



**S.E.P.**

**S.E.S.**

**Tec.N.M**

---

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA**

**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LAS  
DESCARGAS DE LA LAGUNA DE CHIMALIAPAN, LERMA,  
ESTADO DE MÉXICO”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**ERICK RODRIGO GUZMÁN GORROCHOTEGUI**

**No. CONTROL: 0850M0303**

**DIRECTORA:**

**DRA. MARÍA DEL CARMEN CARREÑO DE LEÓN**

**CODIRECTOR:**

**DR. SAMUEL TEJEDA VEGA**

**METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO DE 2017**



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

Metepec, Méx., 05/Junio/2017

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN

DEPI-395-660/2017

DR. JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
P R E S E N T E.

Por este medio comunicamos a usted que la Comisión Revisora designada para analizar la tesis denominada "EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LAS DESCARGAS DE LA LAGUNA DE CHIMALIAPAN, LERMA, ESTADO DE MÉXICO", que como parte de los requisitos para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental presenta el C. ERICK RODRIGO GUZMÁN GORROCHOTEGUI, con número de control 0850M0303 para sustentar el acto de Recepción Profesional, ha dictaminado que dicho trabajo reúne las características de contenido y calidad necesario para proceder a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

  
DRA. MARÍA DEL CARMEN CARREÑO DE LEÓN  
DIRECTORA DE TESIS

  
DR. SAMUEL TEJEDA VEGA  
CO-DIRECTOR DE TESIS

  
DR. NICÓLAS FLORES ÁLAMO  
REVISOR

  
DR. ISAÍAS DE LA ROSA GÓMEZ  
REVISOR

  
DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ BERRIEL  
REVISORA





"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

Metepec, Méx., 13/junio/2017

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN

DEPI-395-1045/2017

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

**C. ERICK RODRIGO GUZMAN GORROCHOTEGUI**  
**CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS**  
**EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**PRESENTE.**

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica de la Subsecretaría de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó con respecto a su Trabajo de Tesis titulado "**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LAS DESCARGAS DE LA LAGUNA DE CHIMALIAPAN, LERMA, ESTADO DE MÉXICO**" la División de Estudios de Posgrado e Investigación concede autorización para que proceda a la impresión del mismo.

Sin más por el momento, quedo de usted.

**ATENTAMENTE**  
*Educación, Integridad y Ciencia*

**DR. JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

JLGR/magj



Av. Tecnológica S/N, Fraccionamiento La Virgen, C.P. 52149,  
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208 7207,  
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 72 00  
e-mail: [info@ittoluca.edu.mx](mailto:info@ittoluca.edu.mx), [www.ittoluca.edu.mx](http://www.ittoluca.edu.mx)



## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Toluca (ITT) por la formación académica y por abrirme las puertas para estudiar una maestría, al Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) por brindar sus instalaciones para el desarrollo del presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que permitió la culminación de este proyecto, al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) por el apoyo brindado durante el desarrollo de la parte experimental.

A mis directores de Tesis: Dra. María del Carmen Carreño de León y Dr. Samuel Tejeda Vega por sus comentarios oportunos en el mejoramiento del trabajo, por la entrega mostrada en los muestreos y por el esfuerzo mostrado en el desarrollo del proyecto. A los honorables miembros del comité por su tiempo dedicado a la revisión y contribución de ideas en este trabajo.

A Enrique Aguliar Miranda por su tiempo y paciencia durante la capacitación en técnicas analíticas.

A mi madre especialmente por haber hecho de mí una persona responsable, trabajadora y constante, por los consejos, la motivación y por estar siempre para mí.

A Pedro por ser un gran apoyo durante estos dos años, por su paciencia, comprensión y compañía.

## RESUMEN

Las Ciénegas de Lerma conocidas como la Cuenca del Alto Lerma, es uno de los humedales más extensos del centro de México. La Laguna de San Pedro Tultepec o Laguna de Chimaliapan es uno de los tres cuerpos de agua que conforman las Ciénegas de Lerma y actualmente presenta problemas de contaminación causada por la descarga de aguas residuales de origen municipal, provenientes de los poblados aledaños.

En este trabajo se evaluó el estado físico, químico y microbiológico del agua proveniente de los principales tributarios de la Laguna de Chimaliapan, de acuerdo con la norma oficial Mexicana NOM 001 SEMARNAT 1996 y con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en humedales y aguas dulces para la protección de la vida acuática respectivamente, además se evaluó el grado de contaminación por metales pesados en agua y sedimentos mediante el método de Fluorescencia de Rayos X, con la finalidad de determinar si las concentraciones de los contaminantes sobrepasan o no los límites máximos permisibles y establecer si pueden poner en riesgo la biota acuática.

Se identificaron cuatro descargas principales que alimentan a la Laguna y se analizaron 18 parámetros. Los resultados obtenidos muestran una mayor contaminación microbiológica a causa de los coliformes fecales, los cuales presentaron altas concentraciones en las cuatro descargas. La relación DBO/DQO mostró que el agua es de origen industrial, lo que supone que las industrias cercanas a la Laguna contribuyen con aporte de contaminantes en las descargas, finalmente, el cálculo de las cargas de contaminantes permitió conocer que en temporada de estiaje la Descarga 1 presentó la carga más elevada de DQO, DBO<sub>5</sub> y Grasas y Aceites, mientras que en temporada de lluvias este mismo tributario aportó mayor carga de Fósforo y Nitrógeno a la Laguna.

## ABSTRACT

The Lerma Ciénegas as well known as the Alto Lerma watershed, is one of the most extensive wetlands from the center of Mexico. The San Pedro Tultepec Lagoon or Chimaliapan Lagoon is one of the three bodies of water that make up the Lerma Ciénegas. It presents pollution problems today caused by discharge of municipal wastewater, coming from neighboring towns.

In this work it was evaluated the physical, chemical and microbiological state of water coming from the main tributaries of the Chimaliapan Lagoon, according to the Official Mexican Norm NOM-001-SEMARNAT-1996 and with the Ecological Criteria of Water Quality CE-CCA-001/89 which establish the maximum permissible limits of contaminants in wetlands and fresh waters for the protection of aquatic life respectively, further the degree of contamination by heavy metals in water and sediments was evaluated by the X-Ray Fluorescence method, In order to determine whether or not the concentrations of the pollutants exceed the maximum permissible limits and to establish whether they may endanger the aquatic biota.

Four main discharges were identified that feed to the lagoon and were analyzed 18 parameters. The results obtained show a greater microbiological contamination due to fecal coliforms, which had high concentrations in the four discharges. The BOD / COD ratio showed that the water is of industrial origin, which means that nearby industries to contribute Laguna contribution pollutant discharges.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>CONTENIDO</b>	vi
<b>RELACIÓN DE FIGURAS</b>	ix
<b>RELACIÓN DE TABLAS</b>	xii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. FUNDAMENTOS</b>	4
1.1 Los Humedales	4
1.1.1 Clasificación de los humedales	4
1.1.2 Función de los humedales	4
1.2 El agua en México	6
1.2.1 Uso en riego agrícola	7
1.2.2 Uso en abastecimiento publico	7
1.2.3 Uso en industria autoabastecida	7
1.2.4 Uso en energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	7
1.2.5 Hidroeléctricas	8
1.3 Diferentes tipos de contaminación del agua	8
1.3.1 Contaminación del agua por desechos industriales	8
1.3.2 Contaminación del agua por desechos agrícolas	9
1.3.3 Contaminación del agua por residuos domésticos	9
1.4 Contaminantes fisicoquímicos	10
1.5 Contaminantes patógenos y parasitarios	22
1.6 Parámetros complementarios	25
1.7 Sedimentos	27
1.7.1 Equipo para medir sedimentos	28
1.7.2 Fundamento de Fluorescencia de Rayos X (FRX)	28
1.7.3 Descripción del sistema de Fluorescencia de Rayos X (FRX)	29

1.7.4 Factor de enriquecimiento (FE)	29
1.8 Descarga	30
1.9 Carga contaminante	30
1.9.1 Condiciones particulares de descarga	31
1.10 Muestra compuesta	31
<b>2. MÉTODO</b>	<b>32</b>
2.1 Localización de la zona de estudio	33
2.2 Identificación de las descargas	34
2.2.1 Descarga 1	35
2.2.2 Descarga 2	37
2.2.3 Descarga 3	39
2.2.4 Descarga 4	41
2.3 Preparación del material de muestreo	43
2.4 Muestreo de agua y sedimento en las descargas	44
2.4.1 Muestreo de sedimentos	47
2.5 Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos	47
2.6 Análisis de Fluorescencia de Rayos X de metales en agua y sedimentos	49
2.6.1 Tratamiento de las muestras de sedimentos	49
2.6.2 Análisis por Fluorescencia de Rayos X	50
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>51</b>
3.1 pH	51
3.2 Temperatura	52
3.3 Conductividad	53
3.4 Materia flotante	54
3.5 Sólidos Sedimentables (SS)	55
3.6 Sólidos Suspendidos Totales (SST)	56
3.7 Oxígeno Disuelto (OD)	57



3.8 Fósforo Total	59
3.9 Nitrógeno Total	61
3.10 Nitritos	62
3.11 Nitratos	64
3.12 Grasas y Aceites	65
3.13 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	66
3.14 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	67
3.15 Coliformes Fecales	69
3.16 Coliformes Totales	71
3.17 Huevos de Helminto	73
3.18 Metales en agua	73
3.19 Metales en sedimento y comparación con criterios internacionales	81
3.20 Factor de Enriquecimiento (FE)	90
3.21 Identificación de las descargas que causan mayor problema a la zona de estudio	92
3.22 Cálculo de la carga de los contaminantes	93
3.22.1 Carga de DBO <sub>5</sub>	94
3.22.2 Carga de DQO	95
3.22.3 Carga de Nitrógeno total	95
3.22.4 Carga de Fósforo total	96
3.22.5 Carga de Grasas y Aceites	97
<b>CONCLUSIONES</b>	98
<b>RECOMENDACIONES</b>	100
<b>REFERENCIAS</b>	101

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de Flujo de la metodología del proyecto	32
Figura 2.2 Localización de la Laguna de Chimaliapan y sus principales descargas	33
Figura 2.3 Descarga 1, temporada de estiaje	36
Figura 2.4 Descarga 1, temporada de lluvias	36
Figura 2.5 Dimensiones de la descarga 1, temporada de estiaje y lluvias	37
Figura 2.6 Descarga 2, temporada de estiaje	38
Figura 2.7 Descarga 2, temporada de lluvias	38
Figura 2.8 Dimensiones de la descarga 2, temporada de estiaje y lluvias	39
Figura 2.9 Descarga 3, temporada de estiaje	40
Figura 2.10 Descarga 3, temporada de lluvias	40
Figura 2.11 Dimensiones de la descarga 3, temporada de estiaje y lluvias	41
Figura 2.12 Descarga 4, temporada de estiaje	42
Figura 2.13 Descarga 4, temporada de lluvias	42
Figura 2.14 Dimensiones de la descarga 4, temporada de estiaje y lluvias	43
Figura 3.1 pH en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	52
Figura 3.2 Temperatura en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	53
Figura 3.3 Conductividad en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	54
Figura 3.4 Sólidos Sedimentables en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	56
Figura 3.5 Sólidos Suspendidos Totales en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	57
Figura 3.6 Oxígeno Disuelto en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	58
Figura 3.7 Fosforo Total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	60
Figura 3.8 Nitrógeno Total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	61

Figura 3.9 Nitritos en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	63
Figura 3.10 Nitratos en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	64
Figura 3.11 Grasas y Aceites en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	65
Figura 3.12 Demanda Bioquímica de Oxígeno en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	67
Figura 3.13 Demanda Química de Oxígeno en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	68
Figura 3.14 Coliformes Fecales en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	70
Figura 3.15 Coliformes Totales en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	72
Figura 3.16 Titanio en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	74
Figura 3.17 Cromo en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	75
Figura 3.18 Manganeso en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	76
Figura 3.19 Hierro en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	77
Figura 3.20 Níquel en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	78
Figura 3.21 Cobre en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	78
Figura 3.22 Zinc en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	79
Figura 3.23 Plomo en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	80
Figura 3.24 Potasio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	82
Figura 3.25 Calcio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	83
Figura 3.26 Titanio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	83
Figura 3.27 Manganeso en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	84

Figura 3.28 Hierro en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	85
Figura 3.29 Níquel en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	86
Figura 3.30 Cobre en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	87
Figura 3.31 Zinc en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	88
Figura 3.32 Galio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	89
Figura 3.33 Plomo en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	90
Figura 3.34. Carga de DBO <sub>5</sub> en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	94
Figura 3.35. Carga de DQO en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	95
Figura 3.36. Carga de Nitrógeno total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	96
Figura 3.37. Carga de Fósforo total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	96
Figura 3.38. Carga de Grasas y Aceites en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan	97

**RELACIÓN DE TABLAS**

Tabla 2.1 Tipos de recipientes para la toma de muestras y condiciones de preservación	45
Tabla 2.1 Tipos de recipientes para la toma de muestras y condiciones de preservación (Continuación)	46
Tabla 2.2 Parámetros fisicoquímicos y normatividad vigente	48
Tabla 2.2 Parámetros fisicoquímicos y normatividad vigente (Continuación)	49
Tabla 3.1 Descargas que presentan materia flotante	55
Tabla 3.2 Criterio de calidad del agua en función de la DQO (SEMARNAT, 2005)	69
Tabla 3.3 Criterios recomendados para sedimentos	81
Tabla 3.4 Factor de Enriquecimiento de los sedimentos de la Laguna de Chimaliapan en temporada de estiaje	90
Tabla 3.5 Factor de Enriquecimiento de los sedimentos de la Laguna de Chimaliapan en temporada de lluvias	91
Tabla 3.6 Resultados de la relación entre DBO y DQO	92

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema digno de tomarse en cuenta debido a que el uso intensivo, la degradación creciente, los problemas de salud, el deterioro de los acuíferos y la disminución de fuentes de abastecimiento de fuentes de agua potable está en función de su utilización y está definida por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos. Ciertas prácticas de aprovechamiento de la naturaleza y sus riquezas, conllevan efectos que alteran la estabilidad de los ecosistemas, afectan la sustentabilidad de los recursos naturales y actúan sobre la salud de los seres vivos en forma negativa (Rojas, 2011).

La importancia de los humedales en nuestro país radica en la amplia extensión de éstos, los cuales cubren una superficie de más de 5 millones de hectáreas, lo que ha logrado que México forme parte de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR) desde 1986, contando con un total de 64 sitios registrados en la lista de humedales de importancia internacional, colocándole en segundo lugar a nivel mundial en cuanto a número de sitios registrados por la Convención Mundial sobre los humedales (Granados *et al.*, 2014).

La Laguna de Chimaliapan se encuentra ubicada en el municipio de Lerma; al sur de San Pedro Tultepec y al lado poniente de la Sierra de las Cruces. Es uno de los tres cuerpos de agua que conforman las Ciénegas de Lerma.

En esta Laguna, las diferentes actividades realizadas por la población generan diversos desechos, que son las fuentes principales de contaminación de ríos, canales y lagos; lo que se traduce en la desaparición de la vegetación natural, así como en la muerte de peces y demás fauna acuática. Por otra parte, la descarga directa a cuerpos de agua de las aguas residuales generadas en estas actividades a los cuerpos de agua de la Laguna, limita el uso del recurso para los diferentes usos productivos como el riego o la pesca artesanal, el consumo (agua potable) y la recreación de contacto.

