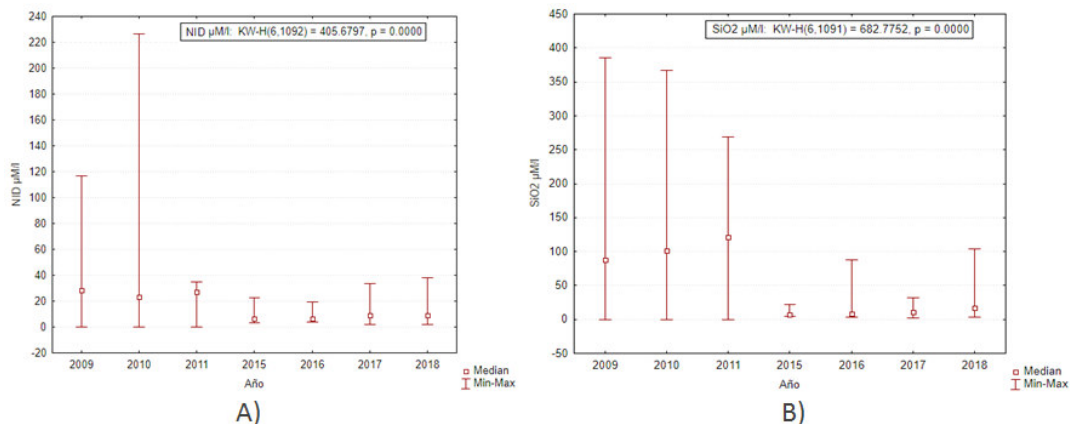
Por otra parte, la acción de la marea y el viento condicionan la homogeneidad de la columna de agua, debido a que generan una resuspensión de material orgánico sedimentado, el cual es asimilado y degradado por los procesos bacterianos (Cloern, 1987), mientras que la profundidad es un factor importante, puesto que el proceso de difusión de los iones entre sedimento y agua es mayor, lo que propicia la presencia de Nitrógeno y Fósforo, necesario para la producción primaria (De la Lanza, 1990; Arenas y De la Lanza, 1990; Cloern, 2001). La presencia de alta o baja concentración de NO_3+NO_2 , también puede estar relacionada con procesos de desnitrificación que se presenta la zona, debido a la alta presencia de materia orgánica (Seitzinger, 1988) y de los altos tiempos de residencia del agua dentro de la laguna (Boyle *et al.*, 2004), que se conjugan con descensos diurnos en la disponibilidad de oxígeno disuelto, como parte de la ciclicidad del sistema lagunar.

El aporte de nutrientes relacionado con la urbanización es un factor determinante en la laguna de Cuyutlán, pues se ha puesto de manifiesto que, el incremento poblacional es un factor determinante para que en sistemas costeros se incremente considerablemente el aporte de nutrientes inorgánicos como lo menciona Fernández (2007), quien realizó un estudio del flujo de nutrientes en la cuenca del Mar Menor en España, quien relaciona el aumento significativo de Fosforo y Nitrógeno desde distintos asentamientos urbanos, donde también se conjugan los aportes agrícolas que se

producen en la zona, misma situación que puede estar ocurriendo en los vasos I y II en la laguna de Cuyutlán.

Las concentraciones elevadas de nutrientes se atribuyen principalmente a la disponibilidad de material orgánico, aportes pluviales y fluviales, además al tiempo de residencia hidráulico en las zonas interiores de la laguna, lo que genera altas concentraciones de nutrientes por la presencia de aportes continentales y la degradación de material orgánico por procesos microbianos, los cuales pueden producir hasta el 50% de la concentración del amonio que la biomasa fitoplanctónica necesita para sus procesos internos (Ferguson *et al.*, 2004). Las concentraciones bajas de nutrientes (vaso II y III), se pueden relacionar con la reapertura del canal de Tepalcates en el vaso II, canal túnel y canal de ventanas en el vaso I, lo cual propicia una recirculación del material disponible en la columna de agua; ya que, en cierta manera, el aumento de nutrientes está relacionado con el material suspendido desde la parte superficial hasta los sedimentos que son transportados hasta las zonas intermedias de la laguna (Varona-Cordero, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2006).

Con respecto a la variación de las concentraciones anuales de nutrientes, excepto los fosfatos (PO_4^{3-}), los valores máximos se obtuvieron antes de la apertura y ampliación del canal de Tepalcates (2009-2011), mientras que las concentraciones bajas, después de la apertura del canal (2015-2018), ver grafica 38 A. Concentraciones anuales del NID y B) Concentraciones anuales de los silicatos (SiO_2).

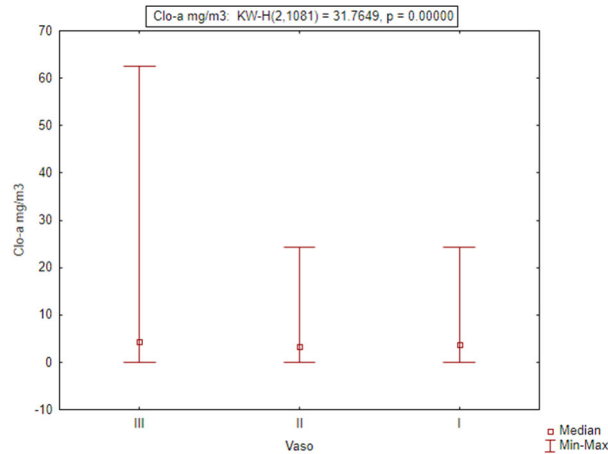


Gráfica 38.- Concentraciones anuales de: A) Nitrógeno Inorgánico disuelto (NID) y B) Silicatos (SiO_2).

La variación y comportamiento observado se atribuye a dos causas: 1) la primera está relacionada con el tiempo de residencia hidráulico en la laguna, ya que el flujo, corriente y circulación estaba condicionada principalmente por acción del viento y los aportes continentales con presencia de aguas residuales ricas en nutrientes que ocasionan el deterioro de la calidad del agua costera, específicamente zonas en desarrollo, donde las aguas residuales reciben escaso o nulo tratamiento, al ser descargadas de forma directa (Vargas-González *et al.*, 2014). Esto a su vez, genera un aumento significativo de nutrientes, debido a la alta tasa de remineralización por procesos biológicos, así como a la alta difusión de iones entre la columna de agua y el sedimento, lo cual se ve magnificado hacia la parte interna, debido a la baja profundidad de esta zona; b) la segunda causa de la variación obtenida, se relacionó con las actividades de construcción del canal de Tepalcates y el dragado de la dársena de ciaboga en el vaso II, esta última actividad durante septiembre de 2010 a junio de 2011, lo cual propició resuspensión de material sedimentado (orgánico e inorgánico) en las áreas internas de la laguna, lo que da como resultado un aumento significativo de nutrientes. En las áreas cercanas a canales de comunicación se nota un efecto de dilución que se relaciona con la elevada influencia mareal en la laguna que se genera principalmente en las zonas más cercanas a las bocas de comunicación, mientras que en las partes intermedias de la laguna se puede considerar una zona de mezcla con elevadas variaciones, debido a la mezcla de los efectos antes descritos, que dependen de la intensidad de la marea (Varona-Cordero, 2004).

II. Clorofila-a

Se encontró poca variabilidad en los vasos I y II, en comparación con el vaso III, aun cuando la media osciló entre los 5 mg/m³. Estadísticamente, el vaso III no mostró diferencia significativa respecto a los otros vasos monitoreados, a pesar de que en éste se registraron los valores máximos de 64 mg/m³ y en ocasiones los mínimos de 0 mg/m³, mientras que en los vasos I y II los máximos permanecieron entre los 25 mg/m³ y los mínimos en 0 mg/m³ (Gráfica 39).



Gráfica 39.- Comparación de Clo-a en los vasos I, II y III.

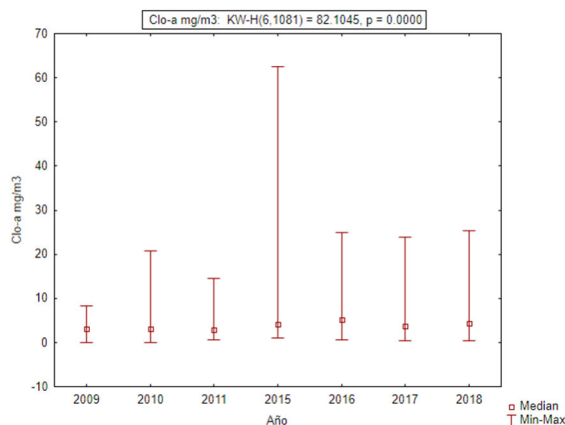
Este comportamiento puede ser atribuido a la batimetría del sistema y la hidrodinámica que generan alta variabilidad en la concentración de nutrientes, como lo exponen Sournia *et al.* (1987), quienes mencionan que las variaciones de las concentraciones de la biomasa fitoplanctónica pueden ser explicadas desde la relación que poseen las fuerzas hidrodinámicas y las biológicas; además de que, en su mayoría, el fitoplancton puede ser considerado como partículas flotantes, neutras y pasivas (Garcón *et al.*, 1986), lo cual puede explicar de manera clara el aumento de las concentraciones en el vaso III. Esto debido a la poca profundidad que presenta el vaso (no más de 1 m), lo que genera que, por acción del viento y por el efecto de la marea, persista una resuspensión de material sedimentado; lo que, a su vez, influye en la cantidad de material suspendido en la columna de agua, remineralización de la materia orgánica y una alta turbidez y con esto liberación de nutrientes para la producción de esta biomasa; todo esto en escalas de tiempo reducidas (Álvarez-Borrego, 1982; Conde *et al.*, 2000; Cloern, 2001; Chalar y Clemente, 2003).

Por otro lado, las concentraciones más bajas de Clo-a en los vasos I y II (25 mg/m³) pueden ser atribuidas principalmente al intercambio de agua que persiste con el océano o al proceso de mezcla que diluye el previo enriquecimiento de nutrientes por medio del agua que penetra a través del canal Ventanas, Túnel y Tepalcates, alcanzando cierta estabilidad a lo largo de la columna de agua (Cervantes *et al.*, 2017). Nixon (1995) menciona que el aumento significativo de la Clo-a se atribuye a los procesos de reciclaje internos entre la sedimentación y la circulación de la columna de agua, debido a la poca

profundidad de las lagunas, como es el caso del vaso III de la laguna de Cuyutlán. Además, Contreras *et al.* (2005), en su estudio en la laguna de La Mancha, Veracruz, atribuye que la disminución o aumento de la concentración de Clo-a está influenciada por la conexión intermitente con el océano adyacente, debido a procesos de resuspensión de sedimentos, situación que se puede estar replicando en la laguna de Cuyutlán.

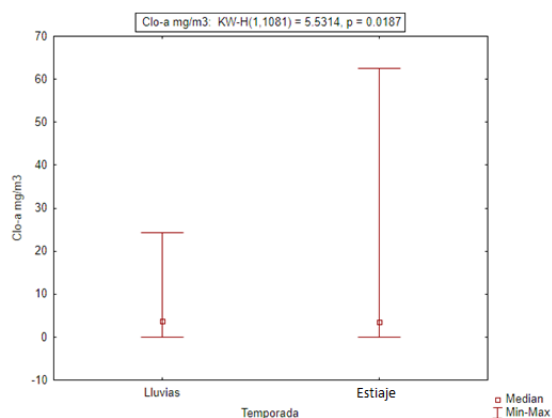
Debido a sus amplias variabilidades, se puede considerar que el área de estudio es un sistema lagunar costero en evolución tras la apertura del canal de Tepalcates; por tanto, se puede determinar que la laguna de Cuyutlán es un sistema alterado en sus diferentes vasos a lo largo del tiempo, según lo estipulado por Alonso-Rodríguez *et al.* (2000), ya que, aunque las concentraciones de biomasa en promedio se encuentran entre los 3-5 mg/m³, de manera puntual en distintos lugares y momentos a lo largo del seguimiento ambiental ocurren amplias concentraciones. Esto mismo lo reporta Contreras y Castañeda (2004), en la laguna de Tamiahua, Veracruz, ya que la concentración máxima obtenida fue de 64 mg/m³, similar a lo obtenido en este trabajo.

Entre los años 2009 y 2011 se registraron concentraciones medias entre los 3 a 5 mg/m³, mientras que el máximo se presentó en el mes de septiembre de 2010, de 20 mg/m³, esto puede ser atribuido a las actividades de la construcción y ampliación del canal de Tepalcates y dragado de la dársena de ciaboga, ya que la mayor dinámica y las actividades de dragado pudieron generar resuspensión de material orgánico e inorgánico del fondo y con ello la disponibilidad de nutrientes lo que generó una alta productividad primaria o fitoplanctónica en la zona, lo cual se tradujo en un incremento en la demanda de CO₂ y producción de O₂ (Cervantes *et al.*, 2017). Durante la apertura del canal (2015 a 2018), se observó que en el 2015 ocurrió un aumento significativo de la concentración de Clo-a (63 mg/m³), esto es atribuido al inicio del aporte de agua del océano que pudo incrementar la resuspensión de nutrientes, lo que se traduce a un enriquecimiento de las aguas dentro de la laguna favoreciendo al incremento de biomasa fitoplanctónica (Clo-a) (Contreras *et al.*, 2005), ver Gráfica 40.



Gráfica 40.- Comparación de Clo-a por año en la Laguna Cuyutlán

Respecto a la variabilidad temporal, las medianas de las concentraciones de Clo-a en las temporadas de lluvia y estiaje, se mantuvieron entre 3 y 4.5 mg/m³; sin embargo, durante la temporada de estiaje se registraron concentraciones hasta 62.5 mg/m³, mientras que en la temporada de lluvia las concentraciones no excedieron los 24.4 mg/m³ (Gráfica 41).



Gráfica 41.- Comparación de Clo-a en temporadas de lluvias y estiaje en la laguna Cuyutlán.

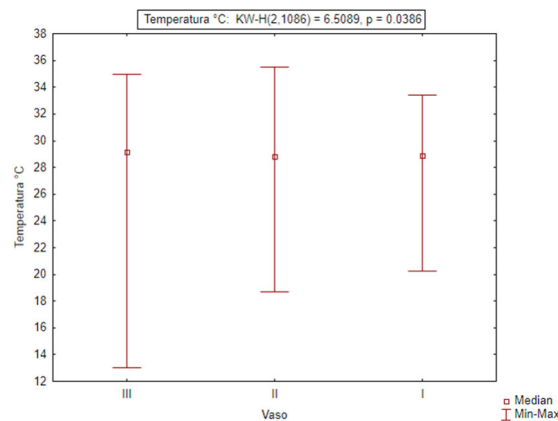
Esta variabilidad se atribuye al aumento significativo de la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (orgánicos e inorgánicos), relacionados con el arrastre y lavado continental, debido a las escorrentías de temporada, lo cual generó efecto sombra y con ello menor actividad fotosintética, a pesar de que en la columna de agua hubiera una elevada concentración de nutrientes, según lo mencionado por Lara-Lara y Álvarez-Borrego (1975), Smayda (1980), lo que origina grandes cambios en tiempos cortos de la concentración de la Clo-a, de hasta un 300% en la concentración. Mientras que en

temporada de estiaje no se presenta este fenómeno lo que se refleja en la menor cantidad de material suspendido, tanto orgánico como inorgánico en la zona, pero con las condiciones adecuadas para que la productividad primaria sea considerable, dando como resultado una marcada variabilidad entre temporadas (Varona-Cordero *et al.*, 2003).

4.1.2. Parámetros físicos

I. Temperatura

La temperatura en los vasos I, II y III, se mantuvo sin amplias variaciones entre ellos, ya que los valores medios oscilaron entre los 29°C; sin embargo, el vaso III muestra una mayor oscilación con referencia a sus máximas y mínimos (Gráfica 42). Esta variación se puede relacionar con la morfología y la hidrodinámica que presenta el vaso III, ya que, al ser somero ($z < 1.0$ m) el proceso de mezcla y difusión de la columna de agua, es mayor en comparación a los vasos I y II que tienen mayor profundidad ($z = 1 - 15$ m). Aunado a esto, la radiación solar que juega un papel importante en la oscilación de este parámetro, debido a que hay una relación significativa entre la temperatura del agua y la temperatura ambiental para sistemas costeros someros, lo que coincide con lo que mencionan otros autores (Álvarez – Borrego, 1982; Lanza Espino, 1999; Sosa Ávalos, 2013).



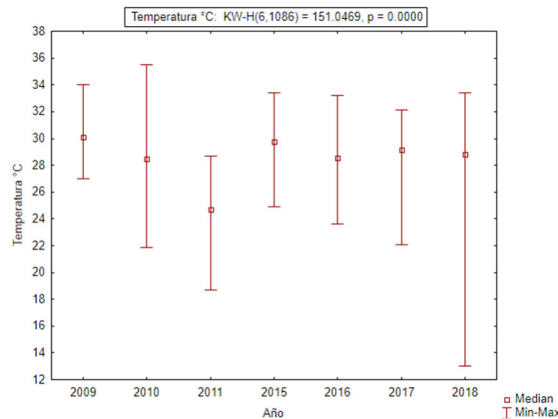
Gráfica 42.- Comparación de la temperatura en los vasos I, II y III.

Respecto a la circulación, entradas de agua de mar y aporte continental condicionan la variación de la temperatura, situación que se observa en los vasos I y II, los cuales tienen un intercambio puntual de estos factores, lo que origina menores valores y

variabilidad respecto a la temporalidad mostrada entre la variabilidad estacional (épocas del año) y temporal (lluvia y estiaje) ya que las temperaturas más altas se registraron en la temporada de lluvias, coincidiendo con el verano y el otoño, mientras que en los estiajes se obtuvo menor fluctuación, debido a que en las temporadas de invierno y primavera las lluvias son escasas y la radiación solar es menor, lo que concuerda con lo encontrado por Sosa Avalos (2013), en su estudio de la laguna de Cuyutlán.

Durante el periodo previo a la reapertura del canal de Tepalcates, la temperatura registró una variación significativa en el sistema lagunar, hecho que se demuestra al calcular y comparar las medianas, mismas que muestran una disminución de 5°C entre 2009 y 2011, ver Gráfica 43; lo cual probablemente se atribuya a lo siguiente: 1) Por las actividades, tanto de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates como por las actividades del dragado de la dársena de ciaboga en el vaso II, esta última se realizó durante septiembre de 2010 y junio de 2011, y 2) Debido a la entrada gradual de agua del océano durante las actividades de ampliación del canal de Tepalcates las cuales concluyeron en noviembre del 2010. Lanza Espino (1999) menciona que la distribución de la temperatura en lagunas costeras es influenciada principalmente por su comunicación con aguas marinas a través de canales naturales y/o artificiales, adicionalmente Juárez (2013) refiere que la hidrodinámica cambió sustantivamente a partir de febrero de 2011, por la influencia de la marea por la apertura del canal de Tepalcates, lo que representó mayor intercambio de agua entre el sistema lagunar de Cuyutlán y el mar adyacente.

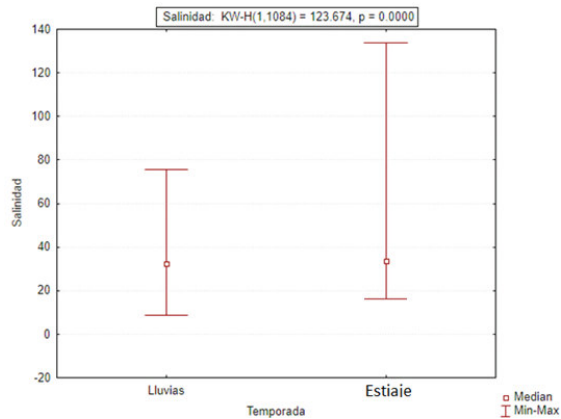
Después de la reapertura del canal de Tepalcates, los valores de las medianas de la temperatura se encontraron entre 28 y 30°C, lo cual indica que el sistema lagunar tiende al equilibrio térmico principalmente en los vasos II y III, provocado por el constante intercambio de agua entre la laguna y el océano a partir de su comunicación permanente. Con respecto al valor de la temperatura de 13°C, este dato se registró de manera puntual en octubre de 2018 en la estación de muestreo III-8D en el vaso III, por lo que podría considerarse como dato atípico.



Gráfica 43.- Comparación de la temperatura en los vasos I, II Y III por año.

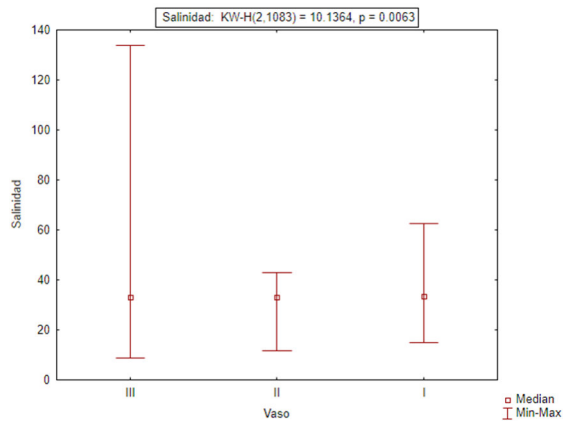
II. Salinidad

Se determinó una marcada influencia respecto al patrón climático, en específico, entre las temporadas de lluvia y estiaje. Aun cuando los valores medios de la salinidad se mantienen en 33 UPS. Se registró una diferencia significativa debido a la variación entre los mínimos y los máximos, de 8.6 y 75.8 UPS, mientras que, en la temporada de estiaje se registraron valores de concentraciones mínima y máxima de 17.3 y 133.88 UPS respectivamente (Gráfica 44). Esto debido a que la temporada de lluvias (verano) coincide con un aumento de la temperatura ambiental y, a su vez, las precipitaciones originan una disminución de las concentraciones de salinidad sobre la superficie del cuerpo lagunar. Por otro lado, en temporada de estiaje ocurre un aumento de la concentración de la salinidad, que corresponde con una disminución de la temperatura ambiental y una radiación solar constante, que produce evaporación constante y, con esto, una alta concentración de sales y por ende grandes variaciones de la salinidad de la laguna de Cuyutlán.



Gráfica 44.- Comparación de la salinidad en temporadas de lluvia y estiaje en los vasos I, II y III de la laguna de Cuyutlán.

La variación espacial de la salinidad mostró relación con la morfología y la hidrodinámica del cuerpo lagunar, lo que fue más notorio en el vaso III, pues por su menor profundidad y lejanía con la influencia mareal a través de las bocas artificiales de intercomunicación, se registró mayor variabilidad (valores medios de 33, máximos y mínimos de 133.88 y 8.6 UPS), ver Gráfica 45 respecto a los vasos I y II. Esto fue debido a que la circulación en la zona interna de esta parte lagunar es producida por la acción del viento y nula influencia mareal, lo cual produce un estancamiento de agua y mayor tiempo de residencia, lo que se puede relacionar con la evaporación y la consiguiente concentración de sales por forzamiento del viento en la superficie de agua (Ruíz, 2009), pues al ser un vaso somero, persiste una elevada tasa de evaporación, lo que se refleja en las condiciones hipersalinas obtenidas en este sitio, lo que condiciona el recambio de agua y con ello la alta variabilidad de los parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, salinidad, sólidos suspendidos totales entre otros) (Valdez-Holguín, 1994). Cabe destacar que la elevada salinidad del vaso III lo hace propicio para las actividades de extracción de sal en el extremo Este de la laguna de Cuyutlán.

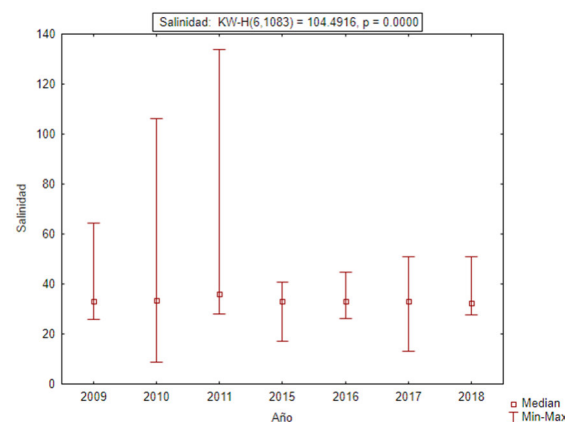


Gráfica 45.- Comparación de la salinidad en los vasos I, II y III de la laguna Cuyutlán.

En los vasos I y II se pudo observar que las concentraciones de salinidad fueron menores, en comparación con el vaso III, esto debido principalmente al flujo constante de agua en estas zonas de la laguna, por su conexión con el canal Túnel y canal de Ventanas en el vaso I y la conexión del canal de Tepalcates con el vaso II. Esto genera que la circulación sea mayor y que el tiempo de residencia de agua sea menor, además de que son zonas más profundas, lo que permite el intercambio de sales con el océano y, a la vez, la disolución de sales, por lo tanto, la salinidad es similar al océano adyacente con una concentración promedio de 34 UPS. A su vez, la acción mareal genera que los aportes significativos de agua dulce de origen continental en la época de lluvia y los asentamientos urbanos se perciban menos en la concentración de la salinidad generando un área mixohalina, como ha sido registrado por De la Lanza y Espino (1999), quienes relacionan la disminución de la salinidad por aportes continentales, antropogénicos y oceánicos.

Respecto a la variación anual, antes de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, la concentración de la salinidad registró fluctuaciones entre 8.6 y 133.88 UPS, debido a que los vasos II y III no se conectaban de forma permanente con el océano por el asolvamiento continuo de este canal; situación que daba lugar a condiciones hipersalinas por las variaciones estacionales, espaciales, geomorfológicas y baja hidrodinámica del sitio, que daba como resultado zonas someras con bajo recambio hídrico y poca circulación, específicamente en las partes internas del vaso III, ya que el vaso II mantenía comunicación intermitente con el vaso I y el océano, por los

canales internos de comunicación de Ventanas y el Túnel. Por otro lado, después de la reapertura del canal de Tepalcates, se puede observar una estabilidad en la laguna de Cuyutlán donde los valores de las concentraciones de salinidad mínima y máxima se encuentran entre 13.3 y 51.1 UPS, debido al recambio continuo de agua con el océano diluyendo la concentración salina, aumentando la profundidad de la columna de agua e incrementando la hidrodinámica en los vasos II y III (Gráfica 46). Estos efectos son corroborados por Panana *et al.* (2014), quienes describen que la salinidad se relaciona con la temperatura y los procesos de mezcla provocados por la corriente de marea, el viento y el oleaje; generalmente se observa un sistema de dos capas, la capa superior es ocupada por agua de los sistemas fluviales o de menor concentración salina, mientras que la capa inferior se encuentra el agua de mar o de mayor concentración, que al mezclarse verticalmente, reducen la diferencia de salinidad.