Debido a la diversidad de flora y fauna, incluyendo especies en riesgo la zona es declarada como Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) establecida mediante decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de noviembre de 2002 (Ledezma, 2013). La información más reciente en los últimos años sobre la problemática de la Laguna está presente en reportes y artículos de diversos autores, los cuales son mencionados a continuación.

En el estudio titulado “El impacto de la desecación de la Laguna de Lerma en la gastronomía lacustre de San Pedro Tultepec de Quiroga, Estado de México”, realizado por Viesca *et al.*, en 2011, se caracterizó la gastronomía lacustre en el Alto Lerma, prevaleciente antes y después de la desecación de la Laguna de San Pedro Tultepec, en el Estado de México.

Por su parte, Zepeda *et al.*, 2012 en su estudio sobre Florística y diversidad de las Ciénegas del río Lerma Estado de México, México, identificaron la flora vascular acuática y las variaciones de la diversidad vegetal de los tres cuerpos de agua, a partir de la colecta de todas las especies presentes. Se encontró una riqueza florística de 97 especies de plantas vasculares incluidas en 39 familias y 65 géneros, indicando que las Ciénegas aún poseen una diversidad vegetal significativa.

Granados *et al.*, en el 2014, en su estudio sobre Determinación de metales en las descargas de la Laguna de Chimaliapan en San Pedro Tultepec, Lerma, Estado de México para la temporada de estiaje, estudiaron los parámetros fisicoquímicos en agua de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y metales pesados en sedimento, en cuatro descargas principales que recibe la Laguna.

Los metales pesados fueron analizados por fluorescencia de rayos X (FRX), para el caso de los sedimentos, los metales analizados fueron: Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb;

en el agua de las descargas se analizaron: Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Rb, Sr. El metal que tuvo mayor concentración fue el Ti en sedimentos con valores de: 5415 mg/kg, 3692 mg/kg, 3729 mg/kg, 3151 mg/kg desde la descarga 1 a la 4 respectivamente. En la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados, los resultados indicaron que estos se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) indicados en la NOM 001 SEMARNAT 1996, sobre todo en grasas y aceites.

Finalmente Serrano en 2016 caracterizó el agua al centro y orillas de la Laguna de Chimaliapan analizando 18 parámetros del Índice de Calidad del Agua (ICA), los resultados demostraron una mayor contaminación en los puntos cercanos a las descargas de aguas residuales y que esta contaminación se ha distribuido a lo largo de la Laguna, debido a que ciertos contaminantes como Coliformes Fecales se encontraron en puntos alejados de la orilla de la Laguna, los resultados mostraron una mayor contaminación durante la temporada de estiaje para la mayoría de los parámetros evaluados. El estudio reveló que el agua es apta para la preservación de la vida acuática, excepto en los puntos cercanos a la descarga.

Todos los estudios anteriores sobre la Laguna son la información preliminar que se tiene, por el momento, para utilizarla como punto de partida de este proyecto y realizar nuevas investigaciones, con la finalidad de darle continuidad a trabajos previos sobre la zona de estudio.

Es así que el principal objetivo de este trabajo es evaluar la contaminación en el agua de los tributarios hacia la Laguna de Chimaliapan, durante la temporada de estiaje y lluvias para comparar los resultados obtenidos contra la NOM-001-SEMARNAT-1996. Entre los objetivos específicos se encuentran; Realizar el muestreo compuesto de cada una de las descargas de la Laguna en temporada de estiaje y lluvias, analizar cada una de las muestras determinando los parámetros fisicoquímicos en agua y sedimentos y la carga de los contaminantes.



# 1. FUNDAMENTOS

## 1.1 Los humedales

Los humedales se consideran zonas en donde el agua es el principal factor que controla y regula el ambiente, la fauna y la vegetación asociada. Existen en donde la capa freática se encuentra en o cerca de la superficie del terreno o donde el terreno está cubierto por agua (RAMSAR, 2016).

La Ley de Aguas Nacionales 2014, define a los humedales como zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos.

### 1.1.1 Clasificación de los Humedales

RAMSAR reconocen cinco tipos de humedales principales:

- Marinos (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral)
- Estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares)
- Lacustres (humedales asociados con lagos)
- Ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos) y
- Palustres (es decir, “pantanosos” - marismas, pantanos y ciénegas).

### 1.1.2 Funciones de los humedales

López (2013), clasifica a las funciones de los humedales en tres categorías:

**I. Hidrológicas:** incluye la descarga de aguas subterráneas, control de inundaciones y protección de la ribera contra la erosión (Torres, 2005).

**II. Bioquímicas:** un número de importantes procesos bioquímicos son favorecidos en los humedales debido a las aguas poco profundas, producción primaria alta, sedimentos anaerobios y aerobios, además de que ayuda a remover basura por lo que se consideran limpiadores naturales de dichas aguas (Mitsch y Gosselink, 2000).

**III. De hábitat:** está referida a la fauna y vegetación. Numerosos humedales son grandes ecosistemas productivos, que soportan a un gran número de especies, como peces, reptiles y anfibios; dependiendo exclusivamente del hábitat del humedal. Las especies utilizan los humedales sólo en pequeños periodos de su ciclo de vida y algunos casos lo usan como fuente de agua y de alimento (Campos, 2011) además, fungen como zonas de desove, desarrollo y reclutamiento de invertebrados y peces, siendo consideradas zonas de anidación para aves migratorias (Halpin, 2000).

En lo que respecta a la comunidad vegetal, se encuentra entre los grandes ecosistemas productivos en el mundo. La producción de biomasa y la aportación de carbono orgánico forman parte de la cadena alimenticia (Mitsch y Gosselink, 2000). De acuerdo al listado de humedales de importancia internacional de RAMSAR, en la actualidad existen más de 2,200 sitios registrados en todo el mundo. México ocupa el segundo lugar de los países con más sitios registrados con un total de 142 humedales, después de Reino Unido con 170 humedales registrados.

Los humedales son amortiguadores naturales y actúan como los “riñones de la naturaleza” al reducir la contaminación del agua derivada de nutrientes, metales

pesados, materia orgánica, entre otros. Esto se logra a través de procesos de sedimentación, filtración, inmovilización física y química, interacciones microbianas y la absorción por la vegetación (UNAM, 2009). La importancia de la conservación y manejo sustentable de los humedales radica en la riqueza biológica y los servicios ambientales que éstos prestan, tales como: almacenamiento del agua, conservación de los acuíferos, purificación del agua mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; protección contra tormentas y mitigación de inundaciones; estabilización de litorales y control de la erosión (CONAGUA, 2014).

## 1.2 El agua en México

El agua es un recurso indispensable no sólo para vivir, sino para llevar a cabo una gran cantidad de actividades industriales, agrícolas, ganaderas y domésticas. Los recursos hidrológicos incluyen las aguas interiores o continentales como ríos o lagos, y las oceánicas, que abarcan al medio marino y costero. Ambos recursos son susceptibles de contaminación por la gran cantidad de desechos que se depositan directamente en ellos o en forma indirecta cuando son arrastrados por la lluvia (Granados *et al.*, 2014).

El agua es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios. El Registro Público de Derechos del Agua (REPDRA) clasifica los usos del agua en cinco rubros, los cuales se mencionan a continuación; Agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida, energía eléctrica excluyendo la hidroeléctrica y por último la hidroeléctrica.

En cuanto a los usos que se le dan al agua, el mayor volumen se destina al riego agrícola (83%); el 12% al abastecimiento público; el 3% a las industrias autoabastecida y el 2% a la generación de energía. En México el uso del agua ha

aumentado enormemente como consecuencia del crecimiento poblacional y del auge de las actividades industriales y, por tanto, también se ha incrementado el volumen de aguas residuales (CONAGUA, 2014).

### **1.2.1 Uso en riego agrícola**

El mayor uso del agua en México es el agrícola. con base en el Censo Agropecuario, de 2007, la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.2 millones de hectáreas, de las cuales 18% era de riego y el resto tenía régimen de temporal.

### **1.2.2 Uso en abastecimiento publico**

El uso agrupado para abastecimiento público consiste en el agua entregada por las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a diversas industrias y servicios. Disponer de agua en cantidad y calidad suficiente para el consumo humano es una de las demandas básicas de la población, pues incide directamente en su salud y bienestar en general.

### **1.2.3 Uso en Industria autoabastecida**

En este rubro se incluye la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Conforme al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) las actividades secundarias, conocidas como “la industria”, están conformadas por los sectores de minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, así como la construcción y las industrias manufactureras.

### **1.2.4 Uso en energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad**

El agua incluida en este rubro se refiere a la utilizada en centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbogas y de combustión interna. De

acuerdo con lo reportado por la Secretaría de Energía (SENER, 2011), en el 2011 las centrales de Comisión Federal de Electricidad (CFE) consideradas en este uso, incluyendo productores externos de energía (PEE) para el servicio público, generaron 230.4 TWh, lo que representó el 89% de la energía eléctrica producida en el país.

### **1.2.5 Hidroeléctricas**

El volumen concesionado para este uso a nivel nacional es de 168 mil millones de metros cúbicos, 10 de los cuales se emplean anualmente cantidades variables a nivel nacional. Las regiones hidrológico-administrativas (RHA) XI Frontera Sur y IV Balsas son las que emplean mayores volúmenes de agua, ya que en ellas se localizan los ríos más caudalosos y las centrales hidroeléctricas más grandes del país. En el 2013 las plantas hidroeléctricas emplearon un volumen de agua de 112.8 miles de millones de metros cúbicos, lo que permitió generar 27.4 TWh de energía eléctrica, que corresponde al 10.6% de la generación del país (CONAGUA, 2014).

## **1.3 Diferentes tipos de contaminación del agua**

Las diferentes actividades realizadas por la población generan desechos diversos, que son las fuentes principales de contaminación de ríos, canales y lagos; lo que se traduce en la desaparición de ciertas especies acuáticas, ya sean vegetales y/o animales. Por otra parte, la descarga directa a cuerpos de agua de las aguas residuales generadas en estas actividades, limita el uso del recurso para los diferentes usos productivos como el riego o la pesca artesanal; el consumo (agua potable) y recreación (De la Peña *et al.*, 2013).

### **1.3.1 Contaminación del agua por desechos industriales**

Conforme evoluciona la civilización, aumentan las necesidades de adquirir diversos productos, y con ello, también se incrementa el número de industrias que compiten

para producir dichos bienes. Desafortunadamente, en México la gran mayoría de esas industrias no cuentan con programas para manejar los desechos que se generan en sus procesos de fabricación y, al no contar tampoco con plantas de tratamiento, depositan sus residuos, en muchos casos tóxicos (plomo, mercurio, cromo, cadmio, entre otros), al drenaje o a cuerpos de agua (Granados *et al.*, 2014).

### **1.3.2 Contaminación del agua por desechos agrícolas**

Debido a la creciente demanda de alimentos, las técnicas de cultivo se han desarrollado notablemente y también se ha incrementado el uso de sustancias químicas, algunas (fertilizantes) con el objetivo de mejorar los nutrientes del suelo, y otras (plaguicidas, insecticidas y herbicidas) para eliminar la fauna o vegetación nociva.

Los fertilizantes pueden ser: orgánicos como el estiércol, el abono verde o la composta; o inorgánicos, que incluyen sustancias químicas derivadas del nitrógeno, fósforo y potasio principalmente. El abuso en la adición de fertilizantes inorgánicos daña al suelo y también al agua, ya que sus componentes son arrastrados hasta los cuerpos de ésta, en donde ocasionan eutrofización (propicia el crecimiento excesivo de algas, vegetales acuáticos y bacterias). A esto se agrega que altos niveles de nitratos (componentes de algunos fertilizantes) son tóxicos y peligrosos para la salud humana debido a que ocasionan daños a los pulmones afectando la función respiratoria (Granados *et al.*, 2014).

### **1.3.3 Contaminación del agua por residuos domésticos**

En este rubro se incluyen todos los residuos desechados por casas, escuelas, comercios, mercados, etc. Se trata de una larga lista de materiales sólidos entre los que se cuentan desechos orgánicos, papel y cartón, pañales desechables, vidrio, plástico, metales o textiles. La basura acumulada en tiraderos abiertos, en

ocasiones es arrastrada por la lluvia, y sus componentes, al descomponerse, llegan a los mantos acuáticos subterráneos y contaminan el agua (CONAGUA, 2014).

#### **1.4 Contaminantes fisicoquímicos**

Los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, se presentan en dos grupos que son los contaminantes básicos y los metales y cianuros. A continuación se enlistan los parámetros que pertenecen a cada grupo.

##### **I. Los contaminantes básicos:**

- Temperatura
- pH
- Grasas y Aceites
- Materia Flotante
- Sólidos Sedimentables
- Sólidos Suspendidos Totales
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Nitrógeno (Amoniacal, Nitritos y Nitratos)
- Fósforo Total

##### **II. Los metales y cianuros:**

- Arsénico
- Cadmio
- Cianuros
- Cobre
- Cromo
- Mercurio
- Níquel
- Plomo

- Zinc

## **I. Contaminantes básicos**

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. Dentro de estos contaminantes básicos encontramos a las grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total, temperatura, conductividad y pH.

### **A) Temperatura**

La temperatura es el potencial o grado calorífico, referido a un cierto cuerpo. La temperatura del agua residual es comúnmente mayor que las aguas de suministro local, debido a la necesidad de agua caliente de los hogares y a las actividades industriales.

Debido a la diferencia entre el valor del calor específico del agua y el del aire, la temperatura observada del agua residual, es superior o mayor a la temperatura local del aire, durante la mayor parte del año. La única excepción se presenta durante los meses más calurosos del verano. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática, como en las reacciones químicas y las velocidades de reacción (Ocampo *et al.*, 2013).

### **B) Grasas y Aceites**

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Las sustancias grasas se clasifican en grasas y aceites. Teniendo en cuenta su origen, pueden ser animales o vegetales.



Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar (URP, 2012).

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son de usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética. La determinación analítica de grasas y aceites no mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia extractable con hexano (Pineda, 2013).

### **C) Materia Flotante**

La expresión materia flotante se refiere a aquellos materiales que se sostienen en la superficie del agua y que influyen en su apariencia. Es un criterio de evaluación de las aguas debido al posible efecto de disposición de sustancias o materiales flotantes en su superficie. Existen varios tipos de sustancias flotantes en las aguas como por ejemplo: los restos de materias vegetales sólidas, las grasas que forman grumos o bolas de grasas en forma emulsión con el agua; la capa finísima, pero apreciable a simple vista por el ojo humano, de líquidos o capas de aceites (Granados, 2014).

### **D) Sólidos Sedimentables**

Los sólidos sedimentables son aquellos sólidos que se sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante una hora. Se determina volumétricamente mediante el

uso del cono Imhoff. Los sólidos sedimentables son los causantes de la turbiedad, debido a que producen la dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua.

### **E) Sólidos Suspendidos Totales**

Son sólidos constituidos por los sólidos sedimentable, sólidos y materia orgánica en suspensión, que son retenidos en el elemento filtrante. Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrante de la muestra de agua natural o residual, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, que posteriormente se seca entre 103°C y 105°C hasta un peso constante. El incremento del peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos (DOF, 2016).