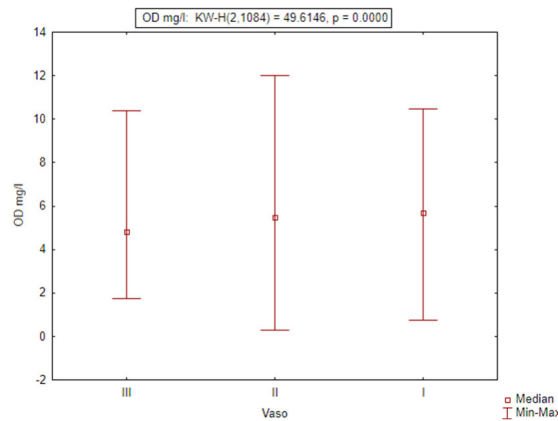


Gráfica 46.- Comparación de la salinidad por año.

La variación de la salinidad fue mayor en el vaso III con una concentración máxima de 133.5 UPS, es el vaso más somero, donde la entrada de agua de mar es menor a través del vaso II, mientras que este último tiene una mayor entrada de agua por el canal de Tepalcates, es más profundo debido a la dársena de ciaboga y de maniobras que tiene un diámetro de aproximadamente de 600 m y profundidad de 15 m, lo que permite mantener su salinidad más constante aun en temporadas de estiaje. El vaso I se comporta un poco más fluctuante que el vaso II, ya que éste cuenta con aporte de agua de mar por el canal de Ventanas y a través del vaso II, lo que permite tener un flujo de entrada de agua.

III. Oxígeno disuelto

La variabilidad espacial del oxígeno disuelto registró valores medios de 5.71 mg/l en el vaso I, 5.47 mg/l en el vaso II y 4.80 mg/l en el vaso III. El vaso II registró mayor variabilidad, que va desde los 0.3 a los 12.0* mg/l, sin embargo, estos valores se registraron de manera puntual y aislada (Gráfica 47). El vaso II mantiene un flujo constante de agua por la interacción entre la laguna y el océano, lo que genera una mezcla constante, factor principal de esta variación por el intercambio que esto puede generar entre la atmósfera y la columna de agua. A su vez, el efecto de la marea genera un recambio de agua significativo entre la zona cercana al canal de Tepalcates y las zonas menos profundas ubicadas al noroeste de dicho vaso, las cuales presentan condiciones anóxicas debido a la mayor demanda de oxígeno por degradación de la materia orgánica aportada principalmente por las descargas de aguas negras, las escorrentías pluviales y la vegetación circundante.

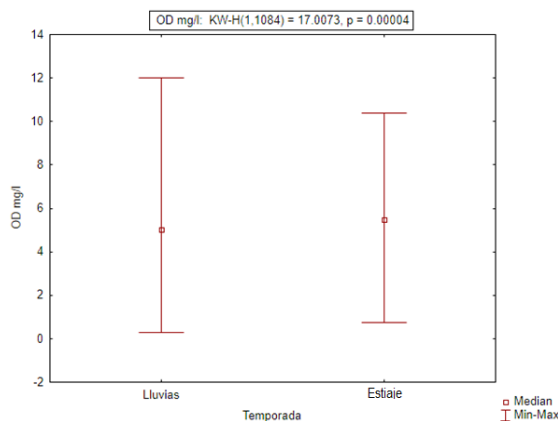


Gráfica 47.- Comparación del oxígeno disuelto en los vasos I, II y III

Los vasos I y III, de manera general, mantienen el mismo intervalo de variación en todo el periodo de análisis. El vaso I tiene un mayor intercambio de agua con el océano a través del canal Túnel y canal de Ventanas, sin embargo, también tiene aportaciones significativas por descargas de aguas negras y escorrentías pluviales, lo que genera la variación de las concentraciones de oxígeno disuelto.

En el vaso III la entrada de agua es por efecto de la marea, es el que tiene mayor tiempo de residencia hidráulico, su profundidad promedio no excede el metro y es el que presenta la mayor variabilidad de temperatura, salinidad, nutrientes y Clo-a, por lo que registra la mayor demanda de oxígeno, lo cual repercute directamente a la biota del sistema, limitando el crecimiento de organismos y su equilibrio trófico. El vaso III está influenciado principalmente por la entrada de agua a través del vaso II, por lo que debido a las condiciones en la entrada desde un ambiente con mayor dinámica y a los procesos fotosintéticos, se registran las concentraciones altas de oxígeno disuelto de este vaso; sin embargo, hacia la parte interna y cercana a la vegetación, la interacción con el vaso II es menor; lo que justifica la disminución gradual de la concentración de este parámetro con respecto a la distancia del punto de comunicación con dicho vaso.

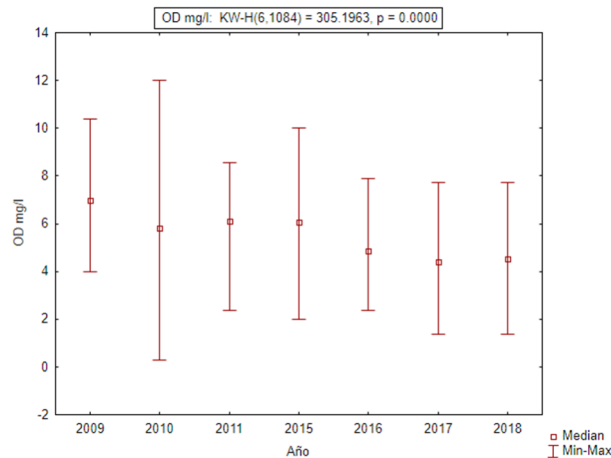
Durante las temporadas de lluvia y estiaje, se registra una diferencia significativa ($p=0.00004$), en la temporada de lluvia se registró una mayor variación de la concentración de Oxígeno disuelto, en comparación con la temporada de estiaje (Gráfica 48). Esto está relacionado con las condiciones ambientales del sitio, ya que en temporada de lluvias, aun cuando la temperatura es elevada, se registra un aporte significativo de agua, por escurrimientos continentales que derivan a una mayor dinámica y mezcla, generando una oxigenación de la columna de agua. La acción del viento juega un papel importante en las diferentes zonas (vaso I, II y III), ya que, por fenómenos naturales presentes en la temporada de lluvias como tormentas y huracanes en la región, provoca que la parte superficial del agua sea desplazada (Zutshi et al, 1980) y que aguas profundas emerjan, estableciéndose una homogeneidad en la columna de agua. Sin embargo, en temporada de estiaje, la radiación es constante sobre el cuerpo lagunar, generando un proceso de evaporación elevada que produce una disolución del Oxígeno en la columna de agua (Pérez y Rodríguez, 2008), manteniendo la estratificación de este parámetro (Castelán, 2008).



Gráfica 48.- Comparación de lluvia y de estiaje del Oxígeno disuelto.

La variabilidad anual de la concentración de Oxígeno disuelto muestra, entre 2009 al 2011 (antes de la reapertura del canal de Tepalcates) amplias variaciones, ya que en 2009 las concentraciones de Oxígeno disuelto se encontraban entre los 4.0 a 10.4* mg/l, con un valor medio de 6.8 mg/l; para 2010, los niveles obtenidos fueron de 0.30 a 12.0* mg/l y su valor medio osciló en 5.8 mg/l, en 2011, la concentración se mantuvo en 5.8 mg/l, con mínimos y máximos de 2.4 a 8.2 mg/l, (Gráfica 49). Esta variabilidad pudo estar dada por el hecho de que en la zona se obtuvo una influencia climática activa por fenómenos atmosféricos de gran escala, ya que durante 2010 (año con mayor variación) se tuvo la presencia de 2 tormentas tropicales y un huracán de categoría 1 (ver Tabla 6), situaciones que afectaron la hidrodinámica del sistema y pudieron favorecer el proceso de mezcla por el desplazamiento espacial de agua dentro de toda la laguna de Cuyutlán. Adicionalmente, en 2010, en el vaso II de la laguna de Cuyutlán iniciaron las obras de construcción del viaducto ferroviario, del dragado de la dársena de ciaboga y de maniobras, así como la construcción de la protección marginal del canal de Tepalcates, este pudo ser un factor determinante para relacionar las variaciones de Oxígeno disuelto para este año, debido a que se generó resuspensión de material y, con ello, valores mínimos y máximos que en promedio son concentraciones similares a las registradas de 2015 al 2018, cuando los intervalos de variación fueron desde los 1.4 a los 10.0* mg/L, relacionados con consumo y mezcla, cuando los flujos de agua fueron

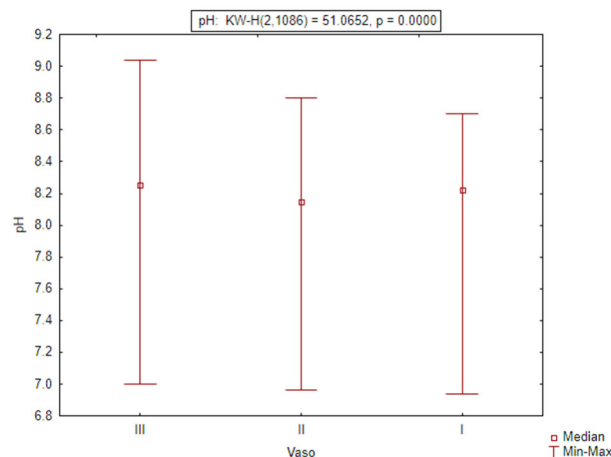
constantes para mantener las concentraciones de Oxígeno disuelto, pero sin la amplitud en las variabilidades antes registradas en la laguna de Cuyutlán.



Gráfica 49.- Comparación de Oxígeno disuelto por año.

IV. Potencial de Hidrógeno (pH).

La variabilidad espacial del pH a lo largo de la laguna registró valores medios similares entre los 8.1 y los 8.3; sin embargo, el vaso que presentó mayor variabilidad fue el vaso III con valores máximos de hasta 9.1 y mínimos de 7.0, en comparación con los vasos I y II (8.7 a 6.8 y 8.8 a 6.9), respectivamente (Gráfica 50). Las principales causas de esta variación entre dichos vasos se relacionaron con la morfología, hidrodinámica del sitio y el tipo de material (orgánico o inorgánico) suspendido, aun cuando las medianas no son diferentes estadísticamente, los valores obtenidos presentan variabilidad, debido a que son valores que corresponden a una escala logarítmica y, por tanto, a una décima, en realidad, representa alta variabilidad en su valor (Gutiérrez *et al.*, 2006).



Gráfica 50.- Comparación del pH en los vasos I, II y III.

La tendencia de la variabilidad del pH en la laguna de Cuyutlán tiene un comportamiento similar a la variabilidad de la temperatura y de la Clo-a, lo que a su vez se relaciona con la profundidad del sistema lagunar, su geomorfología, su hidrodinámica interna, el efecto del viento y la marea que mezcla la columna de agua y la resuspensión de material orgánico e inorgánico desde el fondo (Valdez-Holguín, 1994); el Vaso III registró los valores medios más altos de pH, temperatura y Clo-a (8.3, 29.2°C y 4.38 mg/m³, respectivamente), el vaso II registró los valores medios más bajos (8.1, 28.8 °C y 3.23 mg/m³) y el vaso I registró los valores intermedios (8.2, 28.9°C y 3.84 mg/m³), estas mismas condiciones coinciden con Zirino *et al.* (1986), quienes encontraron una correlación entre el pH, la temperatura y la Clo-a, que los cambios del pH no sólo responden a cambios por procesos biológicos como la captación del CO₂ por la fotosíntesis, sino que también responden a cambios en los procesos físicos.

Por otra parte, las concentraciones altas de Clo-a, están relacionadas con la baja profundidad, ya que los organismos fijan CO₂ para realizar los procesos metabólicos internos como la fotosíntesis, lo que genera un aumento significativo del Oxígeno disponible en el medio (Libes, 2009) y, a su vez, favorece el incremento de remineralización de la materia orgánica por bacterias y hongos, dando como resultado el aumento de CO₂ y a una nueva disociación de dichas moléculas y valores más ácidos debido a la liberación de iones H⁺(Zirino *et al.*, 1997; Riebesell y Wolf-Gladrow, 2002). Esto explica la mayor variabilidad de pH en el vaso III, ya que es el vaso más somero con una profundidad promedio de 1 m y el que mayor demanda Oxígeno disuelto presenta.

El hecho de que la laguna tenga vegetación circundante en sus laderas y áreas someras favorece al incremento de material orgánico, y estas mismas zonas son las que poseen un tiempo considerable del material expuesto y con el aumento de la marea se produce una resuspensión de dicho material llevándolo a la parte intermedia de la laguna, lo que está relacionado con el aumento de los sólidos suspendidos y por los procesos mencionados anteriormente, lo que da como resultado valores de pH inferiores a 7.0, debido a las disociaciones ácidas del CO₂ y la formación de ácido carbónico (H₂CO₃).

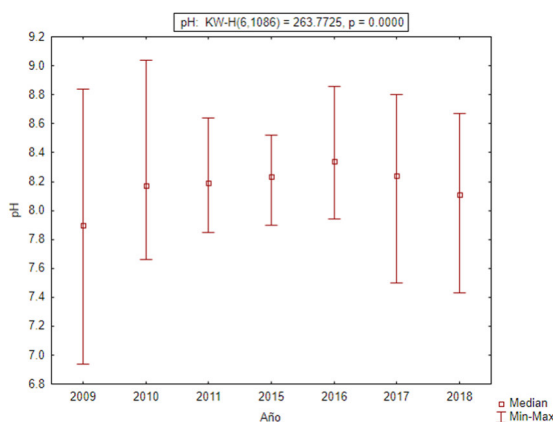
Los forzantes físicos y procesos biogeoquímicos afectan directamente la distribución vertical del Oxígeno disuelto y los nutrientes, además, se combinan haciendo que el pH sea un parámetro con alta variabilidad (Silva y Palma, 2006). Por otra parte, las zonas con mayor profundidad muestran mayor homogeneidad en la columna de agua (vasos I y II), esto debido a los aportes de agua por el océano adyacente, lo que propicia mayor circulación y distribución de material orgánico disponible, generando menores variaciones de pH. Este patrón también se relaciona con la remineralización del material orgánico, disponibilidad de nutrientes (minerales disueltos), disponibilidad de oxígeno y Clo-a similares a los del océano adyacente en estos vasos (Hernández-Ayón, 2003).