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

Es el parámetro que mide la materia orgánica biodegradable que posee un cuerpo de agua, y la cantidad de oxígeno necesario para su descomposición. La medición expresa, la cantidad de materia orgánica que puede ser consumida u oxidada, por una población de bacterias en una muestra de agua. Se basa en la comparación de oxígeno disuelto, inicialmente en la muestra, con el existente en una muestra similar, después de haber sido incubada por 5 días a una temperatura estandarizada de 20°C. Estos 5 días, son el tiempo estándar destinado, para que las bacterias digieran la materia orgánica presente en la muestra.

Cuando se descargan aguas con DBO alta a un cuerpo de agua, las bacterias y otros organismos disponen de una rica fuente de alimentos, lo que permite que se reproduzcan con rapidez. Las cantidades, cada vez mayores de bacterias, consumen el oxígeno del agua. Si la DBO del efluente es demasiado elevada, o el cuerpo receptor no es capaz de diluirla hasta alcanzar un nivel seguro, la cantidad

de oxígeno disuelto disminuye de tal forma que los peces y otros organismos acuáticos mueren asfixiados (Granados, 2014).

### **G) Nitrógeno amoniacal**

El nitrógeno de amonio es únicamente una porción del nitrógeno total cuyos otros componentes son el nitrógeno de amonio, nitrógeno orgánico, nitrito y nitrato (Serrano, 2016). Se considera que los aportes de vertidos municipales e industriales consumen y alteran el ciclo del nitrógeno en el cuerpo de agua, por lo que el nitrógeno en su forma reducida se encuentra como nitrógeno amoniacal (Ávila *et al.*, 2011).

El nitrógeno total es, la suma de los nitrógenos amoniacal y orgánico presentes en la muestra, y es conocido como Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK). Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales y su exceso en el agua causa la eutrofización.

Las moléculas de nitrógeno se encuentran principalmente en el aire, el agua y los suelos, por lo que se presenta en diferentes formas químicas. Como resultado de esto, los niveles de oxígeno disminuyen rápidamente haciendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos. Además, el nitrógeno también puede contribuir al crecimiento excesivo de algas, lo que, de igual manera, causa una reducción adicional del oxígeno en el agua (Ávila *et al.*, 2011).

### **H) Nitritos**

La nitrificación es el proceso en el que el nitrógeno orgánico y amoniacal se oxida, transformándose primero en nitrito y posteriormente en nitrato. La presencia de nitritos en el agua es un indicio de la contaminación por aguas negras o desechos

animales; también puede existir si los abastecimientos de agua que contienen nitrato entran en contacto con ciertos materiales reductores.

Cuando el agua es usada para preparar alimentos contiene nitritos, se corre el riesgo de que se puedan formar sustancias carcinogénicas llamadas nitrosamina, por combinación con los compuestos de nitrógeno orgánico que se forman a su vez por la descomposición de la proteína presente en los alimentos (Rojas, 2011).

### **I) Nitratos**

Algunas veces el amoníaco del agua proviene de la descomposición de las aguas negras y del escurrimiento agrícola. Este amoníaco se oxida fácilmente a través de la acción de ciertos organismos, formando nitratos; a este proceso se le conoce con el nombre de nitrificación.

En casi todas las aguas naturales existen pequeñas cantidades de nitratos y generalmente su concentración varía de 0 a 70 mg/L. Los nitratos miden la forma oxidada del nitrógeno y es un macro nutriente esencial en el ambiente acuático. Altas concentraciones de nitrato pueden ser peligrosas para la salud y también crear serios problemas en los peces. Este es un parámetro que indica también problemas de contaminación por vertimientos (Serrano, 2016).

### **J) Fósforo Total**

El fósforo generalmente se encuentra como fosfatos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos organofosfatados. Estas formas de fosfatos provienen de una amplia gama de productos y procesos, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, entre otros.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos, en cantidades nocivas. Los fosfatos inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos, que cuando mueren al ser descompuestos por los microorganismos, agotan el oxígeno del agua y hacen imposible la vida de otros seres vivos (Campos, 2011).

## **II. Metales y cianuros**

Los organismos vivos necesitan concentraciones variables de elementos metálicos esenciales, como el hierro (Fe), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el zinc (Zn), el níquel (Ni) y el cobalto (Co), y son indispensables para el correcto funcionamiento de su metabolismo celular. En cambio estos mismos metales pueden resultar tóxicos para los seres vivos cuando están presentes en concentraciones superiores a las necesarias. Asimismo, existen otros elementos que no forman parte del grupo de metales esenciales y son tóxicos para los seres vivos y, en consecuencia, peligrosos para el medio ambiente en concentraciones bajas, entre los que se incluyen principalmente el cadmio (Cd), el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el arsénico (As) (Izquierdo, 2010).

La presencia de metales en el agua puede ser de origen natural o antropogénico. Las fuentes antropogénicas de contaminación por metales son muy diversas, y pueden derivar de actividades domésticas, comerciales e industriales. Algunas de estas fuentes de contaminación son las siguientes: Productos químicos agrícolas, actividades de minería y fundición, cenizas de la combustión de carbón y petróleo de las centrales térmicas, aguas residuales industriales de diversos sectores (industria metalúrgica, fábricas de baterías, sector metal-mecánico, etc.), residuos urbanos e industriales.

El término de “metales pesados” hace referencia a elementos químicos caracterizados por su densidad mayor a la del agua ( $4 \text{ g/cm}^3$  hasta  $7 \text{ g/cm}^3$ ) y que son tóxicos para la salud humana a bajas concentraciones (mercurio, cadmio, arsénico, cromo, talio, plomo, antimonio, aluminio) y tienen acumulación en la cadena trófica (López, 2009). Uno de los principales problemas de los metales pesados es la tendencia de algunos de ellos a bioacumularse y a biomagnificarse (Cruz, 2013). Para este trabajo se determinaron los metales pesados que se indican en la NOM-001-SEMARNAT-1996, los cuales son descritos a continuación.

### **A) Arsénico**

Es un elemento que se encuentra de forma natural, en piedras y en la tierra. Conforme el agua pasa a través y sobre las formaciones geológicas, esta puede disolver el arsénico. Como resultado el arsénico puede estar presente en algunas fuentes de agua.

La exposición al arsénico puede causar efectos adversos a la salud, la severidad depende de la cantidad de arsénico en el agua, la cantidad de agua consumida, el tiempo que se ha tomado el agua y la salud en general de la persona. El arsénico y sus compuestos son extremadamente tóxicos, en especial el arsénico inorgánico. Su ingestión puede causar diarrea, náuseas, vómitos, dolor de garganta y pérdida del conocimiento. Produce erosión de los depósitos naturales de agua, suele estar presente en el agua de escurrimiento de los huertos, en aguas residuales de fabricación del vidrio y de productos electrónicos (Rojas, 2011).

### **B) Cadmio**

Se encuentra principalmente en la corteza terrestre y siempre sucede en combinación con el zinc, contaminando el ambiente a través del suelo, porque se encuentra en estiércoles y pesticidas. La ingestión humana es principalmente por

los alimentos, como son los patés, los champiñones, los mariscos y mejillones, el cacao y las algas secas todos ricos en cadmio. Provoca lesiones renales y está relacionado con el cáncer de próstata. En las aguas residuales puede entrar por la fabricación de metales, por escurrimientos de líquidos de baterías usadas y por derrames de pinturas (Serrano, 2016).

### **C) Cianuros**

Los cianuros son compuestos potencialmente tóxicos, ya que un cambio de pH en el medio, puede liberar ácido cianhídrico, compuesto generalmente asociado con la máxima toxicidad de estos compuestos. Los cianuros pueden ocurrir en forma natural o ser manufacturados; la mayoría son venenos potentes y de acción rápida (Granados, 2014).

Algunas bacterias, hongos y algas pueden producir cianuro. El cianuro se encuentra también, en numerosos alimentos y plantas, por ejemplo las almendras, algunos tipos de frijoles, la soya, la espinaca, los vástagos de bambú y las raíces de mandioca.

Las fuentes principales de cianuro en las aguas son, por la descarga de procesos de extracción de minerales, las industrias de sustancias químicas orgánicas, la manufactura de hierro, aceros y las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales

### **D) Cobre**

El cobre puede ser liberado al medio ambiente, tanto por actividades humanas como por los procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son: las tormentas de

polvo, la descomposición de vegetales y los incendios forestales. Otros ejemplos son: la minería, la producción de metales, la producción de madera y la producción de fertilizantes. Cuando el cobre termina en el suelo, este es fuertemente atado a la materia orgánica y los minerales (Serrano, 2016).

En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos, como en iones libres. El cobre puede encontrarse en muchos alimentos, en el agua potable y en el aire. Absorbemos cierta cantidad de cobre cada día en las comidas, bebidas y en la respiración, porque es un elemento esencial para el hombre. Aunque podemos manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, causa daños a la salud, a corto plazo causa molestias gastrointestinales y a largo plazo causa lesiones hepáticas y renales (Ocampo *et al.*, 2013).

### **E) Cromo**

El cromo es un elemento que ocurre naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos. Se puede encontrar cromo en el aire, el suelo y el agua después de ser liberado por industrias que usan cromo, tales como industrias involucradas en galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles, y en la manufactura de productos en base a cromo.

El cromo también puede ser liberado al ambiente al quemar gas natural, petróleo o carbón. La población, en general, tiene mayor probabilidad de exposición a niveles muy bajos de cromo a través de los alimentos que consumen. Niveles bajos de cromo (III) ocurren naturalmente en una variedad de alimentos tales como frutas, hortalizas, nueces, bebidas y carnes.



El problema de salud más común que ocurre en trabajadores expuestos al cromo involucra a las vías respiratorias. Estos efectos incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante). Los trabajadores también han desarrollado alergias a compuestos de cromo, lo que puede producir dificultad para respirar y salpullido en la piel (ATSDR, 2012).

## **F) Mercurio**

Es un elemento que se puede encontrar en forma natural en el ambiente como sales de mercurio o como mercurio orgánico. Entra al ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos, y su exposición al viento y agua. Las concentraciones de mercurio en el medio ambiente están creciendo debido a la actividad del hombre, a través de la quema de productos fósiles, la minería, las fundiciones y la combustión de residuos sólidos.

La contaminación del agua por mercurio es a causa de las industrias químicas que producen cloro, fungicidas y de pinturas contra hongos, fábricas de plástico, minas de cinabrio (HgS), por la extracción de oro y por las refinerías de petróleo. El mercurio es un posible cancerígeno y es bioacumulable (Izquierdo, 2010).

## **G) Níquel**

Es liberado al aire por plantas de energía y los incineradores de basura. Este se deposita en el suelo o caerá después de reaccionar con las gotas de agua de lluvia, terminando en la superficie del agua cuando forma parte de las aguas residuales. La mayor parte del níquel que es liberada al ambiente, se absorbe por los sedimentos y partículas del suelo, y luego llegarán a inmovilizarse.

Las altas concentraciones de níquel en los suelos arenosos, puede dañar a las planta; en altas concentraciones en las aguas superficiales pueden disminuir el crecimiento de algas y de microorganismos. El agua con mucho níquel puede producir, dolores de estómago, alteraciones de la sangre y riñones, en los animales puede producir cáncer en diferentes partes del cuerpo del animal.

## H) Plomo

En condiciones normales, el plomo no reacciona con el agua. Sin embargo, cuando se pone en contacto con el aire húmedo, la reactividad del plomo con el agua aumenta, en la superficie del metal se forma óxido de plomo ( $\text{PbO}$ ); que en presencia de oxígeno y agua, el plomo metálico se convierte en hidróxido de plomo ( $\text{Pb(OH)}_2$ ).

El plomo y sus compuestos, son generalmente contaminantes tóxicos, las sales de plomo II y los compuestos orgánicos del plomo, son dañinos desde un punto de vista toxicológicos. El plomo limita la síntesis de clorofila de las plantas. No obstante, las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo, hasta 500ppm. Las concentraciones más altas perjudican el crecimiento de las plantas (Rojas, 2011).

El plomo se introduce en la cadena alimenticia por ingestión de plantas. El plomo se acumula en los organismos, en los sedimentos y en el fango. El plomo en el agua residual proviene principalmente de los tejados y de las calles. El cuerpo humano tiene 120 mg de plomo, absorbiendo del 10% al 15% en los intestinos, los síntomas por exposición al plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis, las mujeres son generalmente más susceptibles al envenenamiento que los hombres. El plomo causa alteraciones menstruales, infertilidad y aumenta el riesgo de aborto (Izquierdo, 2010).

## **I) Zinc**

Existe en forma de forma natural en el aire, el agua y el suelo. Sus concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a su uso en las actividades del hombre. La mayoría del zinc se agrega durante actividades industriales, como la minería, la combustión del carbón y sus residuos, y la producción de acero (Serrano, 2016).

Algunos peces pueden acumular zinc en sus cuerpos, cuando viven en causas de aguas contaminadas. Cuando entra a los cuerpos de los peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimenticia. Grandes cantidades de zinc pueden ser encontradas en el suelo, que es soluble en agua, y cuando se localiza en el subsuelo, puede contaminar el agua subterránea. Cuando el hombre absorbe un poco de zinc, puede experimentar pérdida del apetito, disminución de los sentidos, el paladar y el olfato; aparecen pequeñas llagas y erupciones cutáneas (Ocampo *et al.*, 2013).

### **1.5 Contaminantes patógenos y parásitarios**

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna (DOF, 2016).

#### **A) Coliformes Fecales**

Las bacterias de este género se localizan, principalmente, en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero las mismas están ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo, suele deducirse que

la mayoría de los coliformes que se hallan en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre (Medina, 2002).

Tradicionalmente, estos organismos son considerados como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano basados en que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es primordialmente fecal. Por lo tanto, la ausencia de ellos indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; esto es, mientras más coliformes se concentran en el agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces (Torres, 2009).

## **B) Coliformes Totales**

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Coliforme significa con forma de *coli*, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli* (Serrano, 2016).

Los coliformes son una familia de bacterias que están, comúnmente, en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición (Torres, 2009).

### **C) Huevos de helminto**

Es el término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos de vida comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no, y la alternancia compleja de estadíos que incluye hasta tres huéspedes diferentes.

La presencia en aguas residuales de los huevos de helminto es de gran preocupación con respecto a la salud humana. El huevo constituye la etapa contagiosa de los parásitos de Helminto, son excretados en las heces y se extienden a las aguas residuales, en el suelo o en los alimentos. El huevo es muy resistente a las tensiones ambientales y a la desinfección con cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los huevos son estructuras extremadamente resistentes a diversos factores ambientales como temperatura, pH, sequedad, cierto tipo de contaminantes (detergentes, insecticidas, metales tóxicos y sustancias nocivas (Page *et al.*, 2010). Esto es básicamente por las capas de diferente composición química, que conforman a los huevos de los helmintos, siendo tres: una interna de lípidos, otra intermedia de quitina y una externa de proteínas; que le confieren funciones de extrema impermeabilidad para asegurar una baja tasa de pérdida de agua, cuando los huevos son expuestos a desecación; al ataque de agentes químicos y/o al estrés mecánico (Pérez, 2013).

Los helmintos provocan enfermedades denominadas helmintosis y su denominación, así como sintomatología dependerá del género que la ocasione. La infección se inicia cuando un huevo (o en ocasiones la larva) es ingerido al consumir agua y/o alimentos contaminados. El sector de la población más afectado niños

menores de cinco años, que al ser infectados sufren deterioro físico, nutricional y cognitivo (OMS, 2012).

## **1.6 Parámetros complementarios**

Adicional a los contaminantes básicos, metales pesados y contaminantes patógenos y parásitarios se anexaron cuatro parámetros complementarios que no están establecidos sus límites en la NOM-001-SEMARNAT-1996, los cuales se presentan a continuación.