Durante la temporada de lluvias (verano), los valores de pH tienen mayor variabilidad que en la temporada de estiaje, esto debido a lo siguiente: *a)* con el aumento de la temperatura en verano y mayor radiación solar, se incrementan los procesos biológicos como la captación del CO₂ por la fotosíntesis y por lo tanto aumento del pH, *b)* la biodegradación y remineralización de la materia orgánica aportada por las escorrentías pluviales aumenta la demanda Oxígeno disuelto, aumentando la concentración de CO₂ que provoca la disminución de pH por debajo de 7 debido a la liberación de iones H⁺.

Por otra parte, la variabilidad del pH en la laguna de Cuyutlán antes de la reapertura del canal de Tepalcates se relaciona con la baja hidrodinámica presente en la zona, ya que las variaciones fueron mayores durante el 2009 y 2010[‡], cuando la laguna tenía poca interacción con el océano adyacente, provocando mayor tiempo de residencia del agua interna, favoreciendo una alta biodegradación de la materia orgánica y remineralización de los nutrientes aportados por los asentamientos urbanos y las escorrentías pluviales.

Después de la reapertura del canal de Tepalcates, los valores medios de pH registrados durante los años 2015, 2016, 2017 y 2018 fueron 8.25, 8.34, 8.24 y 8.11, respectivamente; durante este periodo los valores de pH oscilaron entre 8.86 y 7.43, con tendencia al equilibrio con un valor medio de 8.23, similar al pH marino (Gráfica 51); esto es debido al permanente intercambio hídrico de manera entre el vaso II de la laguna de Cuyutlán y el océano, donde la marea en esta zona es de tipo mixto

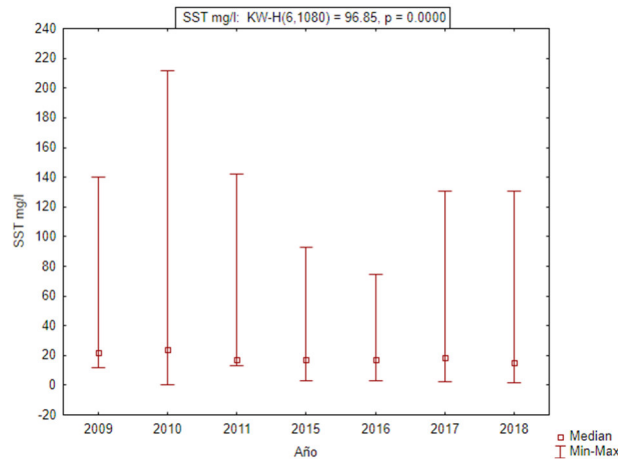
semidiurno, es decir, presenta en general, dos pleamares y dos bajamares al día, lo que incrementa la hidrodinámica en el interior del sistema lagunar.



Gráfica 51.- Comparación de pH por año de la Laguna Cuyutlán.

V. Sólidos suspendidos totales

Para el periodo previo a la apertura del canal de Tepalcates (2009-2011), se observó una tendencia similar en el promedio de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST), con valor medio de 23 mg/l, sin embargo, las variaciones entre los máximos y los mínimos mantuvieron un comportamiento similar a las concentraciones de Oxígeno; es decir, variables en distintos sitios y periodos. Cabe señalar que durante el 2010 se observó una variación significativa que osciló entre los 0 a 220 mg/l (Gráfica 52). Esta variación puede estar relacionada con el inicio de las obras de construcción del viaducto ferroviario, del dragado de la dársena de ciaboga y de maniobras, así como la construcción de la protección marginal del canal de Tepalcates, lo cual pudo generar, en primera instancia, el aumento abrupto de las concentraciones, específicamente en el vaso II, ya que los sedimentos removidos del fondo y la dinámica de la zona mediante la acción de las corrientes locales pudo generar el aumento de SST en los vasos I y II.



Gráfica 52.- Sólidos suspendidos totales por año en los 3 vasos de la laguna Cuyutlán.

Después de la reapertura del canal (2015-2018), se observó que las concentraciones medias se mantuvieron similares a las del previo a la construcción; sin embargo, los máximos y los mínimos se conservan entre los 0-100 mg/l para 2015 y 2016, mientras que en 2017 y 2018 las concentraciones se estabilizan a concentraciones de 0 a 140 mg/l. Esto se debe al término de la ampliación del canal de Tepalcates y al incremento de flujo de agua en el sistema lagunar, lo que promueve una homogeneidad de los sólidos suspendidos que de forma cíclica por influencia mareal se traducen de sedimentación/resuspensión de material previamente depositado sobre todo en áreas someras del sistema lagunar, así como material proveniente del océano, generando una estabilidad superficial y en columna de agua (Osuna, 1990).

Las oscilaciones de los SST entre las estaciones anuales analizadas no registran una diferencia significativa lo que se relaciona con los elevados valores de la desviación estándar, pero la variación fue mayor en la temporada de lluvias, en la que alcanzó máximos de 219 mg/ y mínimo de 0 mg/l, mientras que para estiaje fue de 180 y 0 mg/l, respectivamente. Esto se relaciona principalmente con la variabilidad climática que presenta la laguna de Cuyutlán, ya que se registran precipitaciones pluviales en la zona, lo que genera aportes continentales por escorrentías transportando material sedimentario hacia la laguna, mientras que, para el estiaje, el aporte principal de SST es el aporte por la resuspensión mareal y desde el océano, así como la resuspensión por acción de la marea. Este mismo comportamiento fue observado por Aguirre, 2001

en la laguna de Coyuca de Benítez, en Guerrero, donde las máximas concentraciones de SST se presentan en temporada de lluvias.

Respecto a su variabilidad por vasos, de forma general se registraron valores medios similares (20 mg/l). Para los vasos I y II se registraron concentraciones máximas de 180 y 220 mg/l, respectivamente, mientras que en el vaso III el máximo obtenido fue de 140 mg/l. Las variaciones altas en el vaso I y II, se deben específicamente al intercambio de agua entre la laguna y el océano, lo cual produce una resuspensión de material depositado en áreas donde se encuentra parcialmente azolvado por la acción de la marea. A su vez, al incrementar la circulación en estos ambientes se genera que el material del fondo sea removido y llevado a la superficie, específicamente donde las profundidades no exceden el metro (Conde *et al.*, 2000). Por otro lado, en sitios donde la profundidad es mayor, la circulación y el proceso de dilución es más elevado, lo que propicia que el material continúe entre la superficie y el fondo, generando concentraciones bajas-intermedias a lo largo del tiempo (Chalar y Clemente, 2003).

No se debe perder de vista que la resuspensión de sedimento en las lagunas costeras puede propiciar la disminución de luz a través de la columna de agua, incremento en nutrientes y materia orgánica que se relaciona con el material previamente depositado en el fondo, debido a la presencia de bacterias en el sedimento que llega a ser remineralizado y se vuelve material disponible en la columna de agua del sistema lagunar, lo que también se pudo observar en las estaciones internas y poco profundas (Aubriot *et al.*, 2005).

4.2. Discusión del Objetivo 2. Índice del estado trófico (TRIX) y sus variaciones en los vasos I, II y III

El uso del índice del estado trófico en lagunas costeras es una fuente que proporciona información sinóptica sobre las características que presentan estos ecosistemas, lo que permite identificar y establecer acciones de gestión y conservación de dichos ambientes costeros (Pinilla *et al.*, 2010). Además, varios estudios sobre el estado trófico han usado diferentes indicadores como Oxígeno disuelto, Nitrógeno total, Fósforo total, Clo-a y la

productividad primaria, siendo este método (TRIX), el más usado para ecosistemas costeros y marinos según Giovanardi y Vollenweider (2004) y Escobedo-Urías (2010).

Respecto al análisis del estado trófico en los vasos I, II y III, las medianas obtenidas registraron condiciones hipertróficas, de 6.23, 6.35 y 6.63 respectivamente, con características de alta productividad. Los vasos I y II presentan mayor variabilidad, con fluctuaciones similares de 3.49 a 7.74 y de 3.43 a 7.83 respectivamente, ambos con gradientes del estado oligotrófico a hipertrófico, mientras que el vaso III es el que presenta la mayor demanda de energía a intervalos de 4.41 a 8.15 con gradientes de mesotrófico a hipertrófico y es donde las concentraciones de Clo-a presentan la mayor variabilidad y un mayor intercambio energético entre los niveles tróficos.

Estas variaciones en los diferentes vasos de la laguna están estrechamente relacionadas con las condiciones hidrológicas que se presenta en este ambiente costero que hacen variar los parámetros fisicoquímicos relacionados con la eutrofización debido a la cantidad de material orgánico relacionado con la abundancia de nutrientes y el proceso de respiración bacteriana, así como biológicos como la Clo-a, debido a que es el resultado de la disponibilidad de nutrientes y la productividad primaria natural o por el enriquecimiento antrópico en un sistema.

En el caso de los vasos I y II, donde se mantienen profundidades someras (excepto en la zona de la dársena de ciaboga y de maniobras en el vaso II, la cual mantiene un diámetro de 600m a la cota de fondo -15 msnbmi) y mayor influencia dinámica debido al intercambio mareal por la cercanía de las bocas del canal de Tepalcates, canal de Ventanas y canal Túnel, lo que propicia mayor resuspensión de sedimentos que se traducen en liberación de nutrientes a la columna de agua, este aporte de nutrientes proveniente de la resuspensión del sedimento y por la degradación de la materia orgánica y liberación de iones presentes en limos y arcillas que son llevados a la superficie (Quirós, 2005). En este sentido, el aumento significativo de los fosfatos pudo ser debido al estrés ambiental que se presenta en estos dos vasos de la laguna (asentamientos urbanos y descargas de aguas residuales), condiciones que son respaldadas por Quirós (2005) quien señala que, en sistemas costeros de Argentina, hay sitios donde la columna de agua transparente o turbia se encuentran en un estado

eutrófico a hipertrófico, debido al aporte antropogénico y la descarga de granjas acuícolas.

En el caso del vaso III, la variación del estado trófico se puede relacionar principalmente con el proceso de recambio de agua que ocurre por la acción de la marea sobre todo en época de estiaje y por los aportes generados por arrastre continental en la parte interior de la laguna que es más somera. Este comportamiento fue encontrado en el Estero de Urías por Rodríguez *et al.* (2020), donde los aumentos de eutrofización fueron debidos a la poca circulación y al prolongado tiempo de residencia que presenta el sistema debido al tamaño pequeño de la boca de comunicación con el océano. Por otra parte, en esta zona somera, los cambios de eutrofización están relacionados con los cambios que se producen entre la columna de agua y la interfase agua-sedimento, así como al procesamiento de la materia orgánica; pero a la vez, el incremento del proceso de eutrofización está estrechamente relacionado con la productividad primaria que hace variar la concentración de nutrientes y el Oxígeno disuelto (Quirós, 2005).

Respecto a la variación del estado trófico antes y después de la ampliación y reapertura del canal de Tepalcates, las medianas obtenidas registraron un proceso hipertrófico; sin embargo, después de la apertura del canal de Tepalcates se presentó menor fluctuación pero aun así se mantienen valores puntuales altos en distintas estaciones a lo largo de los meses, debido a las variaciones que ocurren por la influencia mareal en el caso de sitios de mayor circulación como canales de intercomunicación o por vientos locales en las zonas internas y de menor recambio, como ya ha sido explicado. Esto deja ver que el sistema lagunar se encuentra en evolución, donde los aspectos dinámicos locales aún no han alcanzado sus condiciones definitivas y, por tanto, aún ejercen cambios en distintos puntos, según fluctuaciones temporales que influyen en la influencia mareal o en la incidencia de vientos locales.

En ambos periodos se presentaron condiciones oligotróficas a hipertróficas, debido a que antes de la ampliación del canal de Tepalcates, el menor recambio y circulación al interior en la laguna pudieron generar condiciones dinámicas más estables sin resuspensión de nutrientes desde el sedimento, lo cual propició acumulación de sedimentos y material orgánico por el proceso de asolvamiento, lo que se traducía en elevadas concentraciones de nutrientes por difusión entre el sedimento, la columna de

agua, así como un aumento significativo de la biomasa (Quirós, 2005); las mayores concentraciones de nutrientes se debieron a la alta tasa de remineralización por los procesos biológicos y los aportes de las descargas de aguas residuales que generaban una mayor demanda de oxígeno disuelto para la biodegradación de la materia orgánica presente, dando como resultado incrementos en las concentraciones de amonio, nitratos y nitritos durante este proceso.