### **A) Demanda Química de Oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO), corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

En el laboratorio la materia orgánica en agua es oxidada por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  bajo condiciones estrictas (en medio de ácido sulfúrico concentrado, y a una temperatura de  $150\text{ }^\circ\text{C}$ ). La cantidad de oxígeno del dicromato usado, es determinada y expresada como DQO.

Para esto se efectúa la oxidación de dicha materia orgánica utilizando agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido. Debido a las condiciones tan drásticas empleadas en la oxidación, prácticamente toda la materia orgánica es oxidada a bióxido de carbono y agua. Substancias que no son fáciles de digerir biológicamente como por ejemplo la lignina, son oxidadas completamente como resultado de los oxidantes empleados y debido a esto los valores de Demanda Química de Oxígeno

DQO son siempre mayores a la DBO<sub>5</sub>, en un agua residual específica (Serrano, 2016).

## **B) Oxígeno disuelto**

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y de cuánto sustento puede dar esa agua a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto (alrededor de 8 mg/L a 12 mg/L) indica una mejor calidad de agua. Si los niveles son demasiado bajos (menor a 4.1 mg/L), algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire, del producto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas y también podría resultar de la turbulencia en las corrientes debido a que el oxígeno en el aire que queda atrapado bajo el agua en movimiento rápido se disuelve en ésta. Otro factor que, además, puede afectar la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua es la temperatura. El agua fría guarda más oxígeno que la caliente (Torres, 2009).

La cantidad de oxígeno disuelto varía con la agitación o turbulencia, con la profundidad de la corriente (el agua superficial será más oxigenada) y la altitud, ya que se considera que la solubilidad es directamente proporcional a la presión. Condiciones de bajo oxígeno disuelto, o hipoxia, se producen en algunos ambientes acuáticos como estuarios, a consecuencia de la combinación de factores químicos y físicos y las repercusiones afectan a diversas especies (Casas, 2012).

## **C) Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas en el agua y la temperatura a la cual se haga la determinación. Este factor está íntimamente relacionado con la suma de los cationes o aniones determinados químicamente y constituye un parámetro básico de evaluación de la aptitud de agua para riego (Serrano, 2016).

### **1.7 Sedimentos**

Los sedimentos son importantes en el transporte de metales en el ciclo hidrológico y su análisis puede reflejar a su vez la calidad actual de los sistemas acuáticos. Se ha observado que las estaciones del año son un factor importante para el transporte de sólidos suspendidos, esto es una función del uso de tierra, como la siembra u otras prácticas agrícolas. En la primavera se genera un decremento en la interceptación de sedimentos y un bajo porcentaje de partículas de naturaleza arcillosa en el transporte de los mismos (García, 2005).

Los depósitos y transporte de sedimentos son un proceso dominante que significativamente influyen en la respuesta ecológica de los sistemas. La acumulación física de sedimentos en depósitos, puede ser un índice importante en la función de los ecosistemas. En la contaminación del agua, los sedimentos son partícipes no solo por su volumen y peso, sino también por el papel que representan como portadores y catalizadores de pesticidas, residuos orgánicos, nutrientes y organismos patógenos, metales, entre otros (García, 2005).



### **1.7.1 Equipo de medición de Sedimentos**

La medición de los sedimentos para determinar la concentración de los metales presentes, se realiza mediante el equipo de Fluorescencia de Rayos X (FRX), a continuación se describe el fundamento de esta técnica y la descripción de su procedimiento.

### **1.7.2 Fundamento de Fluorescencia de Rayos X (FRX)**

Se conoce como el fenómeno de fluorescencia cuando una muestra es irradiada o excitada con fotones o partículas cargadas, esta induce la producción de rayos X característicos de los elementos presentes en la muestra irradiada. A dicha emisión de rayos X característicos se le denomina fluorescencia (Valdez y Jaramillo, 1994).

En Fluorescencia de Rayos X la excitación se lleva a cabo por medio de un haz de fotones que pueden provenir de una fuente de rayos gamma (radioactiva) en un proceso secundario de fluorescencia, o de un tubo de rayos X cuando la radiación incidente interacciona con los átomos de la muestra en cuestión expulsando los electrones de las capas interiores, los electrones llenan las vacantes generadas por la radiación incidente dejando al átomo en un estado de excitación ionizando el átomo a este fenómeno se le conoce como foto eléctrico y la forma de des excitación del átomo se lleva a cabo por medio de la emisión de un rayo X cuya energía es característica del átomo es característica del átomo de dicho elemento .Otro efecto de la radiación con materia es que considerando esta técnica , es el efecto compton al átomo y este sale como electrón compton el resto de la energía incidente se dispersa (Fonseca, 2015).

### 1.7.3 Descripción del sistema de Fluorescencia de Rayos X (FRX)

El sistema de FRX se divide en tres unidades la de excitación, detección y registro, la unidad de excitación suministra energía en forma de rayos X, rayos gamma, electrones acelerados, según las características de la propia fuente (García, 2004). Las unidades de detección se componen de un detector, preamplificador, fuente de alto voltaje y una tarjeta convirtiéndola analógica digital (Fonseca, 2015).

Detector: Para poder convertir la energía de Rayos X a una señal medible se hace uso de los detectores tales como los semiconductores en los cuales la radiación X es absorbida por el cristal generándose una diferencia de potencial eléctrico (Fonseca, 2015).

Preamplificador: Su función es integrar la carga total del pulso proveniente del detector y convertirla en una señal de voltaje que mantenga la proporcionalidad de la energía depositada en el detector, otra función es conservar bajo el ruido electrónico (Fonseca, 2015).

Amplificador: Una de las principales funciones en un análisis de pulsos es expandir el intervalo de voltaje proveniente del preamplificador de tal manera que se tenga una señal que se mida con mayor precisión (Fonseca, 2015).

### 1.7.4 Factor de Enriquecimiento (FE)

El factor de enriquecimiento (FE) ha sido utilizado en estudios de ecotoxicología y química ambiental como marco de referencia. Considera los elementos más abundantes de la corteza terrestre tales como Al, Si y Fe (Stiolyk *et al.*, 2002).

Para determinar las contribuciones de los elementos metálicos naturales y antropogénicos de los sedimentos, se calcula el factor de enriquecimiento (FE), el cual es calculado con la siguiente formula:

$$FE = (Ms/Tis)_{\text{sample}} / (Mo/Tio)_{\text{crust}}$$

Donde FE: Factor de enriquecimiento, Ms: concentración del metal "X" en la muestra, Tis: concentración del elemento conservativo de referencia (Ti), Mo: Concentración del metal "X" en la corteza y Tio: concentración del elemento conservativo de referencia en la corteza (Ti). El titanio es usado como un elemento de referencia debido a su estado conservativo.

El criterio para evaluar el factor de enriquecimiento de los sedimentos es el siguiente:

FE < 1 no enriquecimiento; 1 < FE < 5 enriquecimiento moderado; 5 < FE < 10 enriquecimiento moderado-severo; 10 < FE < 25 enriquecimiento severo; 25 < FE < 50 enriquecimiento muy severo, y FE > 50 enriquecimiento extremadamente severo.

### **1.8 Descarga**

Se define como la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación (DOF, 2016).

### **1.9 Carga contaminante**

Cantidad de contaminante, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales (DOF, 2016).

### **1.9.1 Condiciones particulares de descarga**

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (DOF, 2016).

### **1.10 Muestra compuesta**

La que resulta de mezclar el número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma (DOF, 2016).

## 2. MÉTODO

Para determinar la evaluación de la contaminación del agua, en las descargas de la Laguna de Chimaliapan, Lerma, Estado de México, se realizaron las siguientes actividades:

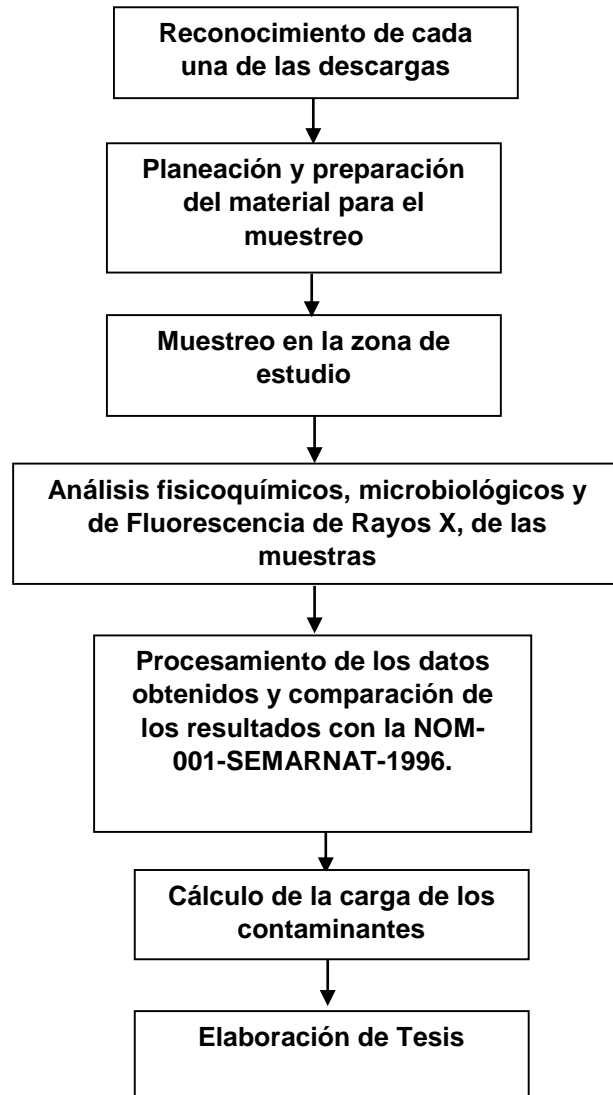


Figura 2.1. Diagrama de Flujo de la metodología del proyecto

## 2.1 Localización de la zona de estudio

Se realizó una visita *in situ* preliminar a la Laguna de Chimaliapan el 25 de febrero del 2016, tomando las coordenadas geográficas con ayuda del GPS, con la finalidad de identificar cuáles son los principales tributarios hacia la Laguna, así como, observar cuales eran las condiciones del terreno, determinar las principales actividades que se ejercen en los poblados aledaños y las horas en los que se registraban mayores flujos en las descargas y por último establecer los puntos de muestreo.

En la figura 2.2 se muestra la localización de la Laguna. Actualmente abarca una extensión localizada entre las coordenadas (Norte, Oeste)  $19^{\circ}14'8''$ ,  $-99^{\circ}29'54''$  y con una superficie de 2081 ha, ocupando parte de los municipios de San Pedro Tultepec, Capulhuac, San Mateo Atenco, San Pedro Tlaltizapan, Lerma de Villada y Ocoyoacac.

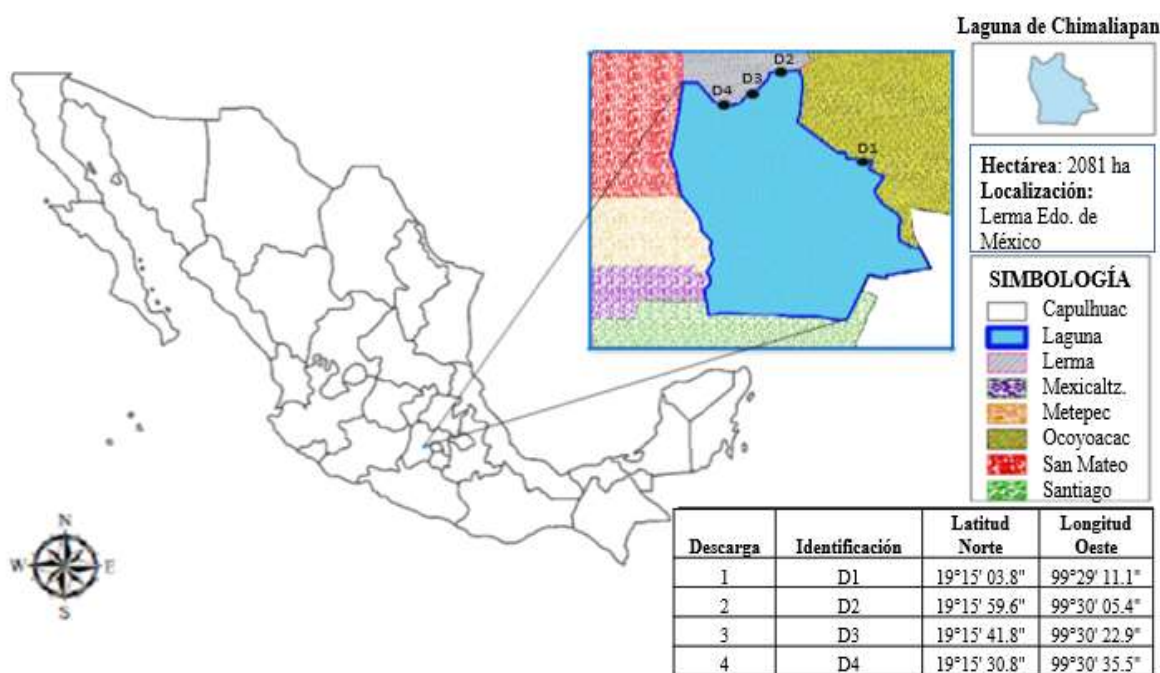


Figura 2.2. Localización de la Laguna de Chimaliapan y sus principales descargas

## 2.2 Identificación de las descargas

De la visita preliminar a la Laguna de Chimaliapan, se identificaron cuatro tributarios principales, los cuales se muestran en la figura 3.2. Las descargas encontradas son de caudal variable todo el año, teniendo una gran influencia las temporadas de estiaje y lluvia.

Para determinar el flujo del caudal, se utilizó el método del flotador, ya que relaciona el área de la sección que conduce agua y la velocidad de escurrimiento.

La metodología fue la siguiente:

- Se eligió un tramo del canal que fuera recto y de sección transversal uniforme, para este caso, se seleccionaron secciones que iban desde 1 a 10 metros, dependiendo de las condiciones de las descargas, donde el agua escurría libremente.
- Para determinar la velocidad del agua en esas secciones, se marcó en el terreno la longitud elegida y se tomó el tiempo que demora un objeto flotador en recorrerla.
- Determinación de velocidad: se dividió la longitud del tramo por el tiempo medido en segundos que tardó el flotador en recorrerla (m/s).
- Un segundo aspecto de este método considera la determinación de la sección o área de escurrimiento del canal. Para ello se empleó un tubo de aluminio de 4m de altura, se secciona en 3 o 4 partes el ancho de la descarga y se sumerge, después se saca del agua y se mide con una cinta métrica hasta donde cubrió el agua el tubo, este paso se repitió para cada sección determinada.

- La sección se determinó calculando el área, para tal fin se utilizó AUTOCAD, se dibujó la forma interna que tiene la descarga y se determinó su área.
- Por último se determina el caudal mediante la multiplicación del área de sección transversal del canal en la descarga por la velocidad de escurrimiento (Villavicencio *et al.*, 2010).