Después de la apertura del canal del Tepalcates se encontró un aumento del estado trófico, de mesotrófico a hipertrófico, lo cual puede estar relacionado con la mayor dinámica mareal, recambio de agua y resuspensión desde los sedimentos acumulados (que en algunos periodos previos se generaron como el correspondiente a las obras de dragado), esto debido a un aporte significativo de nutrientes que promovió la actividad fitoplanctónica y una mayor demanda de oxígeno disuelto debido a la necesidad de ser asimilados por respiración bacteriana (Contreras *et al.*, 2005). Aunado a esto, es importante el proceso constante de resuspensión de sedimentos en la columna de agua y al incremento del aporte de aguas residuales provenientes de los nuevos asentamientos humanos en la zona norte de los vasos I y II que, a su vez, genera un aumento de nutrientes y la presencia de nuevo material orgánico (Hernández-Ayón, 2003).

En el caso comparativo entre temporadas de lluvia y de estiaje, se presentó una variabilidad significativa. En temporada de lluvias se encontró una menor variación, lo que puede estar relacionado con los aportes continentales por escorrentías (Varona y Gutiérrez, 2003), lo que genera un aumento de nutrientes por escurrimientos, como ya ha sido mencionado (Ringwood y Keppler, 2002; Valenzuela *et al.*, 2006), que junto a un aumento de la biomasa fitoplanctónica (Varona y Gutierrez, 2003), modifica el estado trófico del sistema lagunar, debido a las variaciones ambientales y espaciales que presentan estos sistemas (Wasmund *et al.*, 2002; Coelho *et al.*, 2007). Sin embargo, en la temporada estiaje el tiempo de residencia del agua es mayor, lo que permite una alta degradación de la materia orgánica (Gameiro *et al.*, 2004) y que la presencia y aporte orgánico por parte de la vegetación circundante produzca, en mayor proporción, formas nitrogenadas (Moreno-Casasola *et al.*, 2001) y por acción de flujo y reflujos éstas puedan

llegar hasta los vasos I y II y son parte de la evolución en el que se encuentra el sistema lagunar y no deja ver cuál será su estado trófico definitivo.

4.3. Discusiones del Objetivo 3. Evolución de la legislación ambiental

Durante el presente trabajo se revisó la evolución de la legislación y normatividad ambiental comprendida en el periodo de tiempo aplicable al área de estudio, antes y después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, la cual se representó en la Figura 6 del presente documento.

Los efectos del deterioro ambiental ocasionado por las actividades antropogénicas son cada vez más contundentes, lo que ha motivado el fortalecimiento de los diversos instrumentos de política ambiental y el sistema jurídico nacional, estableciendo competencias y mecanismos de concurrencia con los Estados y los municipios, con el propósito de revertirlos. En este sentido, la Legislación Ambiental Federal, desde antes de la reapertura y ampliación del canal de tepalcates, en particular la LGEEPA, la LGDFS y la Ley General de Vida Silvestre (Adición del Artículo 60 TER) se han adecuado gradualmente a los nuevos retos de desarrollo sustentable del País. Lo anterior se sustenta con las reformas del 2007 y 2008 de la LGEEPA, que enfatizaron el involucramiento de los gobiernos estatales y municipales, definiendo los criterios que deberán considerarse para la formulación de los ordenamientos ecológicos y que cuando un programa de ordenamiento ecológico regional incluya un área natural protegida, competencia de la Federación, o parte de ella, el programa deberá ser elaborado y aprobado en forma conjunta por la SEMARNAT y los gobiernos de los Estados y municipios, según corresponda. Así mismo, la reforma del 2008 definió que los gobiernos de los Estados, en los términos que señale la legislación local en la materia, podrán establecer reservas estatales y demás categorías de manejo que establezca la legislación local en la materia, y se estableció que corresponde a los municipios establecer las zonas de conservación ecológica municipales, así como las demás categorías, conforme a lo previsto en la legislación local y que en las áreas naturales protegidas no podrá autorizarse el asentamiento de nuevos centros de población.

Por su parte, la LGDFS, la cual tiene por objeto regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos; también consideró cómo distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación y las Entidades Federativas. Así mismo, en lo que respecta a la Reforma realizada en el año 2007 a la Ley General de Vida Silvestre, con la Adición del Artículo 60 TER, quedó prohibida entre otras actividades, la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia. Exceptuando de la prohibición, las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar. En este sentido es necesario precisar que la laguna de Cuyutlán se caracteriza por poseer una gran diversidad de especies de flora y fauna silvestre, entre las que destacan las especies de mangle correspondientes al mangle blanco (*Laguncularia recemosa*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) (Ángeles, 1997).

En los niveles estatal y municipal, antes de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, también se venían incorporado políticas ambientales en sus planes de desarrollo, lo cual se vio reflejado de forma significativa con la actualización del Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán (PROETSLC) en mayo del 2007. En este instrumento se planteó la oportunidad de llevar a cabo el desarrollo sustentable del área, la recuperación ecológica de la laguna de Cuyutlán y al mismo tiempo cumplir las expectativas de desarrollo estratégico de la región, bajo las siguientes políticas: protección, conservación, restauración, aprovechamiento, y aprovechamiento-conservación (ver Figura 7). De esta manera el PROETSLC, en su Artículo 5°, consideró la presión en el área de estudio, derivada de los procesos de desarrollo existentes (Central Termoeléctrica de Manzanillo, Gas Z, la explotación salinera y el crecimiento urbano de Manzanillo) y la construcción de nuevas instalaciones e infraestructura, proyectadas a corto, mediano y largo plazo, como fueron los siguientes proyectos estratégicos: la Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo, la nueva línea del ferrocarril, la

construcción de un gasoducto así como la creación del puerto en el vaso II de la laguna de Cuyutlán.

Derivado de lo anterior, el PROETSLC al ser un instrumento de política ambiental para el desarrollo sustentable del área de estudio, que entre otros objetivos ambientales destaca el *evaluar y programar los usos de suelo, las actividades productivas y de desarrollo urbano, con el fin de hacer compatible la conservación de la biodiversidad, la protección al ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos*, considera las actividades económicas y proyectos de infraestructura que puedan realizarse en el área de estudio.

Por lo anteriormente expuesto y al amparo de los instrumentos legales que existen y se reformaron, tal y como se puede observar en la Figura 6; durante los años 2008 y 2009, la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la SEMARNAT, autorizó en materia de impacto ambiental, la construcción y operación de los siguientes proyectos estratégicos: Proyecto Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo (TGNLM), Proyecto carretero Campos-Alameda-Punta Grande y ramal ferroviario por la margen norte del vaso II de la Laguna de Cuyutlán, Manzanillo, Colima, Mex.” y “Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo” (STGNM); los cuales se desarrollaron en el vaso II de la Laguna de Cuyutlán. Las autorizaciones ambientales de estos proyectos estratégicos consideraron lo señalado en el segundo párrafo del Artículo 35 de la LEGEEPA que a continuación se transcribe:

Para la autorización de las obras y actividades a que se refiere el artículo 28, la Secretaría se sujetará a lo que establezcan los ordenamientos antes señalados, así como los programas de desarrollo urbano y de ordenamiento ecológico del territorio...”.

Debido a que se sujetaron a lo indicado en el PROETSLC reformado en el año 2007.

En el Artículo 5° del PROETSLC, en su Política de Protección, se consideró la conservación de los vasos III y IV, previendo su declaración como Áreas Naturales Protegidas, así como la inscripción de dicha zona en el listado de la convención Ramsar; esto último sucedió el 2 de febrero de 2011, mediante la designación de los vaso III y IV de la laguna de Cuyutlán como “Humedales de Importancia Internacional”

en la Convención de Ramsar, con el número de sitio 1985. *Sin embargo, a la fecha del presente trabajo, los vasos III y IV no han sido declarados Áreas Naturales Protegidas.*

En la Figura 11 y Tabla 11 del presente documento, se puede observar que cinco de las nueve Áreas Naturales Protegidas, más cercanas al área de estudio, actualmente administradas por la CONANP, se localizan en el Estado de Colima, pero fuera de un radio de 25 km de la Laguna de Cuyutlán. Al respecto Mac Donald, 2012, manifiesta que uno de los instrumentos de mayor valor y efectividad para garantizar la conservación de los ecosistemas marinos y costeros son las Áreas Naturales Protegidas, en ellas se protege una extraordinaria diversidad biológica y se garantiza la continuidad de los procesos ecológicos y el mantenimiento de los servicios ambientales.

En relación con lo citado en el párrafo anterior, en la sección 5 del Manual de la Convención de RAMSAR 5ª edición, se señala que *no es necesario que los sitios designados para ser incluidos en la Lista de RAMSAR, hayan sido designadas áreas legalmente protegidas antes de su designación y que el hecho de que tal condición conlleve o no una protección legal adicional en el país, dependerá de la legislación y las políticas nacionales y locales.* Adicionalmente, mediante acuerdo publicado en el D.O.F., el 18 de diciembre del 2007; se retiraron del servicio de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, seis fracciones de terreno ubicados en Manzanillo, Colima y se destinan al servicio de la SCT, a efecto de realizar en las mismas las obras marítimas y de dragado necesarias para ampliar el canal de Tepalcates. Por último, ya con el canal de Tepalcates completamente abierto a sus condiciones de diseño (550 m, medidos a partir del eje longitudinal de la misma, espejo de agua de 450 m y una cota de fondo a la -15 MSNBMI de ancho), el 23 de diciembre del 2011, se publicó en el D.O.F., la *habilitación con el carácter de Puerto, el vaso II de la Laguna de Cuyutlán.* Lo cual se había previsto en el Programa Regional de Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca Laguna Cuyutlán (PROETSLC) del 2007.

El PROETSLC, señaló que el hecho, de que la Subcuenca Laguna de Cuyutlán esté sujeta a un ordenamiento ecológico del territorio, representa una oportunidad de exigir que cualquier tipo de obra, se debe realizar desde la perspectiva de desarrollo sustentable y que los instrumentos de política ambiental no tienen por qué ser un

obstáculo para el crecimiento del área de estudio, pero si una garantía de la preservación del medio ambiente. Desde esta perspectiva, se observa que, durante el año 2007 se realizaron reformas significativas principalmente a la Ley General de Vida Silvestre (Adición del Artículo 60 TER) y al PROETSLC, lo que permitió que el desarrollo de los proyectos estratégicos previstos en este último instrumento de ordenamiento ecológico, se realizaran bajo condiciones de sustentabilidad ambiental.

La Legislación Ambiental revisada después de la reapertura y ampliación del canal de tepalcates, en particular la LGEEPA, la LGDFS y la Ley General de Vida Silvestre continuaron reformándose y agregando diversas disposiciones con el propósito de enfatizar la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

La LGEEPA se reformó durante los años y 2012, 2013, 2014 y 2018. Estas reformas, se realizaron con relación a los servicios ambientales generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas, promover la emisión de normas oficiales mexicanas en materia ambiental más estrictas, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, el establecimiento de la colaboración con las entidades federativas y los municipios para determinar la zona costera nacional tomando en consideración las interacciones fisiográficas y biológicas particulares de la zona que se trate. En particular la reforma del 2018 estableció que las obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental conforme al Artículo 28 de la LGEEPA.

Por su parte, la LGDFS, después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, se reformó durante los años y 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 y 2018; destacando entre otros temas relevantes, que, en el marco de los tratados internacionales y disposiciones nacionales aplicables, la SEMARNAT promoverá el desarrollo de instrumentos económicos y de regulación para el mantenimiento y mejora de los servicios ambientales. Con este fin establecerá los mecanismos necesarios para el

financiamiento al manejo forestal y el reconocimiento y valoración de los servicios ambientales. Así mismo en dichas reformas se establece que el Inventario Nacional Forestal y de Suelos deberá comprender los criterios e indicadores de sustentabilidad, deforestación y degradación de los ecosistemas forestales y además considera regular la protección, conservación y restauración de los ecosistemas, recursos forestales y sus servicios ambientales; estableciendo atribuciones a los estados y municipios.

La Ley General de Vida Silvestre también se reformó durante los años 2012, 2013, 2015, 2016 y 2018, destacando que se podrá autorizar el aprovechamiento de ejemplares de especies en riesgo cuando se dé prioridad a la colecta y captura para actividades de restauración, repoblamiento, reintroducción e investigación científica.

Derivado de la Reforma a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia energética; aprobada por el Congreso de la Unión y publicada en el D.O.F. el 20 de diciembre de 2013, se crearon diversas Leyes Secundarias, entre las que se encuentran la Ley de Hidrocarburos y la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, ambas publicadas en el DOF del 11 de agosto de 2014. Esta última tuvo como objeto crear la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), como un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con autonomía técnica y de gestión.

Por lo anterior, de conformidad con el artículo 5º, fracción III, de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, la ASEA, tiene la atribución de regular en materia de protección al medio ambiental en relación con las actividades del Sector, incluyendo las etapas de desmantelamiento y abandono de las instalaciones, así como de control integral de los residuos y las emisiones a la atmósfera; por tal motivo la TGNLM, el STGNM, Z Gas del Pacífico y demás empresa del Sector Hidrocarburo, que se localizan o pretendan instalarse en el vaso I o II de la Laguna de Cuyutlán, o sus inmediaciones, deberán sujetarse a las atribuciones y regulaciones de la ASEA y a lo dispuesto por la Ley de Hidrocarburos.

Adicionalmente, el 07 de junio del 2013 se publicó en el D.O.F., la Ley de Responsabilidades Ambientales, para regular la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al ambiente, así como *la reparación y compensación de dichos daños cuando sea exigible a través de los procesos judiciales federales previstos por el artículo 17 constitucional* y de acuerdo con lo señalado en su Artículo 10, *“Toda persona física o moral que con su acción u omisión ocasione directa o indirectamente un daño al ambiente, será responsable y estará obligada a la reparación de los daños, o bien, cuando la reparación no sea posible a la compensación ambiental que proceda...”*. Adicionalmente y de acuerdo con la última reforma a esta Ley, publicada D.O.F. el 20 de mayo del 2021; en su Artículo 52, se establece que las disposiciones relacionadas con la “Responsabilidad Penal en Materia Ambiental”, serán aplicables a los conflictos penales y los procedimientos derivados de la comisión de delitos contra el ambiente y la gestión ambiental, de conformidad con lo previsto por el Código Penal Federal y el Código Federal de Procedimientos Penales y que el Ministerio Público está obligado a solicitar de oficio la reparación y compensación de los daños ocasionados al ambiente, adicionalmente en su Artículo 54 queda de manifiesto que toda persona que tenga conocimiento de la comisión de un delito contra el ambiente podrá denunciarlo directamente ante el Ministerio Público.

Al respecto, Guzmán, 2015, refiere textualmente que: “La Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, intenta regular la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al medio ambiente y sus daños o perjuicios a personas, por ello establece la responsabilidad objetiva y subjetiva, sin embargo, esta ley si bien es un avance para el fincamiento de responsabilidades ambientales, su objeto es la reparación del daño o la sanción una vez cometido el daño, por lo que para su aplicación es necesario comprobar la existencia del daño, lo cual la coloca no como una ley reguladora de políticas públicas preventivas o preventivas sino sancionadora, ya que se aplica una vez que ha nacido una circunstancia específica que lesiona el interés jurídico individual o colectivo, es una ley de tutela judicial efectiva del Estado en términos del artículo 17 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.”

Finalmente, en lo que respecta al Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Colima (POETEC), Publicado en el periódico oficial del Estado de Colima

el 11 de agosto del 2012 y reformado mediante decreto el de 21 de septiembre del 2013 y 30 de diciembre de 2017, se establece que se seguirá la política general, lineamientos, usos, criterios, estrategias y acciones del Programa Regional de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca Laguna de Cuyutlán de lo que surgen las actualizaciones las UGA's del área de estudio conforme al POETEC que se muestran en la Figura 12 y en la Tabla 13 del presente trabajo.

Torres, J., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2014) manifiestan que la mayor parte de la Laguna de Cuyutlán está recibiendo un grave impacto ambiental cuyas causas son directa o indirectamente antrópicas, por lo que recomiendan la creación de un mecanismo de compensación, mediante el cual se financien acciones de conservación y protección de la región y que es de vital importancia regular las descargas de aguas negras vertidas a la laguna mediante un Programa de Manejo Integral del Agua.

Por lo anterior expuesto y conforme a lo señalado en el PROETSLC, se considera pertinente que previo a la realización de las obras de ampliación del Puerto de Manzanillo y/o de cualquier nuevo proyecto en el vaso II de la Laguna de Cuyutlán, que el Ejecutivo Federal, mediante decreto, declare los vasos III y IV como Áreas Naturales Protegidas para contar con una protección legal y jurídica que garantice la continuidad de sus procesos ecológicos y sus servicios ambientales. Esto posibilitará su inclusión en el Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas; el cual tiene entre sus objetivos prioritarios, impulsar la participación comunitaria en la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales para mejorar sus medios de vida y reducir su vulnerabilidad así como promover la restauración de ecosistemas, acciones de protección y monitoreo para la conservación y recuperación de especies prioritarias y sus hábitats en las ANP y las zonas de influencia.

Adicionalmente, los proyectos futuros y el desarrollo Portuario en el vaso II, sus promoventes deberán conforme lo indicado en la LGEEPA, LGVS, LGDFS, el PROETSLC, y según sea el caso, la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos y demás Leyes aplicables, garantizar a través de estudios ambientales realizados por instituciones especializadas en materia ambiental, que no se alterará la estructura, la composición ni la funcionalidad de los ecosistemas presentes y que se mantendrán los servicios ambientales, no nada

más en el sitio de los futuros Proyectos (vaso II), sino también, en los ecosistemas circundantes, principalmente los de los vasos III y IV. Previendo en dichos estudios los impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.

Por último, se debe considerar que, conforme a la Estrategia de Gestión del PROETSCL, en el momento en que los proyectos provocaran alteraciones al equilibrio ecológico o provoquen pérdidas de servicios ambientales, principalmente en el vaso III, los promoventes responsables de los proyectos, deberán realizar las actividades de mitigación y compensación ambiental, necesarias; previendo los recursos económicos y técnicos necesarios para que, instituciones especializadas, elaboren y ejecuten programas de monitoreo y de mejoramiento del hábitat y de los servicios ambientales asociados, esto independientemente de las responsabilidades, obligaciones y sanciones señaladas en Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

5.1.1. Conclusiones del objetivo 1

1. Los vasos I y II tienen mayor influencia mareal a través de los canales de Ventanas, Túnel y Tepalcates lo que generó una mayor circulación interna que, favorece la resuspensión de material orgánico e inorgánico, así como la reducción de las fluctuaciones de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, dando lugar a concentraciones de salinidad similar a las del océano, mayor oxigenación y productividad.
2. El vaso III de la laguna de Cuyutlán es la zona con mayor fluctuación en la concentración de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, debido a su morfología, la profundidad del espejo de agua (< 1 m) y el tiempo de residencia; ya que la poca acción de la marea y la circulación inducida por los vientos locales controlan los procesos biológicos y dinámicos con altas productividades puntuales, altas temperaturas y salinidades.

3. En la temporada de estiaje, se registran variaciones significativas de la salinidad, la temperatura, el Oxígeno disuelto, el pH y los sólidos suspendidos totales; las cuales son generadas por el bajo intercambio de agua y circulación dentro de la laguna, así como por la homogeneidad en la columna de agua que, al tener zonas someras, es influenciada por la acción del viento y marea, lo que propicia fluctuaciones. Mientras que en la temporada de lluvias se presentó un comportamiento inverso.
4. Los nutrientes mostraron diferencias significativas durante las temporadas de lluvia y de estiaje. El aumento de las concentraciones fue influenciado principalmente por los aportes pluviales debido a la precipitación durante las lluvias, lo que genera escorrentías del continente al sistema lagunar y el aporte antropogénico de las zonas urbanas. Por otro lado, en temporada de estiaje se registró una disminución en su concentración al no tener aportes por lavado continental y por la asimilación de nutrientes por los productores primarios que juegan un papel importante en el flujo de energía.
5. Las concentraciones de Clo-a en las temporadas de lluvia y estiaje se mantuvieron entre 3 y 4.5 mg/m³; sin embargo, durante la temporada de estiaje se registraron concentraciones hasta 62.5 mg/m³, mientras que en la temporada de lluvia las concentraciones no excedieron los 24.4 mg/m³. Las bajas concentraciones durante la temporada de lluvia están influenciadas principalmente por los aportes terrígenos que limitan la penetración de luz para las actividades fitoplanctónicas, mientras que en temporada de estiaje ocurren mejores condiciones ambientales y en la columna de agua, que permiten un aumento de la biomasa fitoplanctónica.
6. Después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos registraron menor variabilidad que durante el periodo previo a dicha reapertura; lo cual se debe al intercambio constante de agua entre la laguna y el océano, favoreciendo el incremento de la hidrodinámica interna, con una evolución positiva para el equilibrio hidrológico lagunar.
7. Después de la reapertura y ampliación del canal de Tepalcates, la variabilidad de la concentración de los nutrientes registró una reducción significativa, el espejo de agua se incrementó, disminuyó el tiempo de residencia hidráulico, disminuyó la variabilidad en la concentración de los sólidos suspendidos totales y mejoraron las condiciones en la columna de agua; lo cual generó un incremento en la

concentración de Clo-a, lo que significa un mayor intercambio energético entre los niveles tróficos, ya que al existir una comunicación permanente entre el vaso II y el océano Pacífico, provoca una mayor biodiversidad, mejora los servicios ecosistémicos, así como la actividad pesquera en el sistema lagunar.

5.1.2. Conclusiones del objetivo 2

1. Se determinó que el estado trófico en los vasos I, II y III es hipertrófico ya que los valores medios del índice TRIX son de 6.23, 6.35 y 6.63 respectivamente, con características de alta productividad. Los vasos I y II presentan mayor variabilidad, con fluctuaciones similares de 3.49 a 7.74 y de 3.43 a 7.83 respectivamente, ambos con gradientes del estado oligotrófico a hipertrófico, mientras que el vaso III es el que presenta la mayor demanda de energía a intervalos de 4.41 a 8.15 con gradientes de mesotrófico a hipertrófico y es donde las concentraciones de Clo-a presentan la mayor variabilidad, así como un mayor intercambio energético entre los niveles tróficos.
2. En las temporadas de lluvia y estiaje analizadas, la laguna de Cuyutlán mantiene condiciones hipertróficas, ya que los valores del TRIX fueron de 7.83 y 8.15 respectivamente, prevaleciendo características de alta productividad en ambas temporadas.
3. El estado trófico de la laguna de Cuyutlán se relaciona con las concentraciones de Clorofila-a y la disponibilidad de nutrientes, con un gradiente de estado mesotrófico a hipertrófico durante la temporada de lluvias (menor demanda de energía y rangos de 4.41 a 7.83) y con un gradiente de estado oligotrófico a hipertrófico en temporada de estiaje (mayor demanda de energía y rangos de 3.43 a 8.15).
4. Durante el periodo previo, así como en el posterior a la reapertura y ampliación del canal de tepalcates, la laguna de Cuyutlán mantiene un estado hipertrófico ya que los valores del TRIX fueron de 6.14 y 6.60 respectivamente, ambos periodos con características de alta productividad. Previo a la reapertura, los valores del TRIX fluctuaron entre 3.43 y 7.42 (comportamiento oligotrófico a hipertrófico), mientras que con el funcionamiento del canal los valores del TRIX fluctuaron entre 4.41 y 8.15 (comportamiento mesotrófico a hipertrófico), esto debido al incremento en la

concentración de Clo-a y a la disponibilidad de nutrientes, lo que representa un incremento de la biomasa fitoplanctónica y un mayor intercambio energético entre los niveles tróficos asociados a la comunicación entre la laguna y el océano, debido a una mayor hidrodinámica dentro de la laguna de Cuyutlán y a la resuspensión de material orgánico sedimentado.

5. Aun y cuando se presentan elevadas fluctuaciones en el índice TRIX, se demuestra un efecto positivo asociado a la apertura del canal Tepalcates, lo cual se comprobó en los diferentes sitios de muestreo; además, las variables analizadas señalan que el cuerpo lagunar está en evolución, con tendencia hacia un mejor desempeño ecosistémico.

5.1.3. Conclusiones del objetivo 3.

1. La LGEEPA, la LGDFS y la Ley General de Vida Silvestre, se reformaron durante la ejecución del proyecto agregando diversas disposiciones con el propósito de enfatizar la preservación y restauración del equilibrio ecológico, protección al ambiente, promoviendo la emisión de Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental más estrictas, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el estableciendo competencias y mecanismos de concurrencia con los Estados y Municipios.
2. A partir de la entrada en vigor de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, se creó la ASEA, como un órgano desconcentrado de la SEMARNAT, con autonomía técnica y de gestión, con atribuciones para regular en materia de protección ambiental a las empresas del Sector Hidrocarburo, en este caso, las instaladas en el vaso II de la Laguna de Cuyutlán y sus inmediaciones como son la TGNLM, STGNM y Z Gas.
3. El PROETSLC ha experimentado evoluciones conceptuales y normativas antes y después de la ampliación del canal de Tepalcates, convirtiéndolo en el principal instrumento de planeación de la política ambiental para el desarrollo sustentable de la laguna de Cuyutlán, con lo que se pretenden cumplir las expectativas de desarrollo estratégico de la región.
4. Se considera pertinente, que previo a la realización de las obras de ampliación del puerto de Manzanillo y/o de cualquier nuevo proyecto, en el vaso II de la laguna de

Cuyutlán, el Ejecutivo Federal declare mediante decreto los vasos III y IV como Áreas Naturales Protegidas bajo la administración de la CONANP, para contar con una protección legal y jurídica, que garantice la continuidad de sus procesos ecológicos y sus servicios ambientales.

5. Es fundamental que los promoventes de futuros proyectos en el vaso II, garanticen a través de estudios ambientales realizados por instituciones especializadas en materia ambiental, que no se alterará la estructura, la composición, ni la funcionalidad de los ecosistemas presentes, y que se mantendrán los servicios ambientales, no solo en el sitio de los futuros proyectos (vaso II), sino también, en los ecosistemas circundantes, principalmente los del vaso III y IV, previendo impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación del sistema lagunar de Cuyutlán.