El resultado es expresado en L/s, como se indica en la siguiente expresión:

$$Q = (A) (V)$$

Donde:

Q= caudal (L/s)

A= área de sección transversal (cm<sup>2</sup>)

V= velocidad del flujo (m/s)

### 2.2.1 Descarga 1

La descarga 1, se localiza en las coordenadas (Norte, Oeste) 19°15'03.8", 99°29'11.12", perteneciente a la localidad de San Pedro Cholula y Ocoyoacac. Esta descarga tiene la particularidad de que en la localidad de San Pedro Cholula es un solo canal y siguiendo su trayectoria aguas arriba se encuentra dividida en dos brazos, uno de ellos dirigiéndose al barrio de Santiaguito siendo entubado el canal, el otro brazo se dirige al barrio de Tepexoyuca encontrándose el canal a cielo abierto, ambos barrios pertenecen a Ocoyoacac. En la figura 2.3 se muestra la descarga 1 en temporada de estiaje.





Figura 2.3. Descarga 1, temporada de estiaje

En la temporada de estiaje la descarga 1 presentó una gran cantidad de materia flotante, el caudal promedio fue de 178.63 L/s. En la temporada de lluvias el nivel del agua aumentó, como se observa en la Figura 2.4, el agua se encuentra a un nivel más elevado en comparación con la temporada de estiaje. La materia flotante fue casi inexistente, debido a que una semana antes del muestreo se dragó el canal, eliminando gran cantidad de basura y lirio acuático, por esta razón el cauce de la descarga se ve libre de materia flotante, el flujo promedio fue de 505.18 L/s.



Figura 2.4. Descarga 1, temporada de lluvias

En la figura 2.5 se muestran las dimensiones de la descarga 1 en temporada de estiaje y lluvias, las cuales fueron utilizadas para calcular el área transversal del tributario. El área en temporada de estiaje fue de 3.78 m<sup>2</sup> y en temporada de lluvias de 4.41 m<sup>2</sup>.

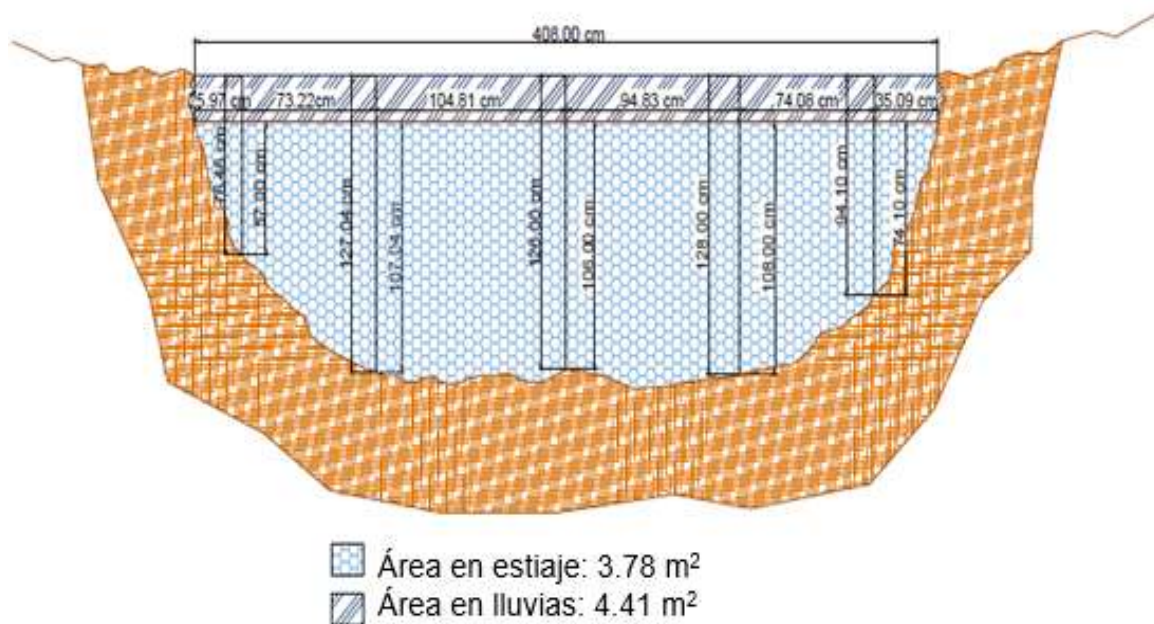


Figura 2.5. Dimensiones de la descarga 1, temporada de estiaje y lluvias

### 2.2.2 Descarga 2

La descarga 2, se localiza en las coordenadas 19°15'59.6", 99°30'05.4", encontrándose a un costado de la calle Vasco de Quiroga en la localidad de San Pedro Tultepec, municipio de Lerma.

El caudal promedio de la descarga 2 para la temporada de estiaje fue de 2.39 L/s. En la figura 2.6 se muestran las condiciones que presentó la descarga 2 el día del muestreo, la estructura de la descarga era variable ya que el cauce del canal no era totalmente recto.



Figura 2.6. Descarga 2, temporada de estiaje

En la temporada de lluvias el área de la descarga 2 fue de  $0.05 \text{ m}^2$ . En la figura 2.7 se muestra la forma exterior del tributario, como se puede apreciar, la materia flotante era muy escasa, solo se alcanzó a percibir cierta capa de grasas y aceites y coliformes fecales, el caudal promedio fue de  $9.28 \text{ L/s}$ .



Figura 2.7. Descarga 2, temporada de lluvias

En la figura 2.8 se muestran las dimensiones (profundidades y longitud) de la descarga 2 en temporada de estiaje y lluvias, que fueron utilizadas para calcular el área del caudal, el área total en estiaje fue de  $0.02 \text{ m}^2$ .



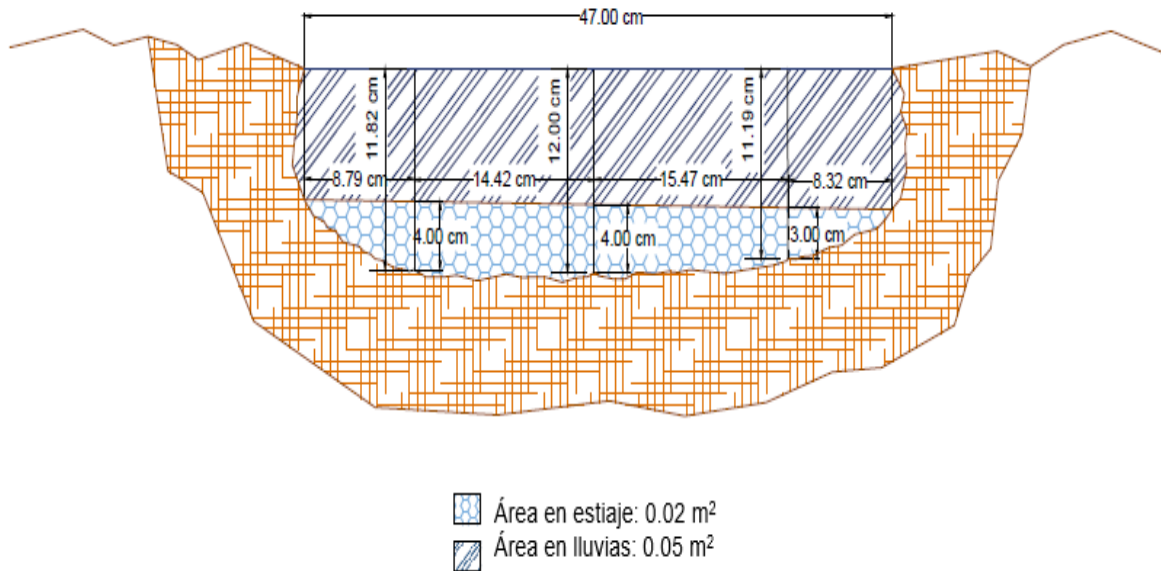


Figura 2.8. Dimensiones de la descarga 2, temporada de estiaje y lluvias

En temporada de lluvias el área del tributario fue de 0.05 m<sup>2</sup>, es decir, hubo un aumento en el área de 0.03 m<sup>2</sup> a comparación del área calculada en la temporada de estiaje.

### 2.2.3 Descarga 3

La descarga 3, se localiza en las coordenadas 19°15'41.8", 99°30'22.9", encontrándose en la calle Vicente Guerrero de la localidad de San Pedro Tultepec en el municipio de Lerma. En estiaje el caudal aproximado promedio fue de 1.95 L/s, en la figura 2.9 se muestra la forma exterior y las condiciones que presentó la descarga 3 el día de muestreo.



Figura 2.9. Descarga 3, temporada de estiaje

En temporada de lluvias el volumen del agua aumentó, como se observa en la figura 2.10, la zona de la descarga está visiblemente más inundada. La materia flotante fue escasa en donde inicia el tributario, pero conforme avanza el cauce, la materia flotante como basura, lirio y heces fecales se va quedando atrapada aguas arriba, el caudal promedio calculado fue de 11.35 L/s.



Figura 2.10. Descarga 3, temporada de lluvias

En la figura 2.11 se muestran las dimensiones de la descarga 3, que se utilizaron para calcular el área del caudal. El área total en temporada de estiaje fue de  $0.01\text{m}^2$  y en temporada de lluvias de  $0.11\text{m}^2$ .

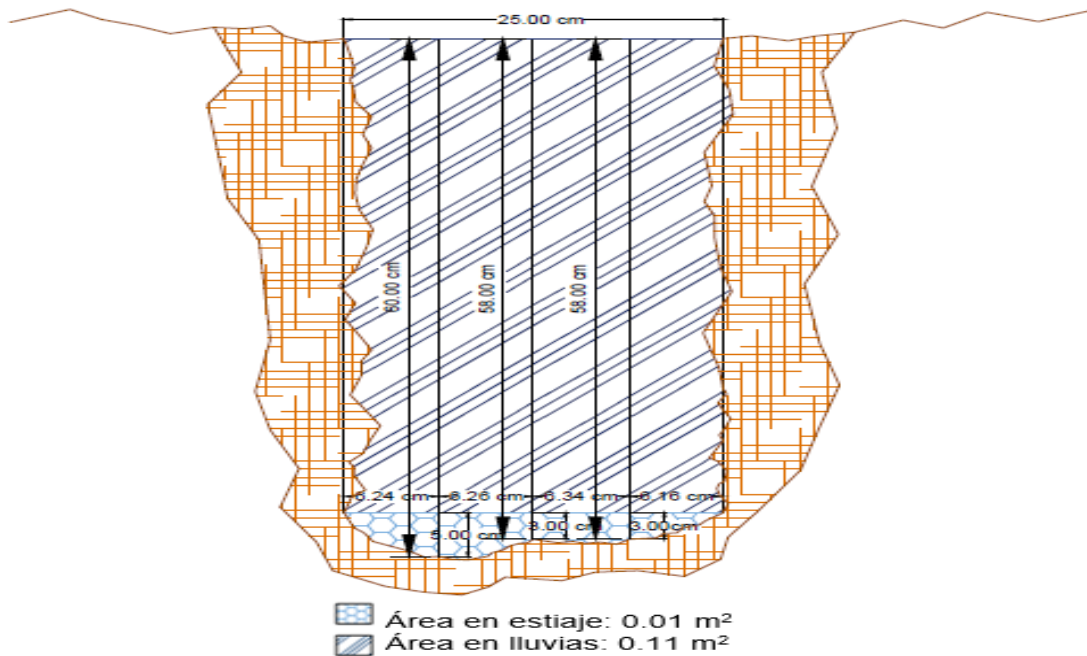


Figura 2.11. Dimensiones de la descarga 3, temporada de estiaje y lluvias

#### 2.2.4 Descarga 4

La descarga 4, se localiza en las coordenadas  $19^{\circ}15'30.8''$ ,  $99^{\circ}30'35.5''$ , al final de la calle Lázaro Cárdenas en la localidad de San Pedro Tultepec, del municipio de Lerma. En la figura 2.12 se muestran las condiciones que presentó el tributario, como se observa, la materia flotante fue abundante, entre la que se encontró basura como plásticos, madera, material de construcción, entre otros. El caudal promedio en estiaje fue de  $34.17\text{L/s}$ , mientras que para la temporada de lluvias el caudal aumentó a  $86.48\text{L/s}$ .





Figura 2.12. Descarga 4, temporada de estiaje

En la figura 2.13 se muestran las condiciones de la descarga 4 el día del muestreo, como se puede ver, existe menor cantidad de materia flotante, esto se debe a que días antes del muestreo hubo limpieza del canal.



Figura 2.13. Descarga 4, temporada de lluvias

Las dimensiones de la descarga y el área transversal utilizada para calcular el caudal en las dos temporadas se presenta en la figura 2.14.

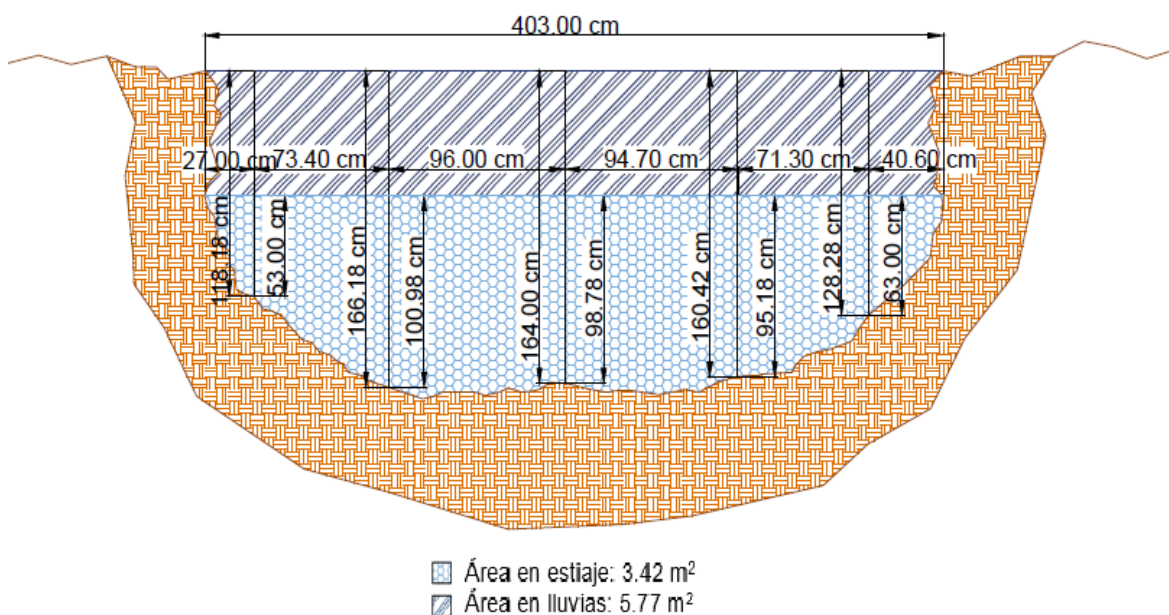


Figura 2.14. Dimensiones de la descarga 4, temporada de estiaje y lluvias

### 2.3 Preparación del material de muestreo

La preparación del material de muestreo se realizó del 22 de febrero al 9 de marzo del 2016, para ello, se consideraron las normas mexicanas aplicables a cada parámetro.

Todos estos recipientes, se lavaron y esterilizaron debidamente. Por otra parte, se elaboró una solicitud con los reactivos, equipos y material de laboratorio necesarios para los análisis fisicoquímicos y biológicos, la cual fue entregada a la jefatura del Laboratorio en Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) para que proporcionaran todos los elementos necesarios para los análisis.

Dentro del material de campo se encuentran las cuerdas, tinas de plástico, cubetas, una pala, hieleras, una draga tipo ponar, ácidos (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub>) suficiente hielo y el equipo de medición *in situ* Schott Instruments handylab LFII, este último, fue previamente calibrado con el fin de evitar errores en las lecturas efectuadas.



#### **2.4 Muestreo de agua y sedimento en las descargas**

Se establecieron dos temporadas de muestreo, la primera corresponde a la temporada de estiaje y la segunda a la temporada de lluvias, con la finalidad de ver como varían las concentraciones de los contaminantes de acuerdo al nivel de agua que presenten las descargas en dichas temporadas. En la visita preliminar se seleccionaron cuatro descargas principales (ver apartado 3.2) y se observó que los flujos varían dependiendo de la descarga, en alguna descarga el flujo mayor se presentó en la mañana y en otras después de las 12:00 h. Partiendo de esta información, se planeó un muestreo compuesto que abarcará dichas horas, por lo cual, el muestreo se realizó en un horario de 7:00 a 19:00 h, el día 14 de marzo de 2016 para la temporada de estiaje y el día 19 de septiembre de 2016 para la temporada de lluvias.

Se tomaron 3 muestras simples para integrar una muestra compuesta de cada parámetro en intervalos de 3 h entre cada recolecta de muestra, considerando el flujo (ver 2.2.1 hasta 2.2.4). Las muestras de agua se recolectaron en recipientes de polietileno o vidrio según lo que aplica para cada parámetro, posteriormente se preservaron con los reactivos correspondientes.

Para los coliformes fecales se utilizaron bolsas de plástico especiales sin preservadores y para los huevos de helminto se recolectó la muestra en recipientes de polietileno de 5 L sin preservadores. Todas las muestras fueron almacenadas en hieleras a una temperatura de 2 °C, todo lo anterior en base a las normas correspondientes a cada parámetro.

En la tabla 2.1 se muestran las características de los recipientes para cada parámetro, los preservadores, condiciones de almacenamiento y la caducidad de las muestras.

Tabla 2.1. Tipos de recipientes para la toma de muestras y condiciones de preservación

Parámetro	Recipiente y volumen	Caducidad	Preservador	Temperatura	Muestra Compuesta/simple
Sólidos sedimentables	Frasco de polietileno o vidrio con tapa de boca ancha. >1L	24 h/7 días.	N.A.	2 °C a 8 °C	Muestra compuesta
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Envase de polietileno o vidrio. 1 L	24 h.	N.A.	4°C	Muestra compuesta
Fósforo total	Envase de polietileno. 500 mL	28 días.	N.A.	4°C	Muestra compuesta
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Frasco de polietileno con tapa de boca ancha. 600 mL	24 h/7 días.	N.A.	4°C	Muestra compuesta
Nitritos	Frascos de vidrio o polietileno	24 h	N.A.	4 °C ± 2 °C	Muestra compuesta
Nitratos	Frascos de vidrio o polietileno	48 h	N.A.	4 °C ± 2 °C	Muestra compuesta
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Envase de polietileno. 500 mL	28 días.	Ácido sulfúrico hasta pH < 2.	4°C	Muestra compuesta
Nitrógeno total	Envase de polietileno de 500 mL	30 días, en condiciones de obscuridad.	Ácido sulfúrico (1:1) a un pH de 1,0 a 2,0.	4 °C ± 2 °C	Muestra compuesta
Grasas y aceites	Frasco de vidrio de boca ancha y de 1L	30 días	Ácido clorhídrico 1:1 a un valor de pH de 2 o menor.	4 °C ± 2 °C.	Muestra simple

\*N.A.: La categoría no aplica al parámetro

Tabla 2.1. Tipos de recipientes para la toma de muestras y condiciones de preservación (continuación)

Parámetro	Recipiente y volumen	Caducidad	Preservador	Temperatura	Muestra Compuesta/Simple
Metales y cianuros	Envase de polietileno de 500 mL	6 meses. Para mercurios de 28 días.	Ácido nítrico Concentrado hasta obtener un pH < 2.	4°C	Muestra compuesta
Coliformes totales	Bolsas especiales de 300 mL	24 horas	0.1mL de solución de tiosulfato de sodio al 1%	4°C	Muestra simple
Huevos de helminto	Garrafones de plástico de 5 L	48 h	N.A.	4 °C ± 2 °C	Muestra simple
Materia flotante	Recipiente con boca ancha de 3L	N.A.	N.A.	N.A.	Muestra simple
Temperatura	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Muestra simple
pH	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Muestra simple
Conductividad eléctrica	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Muestra simple
Oxígeno disuelto	N.A.	N.A.	N.A.	4°C	Muestra simple
Sedimentos	3kg	N.A.	N.A.	N.A.	Muestra compuesta

\*N.A.: La categoría no aplica al parámetro

Los parámetros *in situ* medidos fueron materia flotante, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura y pH, los cuales se midieron con el equipo Schott Instruments handylab LFII. Una vez recolectadas las muestras, se trasladaron al laboratorio de Físicoquímicos servicios y Microbiología servicios del Laboratorio en Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) y las muestras de sedimentos y metales pesados en agua fueron trasladadas al laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) para su análisis. Solo para el caso de las muestras de huevos de helminto se trasladaron al laboratorio ARVA S.A de C.V.

#### **2.4.1 Muestreo de sedimentos**

La toma de muestras de sedimentos se realizó en las mismas fechas del muestreo de agua para las temporadas de estiaje y lluvias. Se tomaron tres muestras simples para cada descarga a diferentes horas del día. Los sedimentos fueron tomados del fondo de las descargas a distintas profundidades con una draga tipo ponar, posteriormente se homogenizaron e integraron a una muestra compuesta de un peso aproximado de 3 Kg, después se depositaron en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas y se almacenaron en hieleras a una temperatura de 4°C para su posterior tratamiento en el ININ.

#### **2.5 Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos**

Para cada parámetro físicoquímico y microbiológico a analizar, como lo indica la NOM-001-SEMARNAT-1996, se cuenta en México con Normas Oficiales Mexicanas (NMX), que establecen los procedimientos de muestreo, el tratamiento de las muestras y la técnica para analizarlas. Debido a que son varios los parámetros a determinar, a continuación en la Tabla 2.2, solo se presentan los parámetros que se analizaron, la normatividad aplicable y el principio de la norma.

Tabla 2.2. Parámetros fisicoquímicos y normatividad vigente

PARÁMETRO	NORMATIVIDAD APLICABLE	MÉTODO
<i>In situ</i>		
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013	Sensor de Temperatura con potenciómetro
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	Potenciometrico
<i>Ex situ</i>		
Grasas y aceites	NMX-AA-005-SCFI-2013	Extracción Soxhlet
Materia flotante	NMX-AA-006-SCFI-2010	Cualitativo, observación de la materia flotante mediante una malla de 3mm
Sólidos Sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2013	Sedimentación en cono Imhoff
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Gravimétrico
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	NMX-AA-028-SCFI-2001	Electrométrico, medidor de Oxígeno disuelto
Nitrógeno Total Kjeldahl	NMX-AA-SCFI-2010	Volumetrico, Kjeldhal
Fósforo total	NMX-AA-029-SCFI-2001	Espectrofotométrico
Metales pesados (As, Cd, CN <sup>-</sup> , Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn).		Fluorescencia de rayos X
Coliformes fecales y totales	NMX-AA-42-1987	Filtración por membrana

Tabla 2.2. Parámetros fisicoquímicos y normatividad vigente (Continuación)

Huevos de helminto	NMX-AA-113-SCFI-2012	Este método de análisis se basa en la diferencia de densidades entre los huevos de helminto, las demás sustancias presentes en las aguas residuales, y las que se agregan para permitir la separación. El método comprende los procesos de sedimentación, flotación, decantación y la técnica bifásica para recuperar los huevos de helminto y efectuar el conteo.
Parámetros complementarios		
Oxígeno disuelto (OD)	NMX-AA-012-SCFI-2001	Electrométrico
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	Electrométrico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030-SCFI-2001	Volumétrico, reflujo cerrado

## 2.6 Análisis de Fluorescencia de Rayos X de metales en agua y sedimentos

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece un método para el análisis de metales en agua, sin embargo, este método es muy tardado y ocupa más reactivos, por lo cual se optó por emplear el método de Fluorescencia de Rayos X, el cual, es un método más simplificado y proporciona un mayor análisis de metales presentes en agua y sedimentos.

### 2.6.1 Tratamiento de las muestras de sedimentos

Secado: cada muestra se secó a temperatura ambiente por dos semanas.

Tamizado y molido: el sedimento seco se tamizó y molió en un mortero de ágata para trabajar con la fracción menor a 0.149 mm.

Homegeneizado: después se homogeneizaron perfectamente durante 10 minutos en una homogeneizadora marca SPEX, modelo 8000 mixer.

Empastillado: se pesaron 2.0 g de muestra y se depositó en un troquel de 3.75 cm de diámetro marca SPEX aplicándole una fuerza de 7 ton/cm<sup>2</sup> durante 3 minutos empleando una prensa marca CARVER modelo C, y se depositó en un portamuestras para su análisis por fluorescencia de Rayos X en energía dispersiva.

Las muestras obtenidas, fueron procesadas en el laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

### **2.6.2 Análisis por Fluorescencia de Rayos X**

Las pastillas de sedimento se analizaron por triplicado, utilizando para ello, un detector de Silicio-Litio con un preamplificador integrado marca Ortec, con resolución de 185 Ev a 5.9 KeV: un multicanal Norland: una fuente de altovoltaje y un amplificador marca Ortec: una computadora Silicon Valley 386 con coprocesador matemático; y dos fuentes de Plutonio 238 como sistema de excitación. Se obtuvieron las áreas de los elementos de interés por medio del programa AXIL. La concentración de los metales se obtuvo aplicando el método de patrón externo de corrección por compton, el patrón certificado empleado fue el Soil 7 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

### 3. RESULTADOS

El procesamiento de los datos de los análisis fisicoquímicos, biológicos y de fluorescencia de rayos X, se interpretaron en base a la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y al acuerdo CE-CCA-001/89 que establece los criterios ecológicos de calidad del agua, considerando el límite máximo permisible mensual para Humedales y para la protección de la vida acuática en agua dulce, respectivamente.

Para los parámetros de grasas y aceites, coliformes totales, coliformes fecales y huevos de helminto, se analizaron muestras simples debido a que para estos parámetros las normas correspondientes no indican que se puede aplicar la muestra compuesta, por lo tanto los resultados que se reportan son el promedio, para los demás parámetros si aplica la muestra compuesta y por lo tanto, un resultado único.

#### 3.1 pH

El pH expresó la intensidad de la condición ácida o alcalina en el agua de la descarga. En la siguiente figura 3.1 se observan los valores de pH para las temporadas de estiaje y lluvias, dichos valores se mantienen dentro de los límites máximos y mínimos que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 de 10 a 5 unidades respectivamente. En la temporada de estiaje se obtuvieron resultados con tendencia más hacia la acidez, el valor menor lo presenta la descarga 3 con un valor de 5.97 y el valor más alto corresponde a la descarga 4 con 6.82. Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO<sub>2</sub> disuelto desde la atmósfera proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del manto del suelo (Medina, 2002).



En la temporada de lluvias los valores de pH aumentaron para las 4 descargas teniendo una tendencia hacia la alcalinidad debido a la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos, la descarga que presentó el menor valor fue la descarga 4 con 6.89 y la de mayor valor fue la descarga 3 con 8.38.

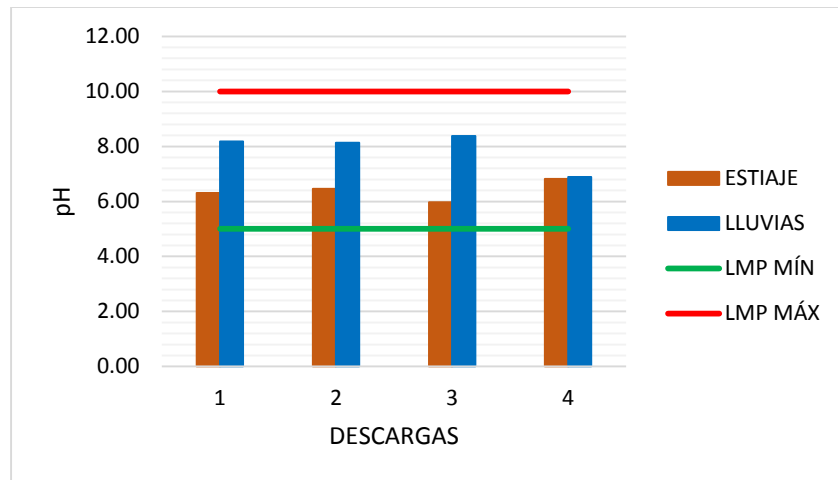


Figura 3.1. pH en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El pH es un parámetro importante pues se relaciona de modo cercano con la productividad biológica del sistema y puede ser afectado por la actividad antropogénica: descargas de aguas no municipales, escorrentías agrícolas y deposición atmosférica de sustancias que forman ácidos (Ramos *et al.*, 2012).

### 3.2 Temperatura

En la figura 3.2 se presentan los resultados obtenidos de la temperatura en las cuatro descargas en temporada de estiaje y lluvias, el límite máximo permisible mensual para humedales que establece la norma es de 40°C, ninguna de las descargas excede dicho valor, por lo cual se considera que la temperatura en las 4 descargas es apta para la preservación de la biota.

En la temporada de estiaje se presentaron bajas temperaturas en relación a la temporada de lluvias, la máxima fue de 20.66°C para la descarga 2 y la mínima de

16.56°C para la descarga 4, mientras que en la temporada de lluvias el valor máximo se presentó en la descarga 3 con 23.53°C y el mínimo fue de 17.50°C para la descarga 1.

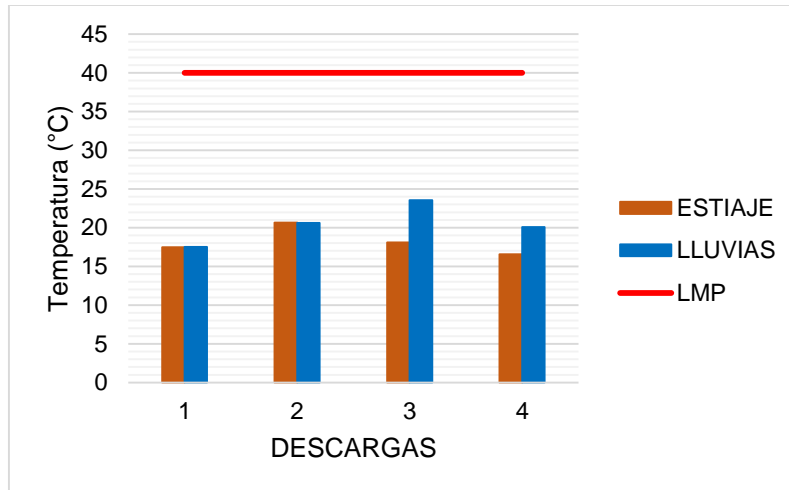


Figura 3.2. Temperatura en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

La temperatura normal de las aguas negras es ligeramente mayor que la del agua de abastecimiento, a causa de calor agregado durante la utilización del agua (Enríquez, 2008). La temperatura en las descargas tiende a incrementarse conforme transcurren las horas, es decir, en la mañana suele ser más baja la temperatura a comparación de la tarde, esto es debido a la reflexión de la energía del sol y posiblemente a todos los residuos líquidos que se vierten desde las microempresas y hogares a los desagües, aumentando la temperatura en el transcurso del día.