5.2. Recomendaciones.

1. A través de universidades e instituciones de investigación científica, realizar el monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos y del estado trófico del sistema lagunar de Cuyutlán, para contar con una base de datos e indicadores ambientales que permita continuar el análisis evolutivo del sistema lagunar, para establecer los criterios específicos a los indicadores, y con ello se facilite la toma de decisiones encaminadas a la sustentabilidad de la laguna de Cuyutlán.
2. Diseñar e implementar una red de estaciones de muestreo de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en el sistema lagunar de Cuyutlán, que considere la geomorfología, la hidrodinámica, las escorrentías fluviales y las descargas sanitarias; con el propósito de diferenciar los impactos ambientales de origen natural de los antropogénicos, con el objetivo de determinar la influencia de ambos en la variación espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos y, por *ende*, del estado trófico lagunar.
3. Conectar a la red de drenaje sanitario las descargas clandestinas de las aguas residuales domésticas que se vierten en la laguna de Cuyutlán, para que estas sean depuradas en plantas de tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Gómez, R. (2001). Caracterización óptica de la laguna costera de Coyuca de Benítez. *Investigaciones geográficas*, (46), 78-97. Recuperado en 15 de mayo de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018846112001000300007&lng=es&tlng=es.
- Aguirre León, A., Díaz Ruiz, S. (2000). Estructura poblacional, madurez gonádica y alimentación de *Eugerres plumieri* (Gerreidae) en sistema fluvio-deltaico Pom-Atasta, México. *Ciencias del Mar*, 26 (2): 253-273.
- Alonso Rodríguez, R., Páez Osuna F., Cortés Altamirano R., (2000). Trophic conditions and stoichiometric nutrients balance in subtropical waters influenced by municipal sewage effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 40(4): 331-339.
- Álvarez Borrego, J., Álvarez Borrego, S. (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep*, 23, 188-197.
- Álvarez Borrego, S., Chee Barragán, A. (1976). Distribución superficial de fosfatos y silicatos en bahía San Quintín, BC. *Ciencias Marinas*, 3(1), 51-61.
- Andersen, J. H., Schlüter L., Aertebjerg, G. (2006). Coastal eutrophication: Recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of Plankton Research*, 28: 621-628. DOI: 10.1093/plankt/fbl001
- Araujo, F. G., De Azevedo, M. C. C., Silva, M. A., Pessanha, A. L. M., Da Cruz Filho, A. G. (2002). Environmental influences on the demersal fish assemblages in the Sepetiba Bay, Brazil. *Estuaries*, 25(3), 441-450.
- Arenas, F.V., De la Lanza, G. (1990). El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 16(3): 45-62.
- Arrieta, G. J. J., Chávez, J. C., González, I., Bernistain, M. D. (2005). Manglares en la jurisdicción del sector naval Manzanillo. Memorias del *II Taller sobre la Problemática de los Ecosistemas de Manglar*. Puerto Vallarta, Jalisco, 26-29 de octubre. Accedido el 6 de noviembre de 2006, de <http://investigacion.izt.uam.mx/ocl/Col.htm>.
- Aubriot, L., Conde, D., Bonilla, S., Hein, V., Britos, A. (2005). *Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biosfera: indicios recientes de eutrofización. Eutrofización de Lagos y Embalses*, 65-85.
- Ayala Pérez, L. A. (2006). *Modelo de simulación de la comunidad de peces en el área natural protegida Laguna de Términos, Campeche, México*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México, D.F., 208.
- Barajas Santinelli, J. (2012). La importancia de la legislación en materia de costas y mares. *Cámara*, 16, 7.
- Botello, A. V. (2016). *La contaminación marina y la urgencia de su legislación*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

- Cabral Solís. (2011). *Efectos antropogénicos sobre la calidad del agua, diversidad y abundancia de la fauna nectónica de la Laguna Cuyutlán, Colima, México: Recomendaciones para su manejo*. Tesis Doctor en Ciencias. CIBNOR. La Paz, B.C.S., México. 138.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lake. *Limnology and Oceanography* 22 (2): 361-369. DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361
- Castelán, H. Q., Eslava, O. M., Astudillo, I. M., Rodríguez, J. G., Vargas, M. D. (2008). Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua. *Acta Universitaria*, 18(1), 57-65.
- Cervantes Duarte R., Rodríguez Mata L. M., López López S. (2017). Efecto de la marea en la concentración de nutrientes, clorofila-a y parámetros físicos y químicos en una laguna costera subtropical (Bahía Magdalena, México). *Hidrobiológica* 27 (2): 253-264.
- Cervigón F., Gómez A. (1986). *Las lagunas litorales de La Isla de Margarita*. Fundación Científica Los Roques. Caracas, Venezuela. 89.
- Chagas, G. G., Suzuki, M. S. (2005). Seasonal hydrochemical variation in a tropical coastal lagoon (Açu Lagoon, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 65, 597-607.
- CHALAR G., CLEMENTE J. (2003) Cuantificación de la resuspensión en un sistema somero. *El agua en Iberoamérica*, CYTED.
- Cloern, J. E. (1987) Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research* 7: 1367-1381.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology progress series*, 210, 223-253.
- Coelho, S., Gamito, S. Pérez Ruzafa, A. (2007). Trophic state of Foz de Almagem coastal lagoon, Algarve, South Portugal: based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71, 218-231
- Comín, F. A., Menéndez, M., Forés, E. (1987). Salinidad y nutrientes en las lagunas costeras del Delta del Ebro. *Limnetica*, 3, 1-8.
- CONABIO (2009). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO, México, D.F.
- CONABIO (2009). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO, México, D.F.
- CONABIO-CONANP-TNC-Pronatura. (2007). *Laguna Cuyutlán – Río Armería. Vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. The Nature Conservancy – Programa México, Pronatura. México.
- CONANP (2020). *Programa Nacional de Áreas Protegidas 2020 – 2024*. Programa Institucional. México, D. F.

- CONAPESCA (2012). *Relación de permisionarios en la Laguna de Cuyutlán*. Relación de cooperativas pesqueras en la Laguna de Cuyutlán. SAGARPA. Colima, México.
- Conde, D., Aubriot, I., Sommaruga, R. (2000) Changes in UV penetration associated with marine intrusions and freshwater discharge in a shallow coastal lagoon of the Southern Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 207:19-31.
- Contreras Espinosa, F., Castañeda López, O., García Nagaya, A. (1994). La clorofila-a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales Inst. Cienc. Mar Limnol. UNAM* 21:55-66.
- Contreras Espinosa, F., Rivera Guzmán, N. E., Segura Aguilar, R. (2005). Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente, La Mancha, Ver. del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 15(3), 299-310.
- Contreras F. (1985). *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo, SEPESCA. México, D. F. 253.
- Contreras, F., Castañeda, O. (2004). *Coastal Lagoons and Estuaries of the Gulf of Mexico: toward the establishment of ecological indicators*. Environ Anal Gulf Mex. Corpus Christi: Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, 230-261.
- COREMI (2000). *OET Subcuenca de la laguna de Cuyutlán*, Colima. 650.
- Day J. W. Jr., C.A.S., Kemp, W. H., Yáñez Arancibia A. (1989). *Estuarine Ecology*. Wiley and Sons. New York. 558.
- De la Lanza Espino, G., Montes, H. L. (1999). Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica*, 9(1), 15-30.
- De la Lanza, G., Rodríguez, M.M. (1990). Caracterización regional de la Laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas*, 6(3): 27-44.
- DOF (5 de febrero de 1917), *Constitución Política de lo Estados Unidos Mexicanos*. México: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión. Última Reforma 15 de septiembre de 2017. en:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150917.pdf
- (18 de enero de 1988) “Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente”, Última Reforma publicada el 18 de enero de 2021.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_180121.pdf
- (30 de mayo de 1988), “Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”: *Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión.*, de 18 de enero del 2021, <http://www.conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/protocolo/LGEEPA.pdf>
- (1 de diciembre de 1992) Ley de Aguas Nacionales, Última Reforma publicada 6 de enero de 2020, en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf.
- (7 de junio del 2013) “Ley Federal de Responsabilidad Ambiental”, Última Reforma publicada el 20 de mayo de 2021.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFRA_200521.pdf

- (11 de agosto del 2014) “Ley de Hidrocarburos”, Última Reforma publicada el 20 de mayo de 2021, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LHidro_200521.pdf
- (11 de agosto del 2014) “Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburo”, Última Reforma publicada el 20 de mayo de 2021., de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LANSI_200521.pdf
- (5 de junio del 2018) “Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable”, Última Reforma publicada el 26 de abril de 2020. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS_260421.pdf
- (3 de julio del 2020) “Ley General de Vida Silvestre”, Última Reforma publicada el 19 de enero de 2018. https://www.senado.gob.mx/comisiones/medio_ambiente/docs/LGVS.pdf
- Dominici Arosemena A., Brugnoly O. E., Solano U. S., Molina U. H., Ramírez C. A. R. (2000). Ictioplancton en la zona portuaria de limón, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 48 (2-3): 439-442
- Duarte P., Macedo M. F., Fonseca L. C. (2006). The relationship between phytoplankton diversity and community function in a coastal lagoon. *Hidrobiológica*, 555 (1): 3-18.
- Duarte, C. M. (2009). Coastal eutrophication research: *a new awareness*. In *Eutrophication in Coastal Ecosystems*, 263-269, Springer, Dordrecht.
- Escobedo Urías, D. (2010). *Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa*. Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S. 298.
- Ferguson, A., EYRE, B., GAY, J. (2004). Nutrient cycling in the sub-tropical Brunswick Estuary, Australia. *Estuaries* 27 (1): 1- 17.
- Fernández, J. M., Selma, M. A. E. (2007). Gestión integrada de cuencas costeras: dinámica de los nutrientes en la cuenca del Mar Menor (sudeste de España). *Revista de Dinámica de Sistemas*, 3(1).
- Gameiro, C. P., Cartaxana, M.T., Cabrita., Brotas, V. (2004). Variability in chlorophyll and phytoplankton composition in an estuarine system. *Hydrobiologia* 525: 113-124.
- Garcón, V.C., Stolzenbach, K.D., Anderson, D.M. (1986). Tidal flushing of an estuarine embayment subject to recurrent dinoflagellate blooms. *Estuaries*, 9: 179-187.
- Gaston J. K., Williams H. P. 1996. Spatial patterns in taxonomic diversity. En: *Biodiversity. A biology of numbers and difference*. (ed.) Gaston J., K. Blackwell Science. 202-396.
- Gaston K. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220-227.
- Giordani, G., Zaldivar, J. M., Viaroli, P. (2009). Simple tolos for assessing wáter quality and trophics status in transitional wáter ecosystems. *Ecol. Ondic.* 9:982-991.

- Giovanardi, F., Vollenweider, R. A. (2004). Trophic conditions of marine coastal waters: *experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas*. *Journal of Limnology* 63 (2): 199-218. DOI: 10.4081/jlimnol.2004.199.
- Gómez, (2013). Ecología del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros físico-químicos y biológicos. Tesis maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Colegio de la Frontera Sur. 57.
- Gutiérrez Mendieta, F. J., Varona Cordero, F., Contreras Espinosa, F. (2006). Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2), 137-146.
- Guzmán, D. U. (2015). La Constitución y los derechos ambientales: *Los medios Alternativos de Solución de Controversias en la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental*, 207-228. <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/libro.htm?l=4098>.
- Haines P.E., Tomlinson R.B., Thom B.G. (2006). Morphometric assessment of intermittent open-closed coastal lagoons in New South Wales, Australia. *Estuarine and Shelf Science*, 67(2): 321-332.
- Hallegraeff, G. M. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycology* 32: 79-99. DOI: 10.2216/i0031-8884-32-2-79.1.
- Herrera-Silveira, J. A. (2006). Lagunas Costeras de Yucatán SE, México Investigación, Diagnóstico y Manejo. *ECOTROPICOS* 19 (2): 94-108 2006, 19(2), 94-108.
- Hernández Ayón, J. M., Zirino Marinore A., S.G., Canino-Herrera, R., Galindo-Bect, M. S. (2003). Relación del pH-densidad con el agua de mar. *Ciencias Marinas*. 29(4): 497-508.
- Hernández, (2019). Evolución en la aplicación del derecho ambiental en México. Universidad Nacional Autónoma de México. 87-94.
- Herrera-Silveira, J. A., Morales Ojeda, S. M., Cortes-Balan, T. O. (2011). Eutrofización en los ecosistemas costeros del Golfo de México. SEMARNAT-NOAA-GEF-UNIDO. 88.
- Ignatiades, L., Karydis, M., Vonatsou, P. (1992). A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentration scale. *Marine Pollution Bulletin*, 24, 2338-243.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática México, (2002).
- Juárez A. J. (1985). Helmintos de la lisa *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 en Topolobampo, Sinaloa. Con algunas consideraciones ecológicas sobre estos parásitos. En: Chávez-Bejarano *et al.*, 1989.
- Juárez, H. (2013). Variabilidad de los parámetros físico-químicos antes y después de la Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo. Tesis Maestro en Gestión de Auditorías. IPN en vinculación con FUNIBER. México, D. F., 73.

- Justic, D. (1991). A simple oxygen index for trophic state description. *Mar. Pollut. Bull.* 4:201-204.
- Karydis, M. (1996). Quantitative assessment of eutrophication: a scoring system for characterizing water quality in coastal marine ecosystems. *Environ. Monit, Assess.* 41:233-246.
- Kjerfve B., Schettini C. A. F., Knoppers B., Lessa G. y Ferreira H.O. 1996. Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: *Lagoa de Araruama, Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42 (6): 701-725.
- Lara, (2012). Modelación de la Hidrodinámica de la Laguna de Cuyutlán, Colima. Tesis Maestro en Ingeniería Civil – Hidráulica. UNAM. México, D. F. 69.
- Lara Lara, J. R., Álvarez Borrego, S. (1975). Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B. C. *Ciencias Marinas* 2(1): 77-96.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente Artículo 3. Frac. XXIV.
- Mac Donald, L. F. (2012). “Régimen de Competencia de los Recursos Marinos y Costeros” Comisión Nacional de Áreas Protegidas. Boletín. Publicado el 20 noviembre 2012.
- Libes, S. (2009). Introduction to marine biogeochemistry. (2^a ed.) Elsevier. USA. 893.
- Lonard I. R., Judd W. F. (2010). The biological flora of coastal dunes and wetlands: *Schizachyrium litorale* (G. Nash) E. Bicknell. *Journal of coastal research*. 26(4) 654-662.
- Manual de la Convención de RAMSAR (2016) “Introducción a la convención sobre humedales”. (5^a ed.).
- Mariscal Romero, J. M., Palomino, A. B., Ramírez, L. G., Guisar, R. A. R., Ibarra, R. L. E., Ramírez, S. R., Sanson, G. G. (1997). Demersal fish assemblages of the continental shelf off Colima and Jalisco, México. *Ciencias Marinas* 24:35-54.
- Masters, G., Ela, W. (2007). Environmental Engineering and Science. (3^a ed.). Prentice Hall. Arizona, USA. 350.
- Medina Galván, J., Audelo Naranjo, J. M., Arreola Lizárraga, J. A. (2019). Importancia del monitoreo de procesos biogeoquímicos en lagunas costeras: *Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (77), 12-18.
- Mejía González, M. Á., González Hita, L., Espinoza Ayala, J., González Verdugo, J. A. (2012). Determinación de las aportaciones de agua dulce a las lagunas costeras Chacahua y Salina Grande, Oaxaca, México, por medio de isótopos ambientales. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(3), 53-64.
- Mellink, E. y G. de la Riva. (2005). Non-breeding waterbirds at Laguna de Cuyutlan and its associated wetlands, Colima, Mexico. *J. Field Ornithol.* 76(2):158–167.
- Mellink, E., Riojas López, M. (2008). Waterbirds and human-related threats to their conservation in Laguna Cuyutlán, Colima, México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* 1-2(57):1-12.