### 3.3 Conductividad

La conductividad fue uno de los parámetros medidos *in situ*. Los resultados se representan en la figura 3.3. En temporada de estiaje el valor mínimo registrado fue para la descarga 1, con un total de 749  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el máximo fue de 1566  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la descarga número 4, en la temporada de lluvias la conductividad se redujo debido al aumento del volumen de agua en el caudal, siendo la descarga 2 la de mayor

conductividad con 842.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la descarga 1 fue la de menor valor con 237.90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En nuestro país no existe un límite máximo permisible para la conductividad en relación a humedales o la protección de vida acuática en cuerpos de agua dulce, por lo cual, no hay un punto de comparación para este parámetro. Los valores altos de conductividad permiten la complejación de metales dando el elevado contenido salino y por tanto de aniones complejantes, beneficiando de esta forma la movilización de metales al solubilizarse (Enríquez, 2008). En las aguas naturales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, los carbonatos, los sulfatos y los cloratos (Tamani, 2014).

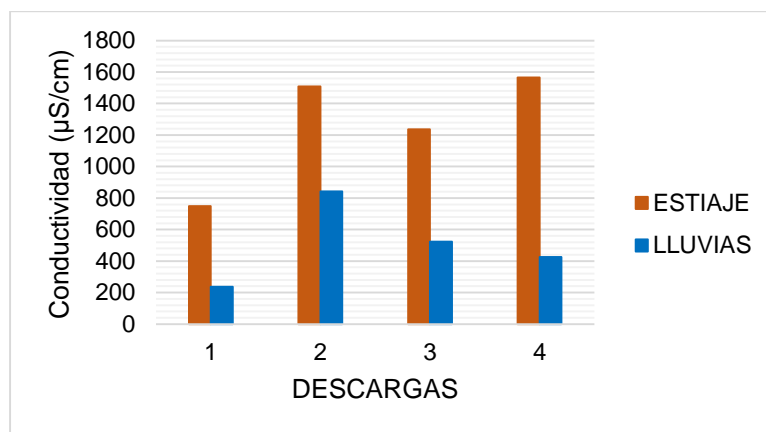


Figura 3.3. Conductividad en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 3.4 Materia flotante

En temporada de estiaje todas las descargas presentan una capa de materia flotante. La descarga que mayor cantidad de materia flotante tuvo fue la número uno, seguida de la descarga número cuatro, dentro de la materia flotante se encuentran basura en general, restos de animales e insectos, plásticos, unicel, vegetación flotante, entre otros. Las descargas número dos y tres, presentan una mínima cantidad de materia flotante, entre las que se encuentran heces fecales, plásticos, grasas y aceites.

En la temporada de lluvias la cantidad de materia flotante cambio de abundante a escasa en todas las descargas. En la descarga 1, la materia flotante no estuvo presente debido a que una semana antes dragaron el canal, quitando toda la basura que antes había. En la descarga 2 y 3 al inicio de las descargas solamente se percibía una capa de heces fecales, grasas y aceites pero conforme avanza el cauce de la descarga, la materia flotante se va quedando atrapada aguas arriba. Por último en la descarga 4 tampoco existía materia flotante ya que días antes hubo limpieza del canal y la presencia de heces fecales disminuyó. En la tabla 3.1 se presenta la comparación de la materia flotante en las dos temporadas de estudio.

Tabla 3.1. Descargas que presentan materia flotante

Descarga	Materia Flotante en Estiaje	Materia Flotante en Lluvias
Descarga 1	Presente	Ausente
Descarga 2	Presente	Ausente
Descarga 3	Presente	Ausente
Descarga 4	Presente	Ausente

### 3.5 Sólidos Sedimentables (SS)

Los SS de la descarga número uno está dentro del límite máximo permisible de 1mL/L con 0.25 mL/L, las descargas dos, tres y cuatro rebasan el límite establecido con 4.7 mL/L, 15 mL/L y 19 mL/L respectivamente. Este parámetro está asociado con la turbidez del agua, así como con la presencia de coloides, materia orgánica e inorgánica como microorganismos, arcillas, entre otros. En la figura 3.4 se presentan los resultados obtenidos.

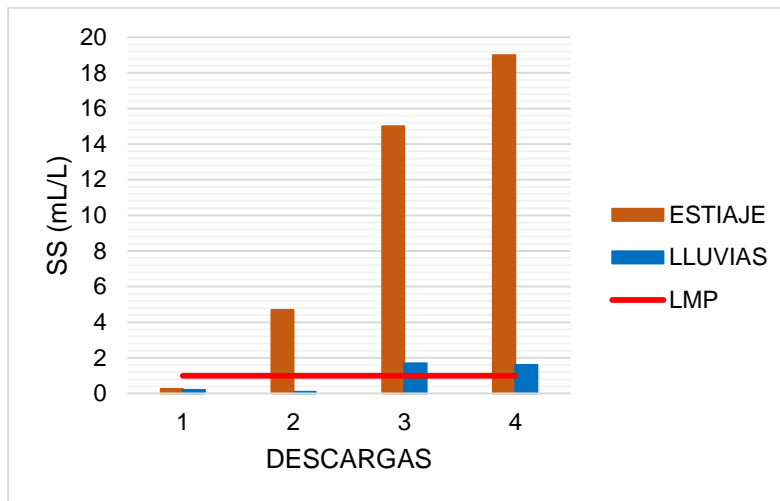


Figura 3.4. Sólidos Sedimentables en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 3.6 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los resultados obtenidos se presentan en la figura 3.5. Los valores más altos se presentaron en temporada de estiaje, siendo la descarga 4 la que obtuvo la concentración más elevada con 3,610 mg/L y la de menor concentración fue la descarga 1 con 180 mg/L. En temporada de lluvias las concentraciones disminuyeron en los cuatro tributarios, la descarga 2 fue la que presentó la concentración más alta con 216.7 mg/L y la de menor concentración fue la descarga 3 con 74.7 mg/L.

El límite máximo permisible que establece la norma es de 75 mg/L, el cual es excedido por todas las descargas en temporada de estiaje, mientras que en temporada de lluvias solamente la descarga 3 está dentro de este límite. Una de las posibles razones por las cuales se presentaron elevadas concentraciones de este parámetro es debido a que en los sitios que elaboran productos cárnicos y de los mataderos se caracterizan por los altos niveles de  $\text{DBO}_5$ , DQO, nitrógeno, sólidos suspendidos, grasas, residuos sólidos y altas temperaturas (Vivas *et al.*, 2013), existiendo una gran cantidad de este tipo de unidades económicas dentro de San Pedro Tultepec, Ocoyoacac y las demás localidades cercanas a la Laguna, que

vierten los residuos al sistema de alcantarillado sin ningún tratamiento previo. Así mismo, la manipulación de alimentos genera aguas residuales, caracterizadas por contener cargas elevadas de sólidos en suspensión, materia orgánica, grasa y pesticidas (Correas *et al.*, 2002).

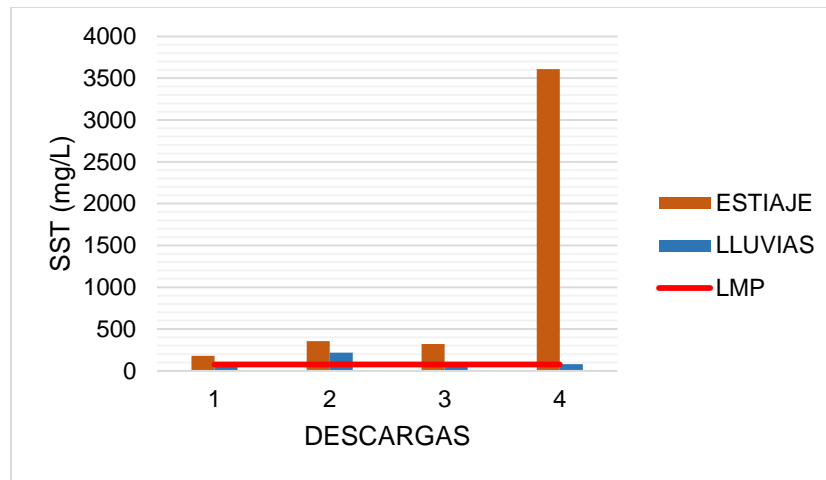


Figura 3.5. Sólidos Suspendedos Totales en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El incremento de los niveles de sólidos suspendidos totales en los cuerpos de agua afecta la diversidad de la vida acuática ya que causan la turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática natural (Serrano, 2016). La presencia de concentraciones altas de SDT en el agua procede de fuentes naturales, aguas residuales, y escorrentía urbana (OMS, 2003).

### 3.7 Oxígeno Disuelto (OD)

En la figura 3.6 presenta los resultados de oxígeno disuelto. Los niveles de oxígeno disuelto registrados *in situ* para la temporada de estiaje fueron de 2.10 mg/L para la descarga 1, para la descarga número 2, 3 y 4 presentaron el mismo valor de 3.40 mg/L. En la temporada de lluvias las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyeron en las descargas 2, 3 y 4 siendo la descarga 4 la que menor

concentración presentó con 0.50 mg/L y la descarga 1 aumentó su concentración con 3.47 mg/L.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 no establece un límite para este parámetro, aunque el acuerdo CE-CCA-001/89 establece los criterios ecológicos de calidad del agua propone un valor mínimo de 5 mg/L para la protección de la vida acuática de los cuerpos de agua dulce, cómo se observa en la figura 4.7, este valor no es alcanzado por ninguna de las descargas en las dos temporadas de estudio. Estos valores se consideran no aptos para la conservación de la vida acuática en la Laguna de Chimaliapan.

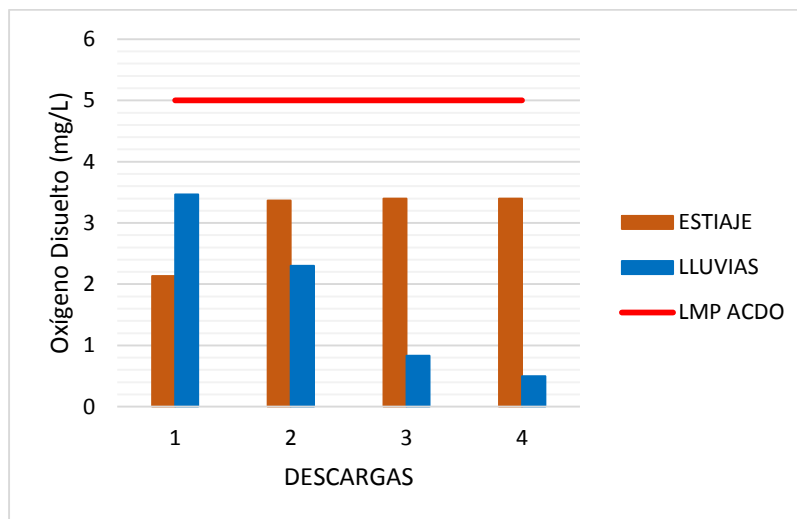


Figura 3.6. Oxígeno disuelto en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en las temporadas de estiaje y lluvias puede deberse a diversos factores como la presencia de materia orgánica o de material inorgánico parcialmente oxidado (Posada *et al.*, 2013); otro factor es la temperatura, que puede afectar la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua, el agua fría guarda más oxígeno que la caliente (Torres, 2009). La escases de oxígeno disuelto puede localizarse donde la materia orgánica está en descomposición, lo que significa que las bacterias utilizan el oxígeno para

descomponer el desecho, también son bajas en aguas tibias de lento movimiento (Sardiñas *et al.*, 2006).

En el caso de la Laguna, en la temporada de lluvia se registró un aumento de la temperatura en las 4 descargas, lo cual influyó en las escasas concentraciones de oxígeno disuelto, por el contrario en la temporada de estiaje, las temperaturas fueron más bajas, por lo cual hubo un ligero aumento en el oxígeno disuelto en el agua, además, la DBO<sub>5</sub> y DQO presentó altas concentraciones en ambas temporadas, y es de esperarse que los niveles de OD sean bajos, pues se sabe que niveles altos de DQO o DBO<sub>5</sub> inciden en valores bajos de OD (CONAGUA 2011). El contenido de oxígeno de las aguas naturales también varía con la temperatura del agua, la salinidad, el grado de turbulencia, la actividad fotosintética y la presión atmosférica (Ramos *et al.*, 2012).

### 3.8 Fósforo Total

La NOM-001-SEMARNAT-1996 no establece un límite máximo permisible de fosforo total para humedales, pero existe un límite permisible para la protección de la vida acuática en aguas dulces en el acuerdo CE-CCA-001/89 que establece los criterios ecológicos de calidad del agua, el cual dice que los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/L en influentes a lagos.

Los valores reportados en la figura 3.7 muestran que las cuatro descargas exceden este límite en las temporadas de estiaje y lluvias; en la temporada de estiaje la mayor concentración se presentó en la descarga 2 con un valor de 17.95 mg/L y la menor concentración fue para la descarga 1 con un valor de 4.64 mg/L. En la temporada de lluvias la menor concentración la sigue presentando la descarga 1 con 2.38 mg/L y la mayor concentración la obtuvo la descarga 3 con 6.37 mg/L.



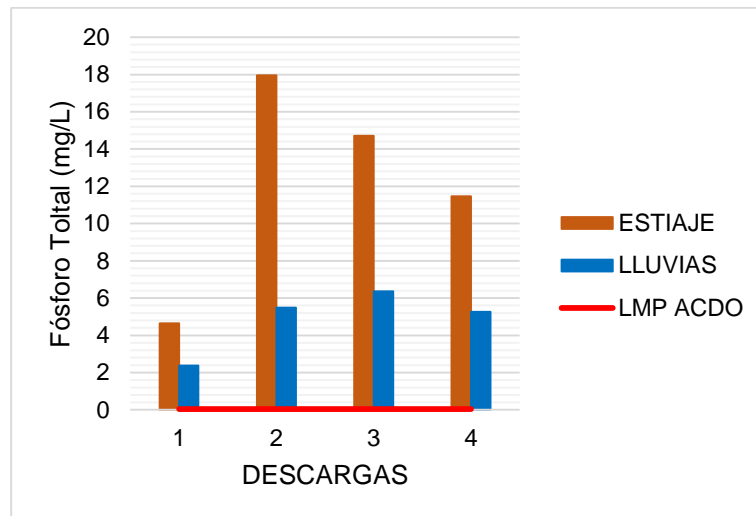


Figura 3.7. Fósforo Total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Las elevadas concentraciones de fósforo puede deberse a diversos factores, ya que el fósforo se encuentra presente en las aguas residuales domésticas principalmente como consecuencia del uso en detergentes o como parte de las excreciones humanas; las heces y la orina humanas están compuestas entre el 3,0 y el 5,4% y entre el 2,5 y el 5,0% respectivamente por fósforo, en la forma de  $P_2O_5$ . Las concentraciones típicas del nutriente en las AR domésticas suele oscilar entre 6 y 20 mg/L en la forma de fósforo total (Teixeira *et al.*, 2013).

Los productos de limpieza que contienen polifosfatos, los cuales son vertidos desde los hogares a los sistemas de drenaje y desembocan en las descargas que alimentan la Laguna, así como también por fertilizantes o escorrentías agrícolas debido a que alrededor de la Laguna se localizan una gran variedad de zonas de cultivo. Otras causas podrían ser la lixiviación de las rocas portadoras de fósforo, la degradación metabólica de las proteínas, la eliminación de fosfatos presentes en la orina y por último debido a precipitación atmosférica (Wu, 2009).