- Mendoza Salgado, R. A., Lechuga Devéze, C. H., Ortega Rubio, A. (2005). First approach of a method to assess water quality for arid climate bay in the Gulf of California. *Sci. Total Environ.* 347:208-216.
- Meng L., Cicchetti G., Raciti S. (2005). Relationships between juvenile winter flounder and multiple-scale habitat variation in Narragansett Bay, Rhode Island. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134 (6): 1509-1519
- Metcalf & Eddy, (1979). *Ingeniería, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales Segunda Edición.* McGraw-Hill.
- Miranda R. J., Mouillot H. D., Flores L.D., Sosa A., Thang D.Ch., Perez A. L. (2005). Changes in four complementary facets of fish diversity in a tropical coastal lagoon after 18 years: *a functional interpretation.* *Marine Ecology Progress Series.* 304: 1-13.
- Monbet, Y. (1992). Control of phytoplankton biomass in estuaries: *a comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries.* *Estuaries* 15: 56-571
- Moreno Casasola, P. (2000). Plan de manejo comunitario de La Mancha-El Llano, un proyecto de desarrollo costero y de creación de un ambiente sustentable. Cuadernos de biodiversidad, nº 3 feb. 2000, 4-7.
- Moreno Casasola, P., López, H., Garza, S. (2001). La vegetación de los humedales mexicanos Capítulo. 7. In: Abarca, F., Herzig, M. (EDS.). Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México. swws/ufw/semarnat/dumac/pronatura/nawcc/ramsar.
- Mouillot D., Tomasini L. J., Aliaume J. A., Brehmer C., Dutrieux P. E. y Thang D.Ch. (2005). Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities. *Hidrobiologica*, 550(1): 121-130.
- Moyle, P.B., Cech, J. J. Jr. (1988). *Fishes: An introduction to ichthyology.* Prentice Hall, New Jersey, 559.
- Muciño Márquez, R.E., Figueroa Torres, M.G., Aguirre León, A. (2015). Cianofitas de los sistemas fluvio-Lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, adyacentes a la Laguna de Términos, Campeche, México. *Polibotánica* 39: 49-78.
- Murphy, J., Riley, J.P. (1962) A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.
- Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1), 199-219.
- Norris R. H., Hawkins C. P. (2000). Monitoring river health: *Hidrobiologica*, 435:5- 17.
- NMX-AA-014-1980. Norma Mexicana. “*Cuerpos receptores.- Muestreo.*” Fecha de aprobación y publicación: Septiembre 5, 1980.
- Null K. A., Knee K. L., Crook E. D., de Sienes N. R., Rebolledo Vieyra M., Hernández-Terrones L., Paytan A. (2014). Composition and fluxes of submarine groundwater along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula. *Cont. Shelf Res.* 77, 38-50. DOI: 10.1016/j.csr.2014.01.011.

- O'Connell T. M., Cashner C. R., Schieble S. C. (2004). Fish assemblage stability over fifty years in the Lake Pontchartrain Estuary: *comparisons among habitats using canonical correspondence analysis*. *Estuarios*, 27 (5): 807-817.
- Odum E. P. (1983). *Ecología*. Ed. Interamericana (3ª ed.) México, 639.
- Ortega Murillo, M. R., Alvarado Villanueva, R., Hernández Morales, R., Sánchez Heredia, J. D. (2010). Evolución trófica de un lago tropical hiosalino con base al fitoplancton. *Biológicas* 12 (2): 75-81.
- Osuna, F. P., Ley, Y. M., Leyva, H. B. (1990). Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del Puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 6(1), 19-32.
- Panana Arce, A., Gama-Villasana, H., Mendoza-Zúñiga, R., Panana-Villalobos, E., Rivera-Prieto, J. (2014). Registro Preliminar del perfil de playa y parametros fisicoquimicos en la zona costera Roca Partida-Monte Pío, Veracruz. XXI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, Conzumel, Quintana Roo.
- Pérez Castillo, A. G., Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1905-1918. Retrieved October 19, 2021, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000400026&lng=en&tlng=es
- Pinilla, G. A., J. Duarte Coy., Vega Mora, L. (2010). Índice de estado limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del canal del dique, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 15 (2): 169-188.
- Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial Local del Territorio de Manzanillo. Tomo 101 30 de julio del año 2016, 45 (2).
- Quiñonez Gallardo, W. E. (2008). Aportes de nitrógeno por efluentes acuícolas al estero de Urías: *concentración de las especies químicas y composición isotópica* (Licenciatura). Instituto Tecnológico de Mazatlán.
- Quirós, R. (2005). La ecología de las lagunas de las Pampas. *Investigación y Ciencia*, 1(6), 1-13.
- Ramos Miranda, J., Flores Hernández, D., Ayala Pérez, L.A., Rendón von Osten, J., Villalobos Zapata, G., Sosa López, A. (2006). Atlas hidrológico e ictiológico de la Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche. 173.
- Ringwood, A. H., Keppler, CH. J. (2002). Water quality variation and clam growth: *Is pH really a non-issue in Estuaries?*. *Estuaries* 25 (5): 901-907.
- Riebesell, U., Wolf Gladrow, D. A. (2002). Supply and uptake of inorganic nutrients. *Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems*, 109-140.
- Rodríguez, M. Á. S., Martínez, O. C. (2020). Evaluación espacial y estacional del estado trófico en el sistema estuarino Urías, Mazatlán, México. *Ideas en Ciencias de la Ingeniería*, 1(1), 10-26.

- Ruiz Montero, A. P. (2009, febrero). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) (N.o 2006–2008). Categorías aprobadas en la Recomendación 4.7 (1999) y modificadas por la Resolución VIII.13 de la 8a Conferencia de las Partes Contratantes (2002) y Resoluciones IX.1, Anexo B, IX.6, IX.21 y IX. 22 de la 9a Conferencia de las Partes Contratantes (2005). <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1985RIS.pdf>
- SAGARPA-SEPARMAT-INAPESCA. (2002). El manglar: *Riqueza de las costas mexicanas*. 10.
- Salgado M. M., González B. A. (1996). Opinión Técnica sobre la influencia del 'Tapo' y de la Planta Termoeléctrica sobre la entrada y distribución de especies marinas en la laguna de Cuyutlán, Colima. Informe Interno, SEMARNAP/INP, CRIP-Mzillo, 12.
- Sánchez, A. R. y Asociados, S.A. de C.V. (1986). *Proyecto ejecutivo de ordenamiento ecológico de las márgenes de la Laguna de Cuyutlán, Colima*. Accesado el 29 de octubre de 2009, de <http://www.ine.gob.mx/index.php>.
- Salgado M. M., González B. A., Cabral Solís, E.G., (1998). Problemática de la laguna de Cuyutlán, Colima, México, Informe interno, SEMARNAP/INP, CRIPMzillo, 16.
- Seitzinger, S. P. (1988). Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: *ecological and geochemical significance*. *Limnology and oceanography*, 33(4part2), 702-724.
- Serrano Pinto, V., Caraveo Patiño, J. (2002). A benthic mollusks checklist from laguna Cuyutlan. Colima. Mexico. *Hidrobiología* 12 (1):166-169.
- Silva, N., Palma, S. (2006). 3.2 Oxígeno disuelto, pH y nutrientes en canales y fiordos australes. *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 37-43.
- Smayda, T.J. (1980). Phytoplankton species succession. En: *The Physiological Ecology of Phytoplankton* (Ed. I. Morris). Univ. California Press. 493-563.
- SCOR-UNESCO Technical paperas in marine science Determination of Chlorophyll in sea water. (1980), 35.
- Strickland J.D., Parsons, T.R. (1968). A manual of seawater analysis: *Research Board of Canada*. Bull N° 125.
- Strickland J.D., Parsons, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of Fishery Research*. Bd. Canada. 310
- Sosa Avalos, R., Gaxiola Castro, G., Olivos Ortiz, A., Silva Iñiguez, L. (2013). Nutrientes inorgánicos y producción del fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(1), 143-154. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000100012>
- Souza M. F., Kjerfve B., Knoppers B., Landim de Souza W. F., Damasceno R. N. (2003). Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: *Lagoa de Araruama, Brazil*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57 (5-6): 843-858.

- Sournia, A., Birrien, J. L., Douville, J. L., Klein, B., Viollier, M. (1987). A daily study of the diatom spring bloom at Roscoff (France) in 1985. I. The spring bloom within the annual cycle. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 25(3), 355-367.
- Riebesell, U., Wolf Gladrow, D.A. (2002). Supply and uptake of inorganic nutrients. *Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and fresh-water ecosystems*, 109-140.
- Ringwood, A. H., KEPLER, CH. J. (2002). Water quality variation and clam growth: *Is pH really a non-issue in Estuaries?* *Estuaries* 25 (5): 901-907.
- Red Manglar. (2007). Impacto costero en Manzanillo. Red manglar Internacional – Boletín Electrónico 47:5-6.
- Torres, J., Quintanilla Montoya, A. L. (2014). Alteraciones antrópicas: *historia de la Laguna de Cuyutlán, Colima. Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 6(1).
- Universidad de Colima. (2007). Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional de la Terminal de Gas Natural Licuado de Manzanillo, Comisión Federal de Electricidad Capítulo IV.
- Valenzuela Siu, M., Arreola Lizárraga, J. A., Sánchez Carrillo, S., Padilla Arredondo, G. (2007). Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. *Hidrobiológica*, 17(3), 193-202.
- Valdez Holguín, J. E. (1994). Daily variations of temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll a, in a hypersaline lagoon of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 20(2), 123-137.
- Vargas González, H.H., Arreola Lizárraga, J.A., Mendoza Salgado, R.A, Méndez-Rodríguez, L.C., Lechuga Devéze, C., Padilla Arredondo, G., Córdoba Matson, V. (2014). Effects of sewage discharge on trophic state and water quality in a coastal ecosystem of the Gulf of California. *The Scientific World Journal*, DOI:10.1155/2014/618054.
- Varona Cordero, F., Gutiérrez Mendieta, F. J. (2003). Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica*, 13(3), 177-194.
- Varona Cordero, F. (2004). Estudio comparativo de los cambios en la composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de dos lagunas Costeras (Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola) y su relación con las variaciones de los parámetros físicos y químicos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 127.
- Vásquez-Yeomans L. (2000). Seasonal variation of ichthyoplankton in a western Caribbean bay system. *Environmental Biology of Fisheries*, 58(4) 349-392.
- Vialori, P., Christian, R. R. (2003). Description of trophic status of an eutrophic coastal lagoon through potential oxygen production and consumption: *defining hyperautotrophy and dystrophy*. *Ecol. Indic.* 3:237-250.

- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, G., A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal water with special reference to the NW Adriatic Sea: *proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index*. *Environmetrics* 9:329-357.
- Wasmund, N., Andrushaitis, A., Lysiak Pastuszek, E., Müller-Karulis, B., Nausch, G., Neumann, T., Ojaveer, H., Olenina, I., Postel, L., Witek, Z. (2002). Trophic Status of the South-Eastern Baltic Sea: *A Comparison of Coastal and Open Areas*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 849-864.
- Zárate N., Ascencio, B. F., González V., (1994). Monitoreos de agua en el sistema lagunar Cuyutlán en Colima. Secretaría de Pesca 72.
- Zirino, A., Fuhrmann, R.A., Oksanen Gooden, D., Lieberman, S.H., Clavell, C., Seligman, P.F., Mathewson, J.H., Jones, W.D., Kogelschatz, J., Barber, R.T. (1986). pH-temperature-nutrient relationships in the eastern tropical Pacific Ocean. *Sci. Total Environ.*, 58: 117–137.
- Zirino, A., Hernández Ayón, J.M., Fuhrman, R.A., Álvarez Borrego, S.A., Gaxiola Castro, G., Lara Lara, R., Bernstein, R.L. (1997). Estimaciones superficiales de PCO₂ en el Golfo de California a partir de mediciones continuas de pH e imágenes de satélite. *Cienc. Mar.*, 23(1): 1–22.
- Zutshi, D. P., Subla A. B., Khan A. M., Wanganeo, A. (1980). Comparative limnology of nine lakes of Jammun and Kashmir Himalayas *Hydrobiología*. 72: 101-112.