### 3.9 Nitrógeno Total

Se tomó como referencia el acuerdo CE-CCA-001/89 considerando el límite máximo permisible para la protección de la vida acuática en aguas dulces debido a que la NOM-001-SEMARNAT-1996 no establece un límite para humedales. En la figura 3.8 se presentan los resultados para Nitrógeno total en las dos temporadas de muestreo.

Las concentraciones obtenidas en las dos temporadas (estiaje y lluvias) superan el límite máximo permisible. En la temporada de estiaje la descarga número uno presentó la concentración más baja de las 4 descargas con 3.67 mg/L y la mayor concentración fue la de la descarga número tres con 17.46 mg/L. En el segundo muestreo las concentraciones de Nitrógeno total aumentaron en las descargas 2, 3 y 4. La descarga con menor concentración fue la 1, con 3.11 mg/L y la de mayor concentración fue la descarga 2 con 30.60 mg/L.

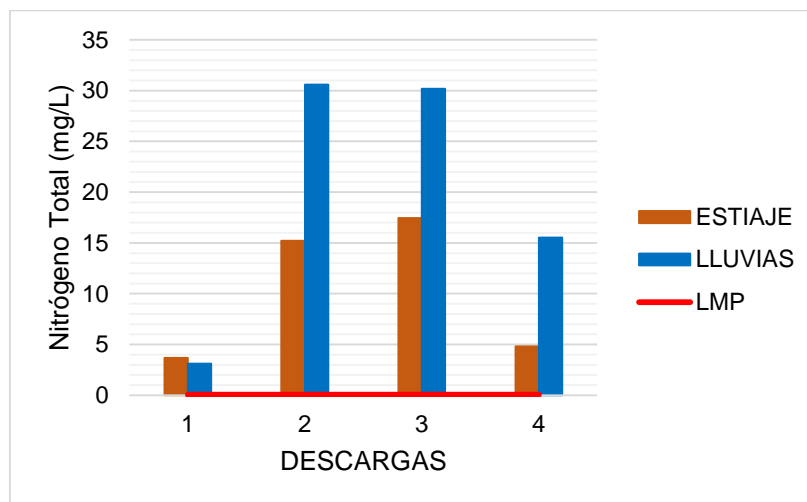


Figura 3.8. Nitrógeno Total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El enriquecimiento del agua por nutrientes se debe a dos fuentes: la primera de origen natural, siendo este un proceso lento; la segunda por actividades humanas,

donde se incrementa drásticamente la concentración de nutrientes (Nyenje *et al.*, 2010). Dentro del aporte en el incremento de nutrientes por actividades humanas se encuentran como fuentes principales, las escorrentías que contienen nutrientes y plaguicidas proveniente de áreas dedicadas a la agricultura, además del vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales (Abella y Martínez, 2012).

La presencia de Nitrógeno en el agua puede ser debido al uso de fertilizantes agrícolas con contenido de nitrógeno orgánico proveniente de las zonas agrícolas cercanas a la Laguna, también por desechos animales y municipales cercanos a las descargas. Las altas concentraciones de este parámetro en la cuatro descargas, también pueden estar asociadas a que los efluentes provenientes del proceso de matanza contienen elevadas concentraciones de materia orgánica, coliformes totales, sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo, representando una mezcla compleja de proteínas, compuestos orgánicos y grasas, como lo reportan Carrasquero *et al.*, en el 2015. La problemática asociada a la presencia de los nutrientes (N y P) radica ante todo en la eutrofización de corrientes naturales, entre las que se cuentan los lagos y embalses (González y Saldirraga, 2008).

### **3.10 Nitritos**

En el caso de nitrógeno de nitritos no existe un límite máximo permisible para humedales en la NOM-001-SEMARNAT-1996, existe el acuerdo CE-CCA-001/89 que establece los criterios ecológicos de calidad del agua, sin embargo, tampoco se tiene un límite máximo permisible para la protección de la vida acuática de los cuerpos de agua dulce. En la figura 3.9 se muestran las concentraciones obtenidas para este parámetro en las temporadas de estiaje y lluvias.

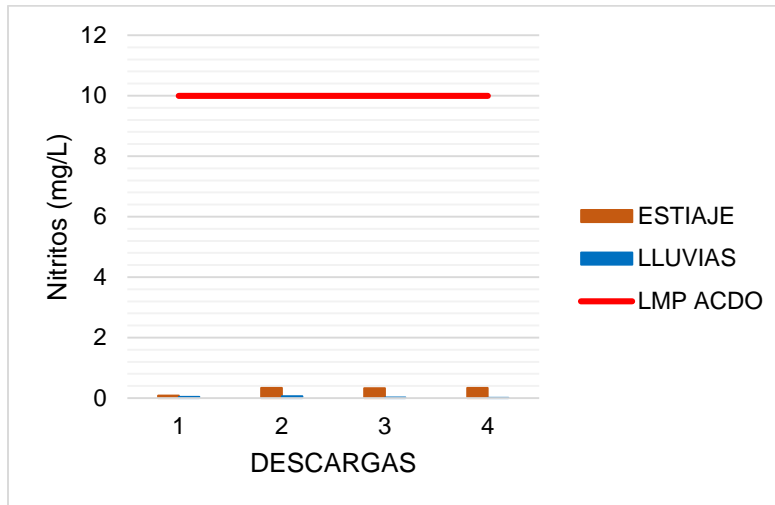


Figura 3.9. Nitritos en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En la temporada de estiaje la menor concentración se presentó en la descarga 1 con 0.09 mg/L y las descargas con mayor concentración fueron la descarga 2 y 4 con 0.34 mg/L. En la temporada de lluvias las concentraciones disminuyeron, siendo la descarga 4 la de menor concentración con 0.01 mg/L y la descarga 2 la de mayor concentración con 0.06 mg/L.

Los nitritos no son aceptables en las aguas potables, proceden de la oxidación incompleta del amoníaco y de la reducción bacteriana incompleta de los nitratos, el agua que contenga nitritos puede considerarse como agua contaminada por materia fecal (Valadez, 2013). Las condiciones de las zonas cercanas a las descargas que pueden favorecer un incremento en las concentraciones de nitritos son: la contaminación por materia orgánica, ya que genera el crecimiento de bacterias del género *Nitrosomonas*, su presencia es generalmente indicadora de procesos activos biológicos en el agua ya que es fácilmente convertido en Nitrato (Medina, 2002).

### 3.11 Nitratos

Para este parámetro no se reportan valores en la temporada de estiaje debido a que el método de la NMX-AA-079-SCFI-2001 establece una condición la cual indica que hay que restar dos veces la lectura de absorbancia a 275 nm ( $A_{275}$ ) de la lectura de absorbancia a 220 nm ( $A_{220}$ ). Si el valor de la lectura a 275 nm es mayor del 10% del valor de la lectura a 220 nm, este método no es aplicable.

Se realizaron múltiples diluciones en las muestras de las descargas para la temporada de estiaje, para corregir la interferencia de materia orgánica disuelta al momento de la lectura con el espectrofotómetro, sin embargo, las absorbancias a 275 nm eran mayores al 10% de las absorbancias a 220 nm, por lo que este método no fue aplicable al tipo de agua de las descargas de la Laguna. En la temporada de lluvias se lograron obtener lecturas debido a que las muestras estaban menos cargadas de sólidos y materia orgánica, la menor concentración se presentó en la descarga 1 con 2.764 mg/L y la mayor concentración fue de la descarga 2 con 13.525 mg/L. A continuación en la figura 3.10 se presentan los valores obtenidos para la temporada de lluvias.

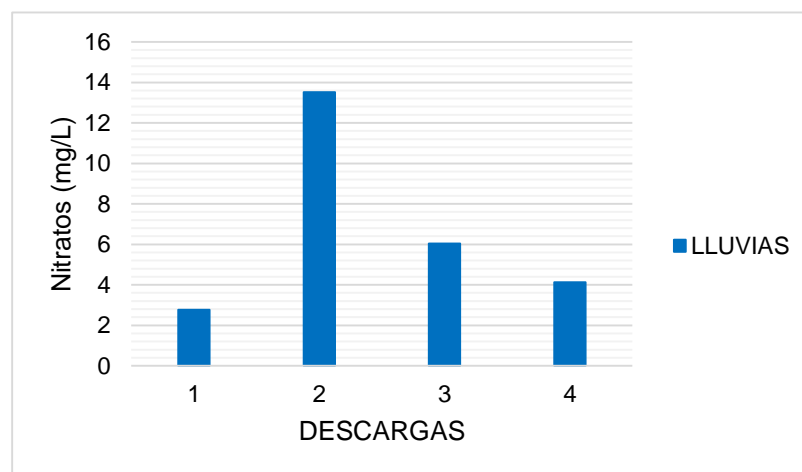


Figura 3.10. Nitratos en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares (Valadez, 2013). Sin embargo, el nitrato también puede provenir del agua residual para riego, descomposición de materia orgánica vegetal y animal, precipitación y deposición seca (Cortes, 2011); el principal problema en el medio ambiente del Nitrógeno y sus diferentes formas es la eutrofización del agua; la agricultura es considerada como la fuente antropogénica de nitrato más sustancial (Hatfield y Follett, 2008).

### 3.12 Grasas y Aceites

Los valores de Grasas y Aceites se presentan en la figura 3.11. El límite máximo permisible establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 15 mg/L. En la temporada de estiaje las cuatro descargas rebasan esta concentración, siendo la descarga 2 la que presentó la mayor concentración de este parámetro con 459.78 mg/L y la menor concentración fue para la descarga 1 con 34.55 mg/L, cuando se realizó el muestreo, se observó en las descargas dos, tres y cuatro la presencia de una capa de grasa que corría a lo largo del caudal, especialmente en la descarga dos, esta capa se presentó en las tres muestras simples.

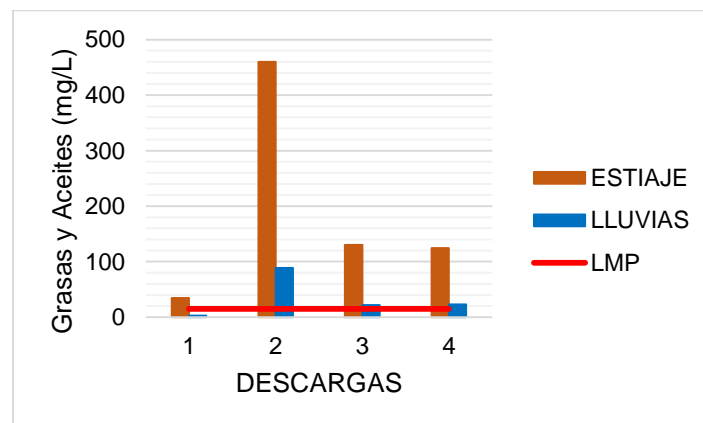


Figura 3.11. Grasas y Aceites en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En la temporada de lluvias las descargas 2, 3 y 4 superaron nuevamente el límite máximo permisible y la única descarga que estuvo dentro de los valores de la norma fue la descarga 1 con 2.69 mg/L. Las concentraciones disminuyeron notablemente en las 4 descarga debido al aumento del agua en los caudales, lo cual diluyó las grasas y aceites. De acuerdo a estos resultados se determinó que la Laguna está contaminada con grasas y aceites, este parámetro es importantes debido a que influye en el intercambio de gases del agua con la atmosfera, se creé que la presencia de este parámetro en el agua está relacionada a los aceites de unidades económicas como fondas, vulcanizadoras, talleres de autos, casas, entre otros, que son vertidos en el drenaje.

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son: los usos domésticos, los talleres automotrices y motores de lanchas y barcos, la industria del petróleo, los rastros, las procesadoras de carnes y la industria cosmética. Pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua, esto reduce la reoxigenación a través de la interface aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando así la actividad fotosintética (Escobar, 2014). Algunas de estas grasas y aceites son altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría y permanecen en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas que son difíciles de metabolizar por las bacterias por lo que éstas flotan, formando una película densa en el agua (Vidales *et al.*, 2010).

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

En la figura 3.12 se presentan los valores obtenidos de DBO<sub>5</sub> para las 4 descargas en las dos temporadas analizadas, en la temporada de estiaje el valor de la DBO<sub>5</sub> en la descarga 4 es el más alto, con una concentración de 449.47 mg/L, y la descarga 1 fue la que presentó la menor concentración de DBO<sub>5</sub> con 119.26 mg/L. En la temporada de lluvias las concentraciones de este parámetro disminuyeron

debido a un proceso de dilución en la columna de agua, la mayor concentración se presentó en la descarga 2 con 184.95 mg/L. Todos los anteriores valores están por encima del límite máximo permisible para humedales señalado por la NOM 001 SEMARNAT 1996 que es de 75 mg/L.

Cuando los niveles de  $\text{DBO}_5$  son altos, los niveles de oxígeno disuelto serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad (Yáñez, 2014). La  $\text{DBO}_5$  es un indicador del contenido de la materia orgánica presente, por ésta razón, era de esperarse un valor alto en las muestras tomadas directamente de las descargas de agua residual.

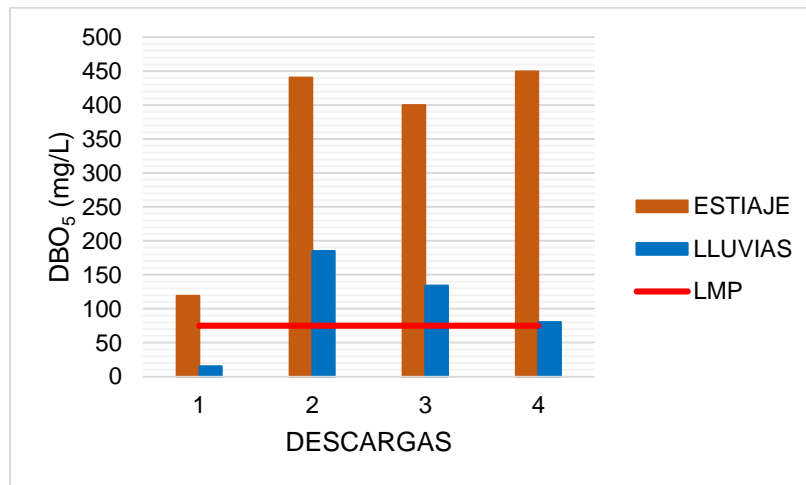


Figura 3.12.  $\text{DBO}_5$  en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 3.14 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se consideró como parámetro adicional a la Demanda Química de Oxígeno con el propósito de conocer el contenido total de materia orgánica no biodegradable de las muestras de la Laguna. El límite máximo permisible para DQO en aguas destinadas a la preservación de vida acuática no está reportado en la NOM-001-SEMARNAT-1996 por lo que se consideró el límite de la NOM-067-ECOL-1994, el cual establece un valor de DQO hasta de 200 mg/L promedio diario.



En la figura 3.13 se hace la comparación de los valores obtenidos de la DQO para las descargas de la Laguna en las dos temporadas (estiaje y lluvias), con el valor de 200 mg/L. En la temporada de estiaje las 4 descargas rebasan el límite máximo permisible, la descarga con mayor concentración de DQO fue la descarga 2 con 2086.06 mg/L y la de menor concentración fue la descarga 1 con 396.40 mg/L. En la temporada de lluvia con el aumento de la cantidad de agua en las descargas, las concentraciones de DQO disminuyeron, la descarga 1 y 4 presentaron las concentraciones más bajas con 52.27 mg/L y la descarga 2 volvió a presentar la mayor concentración de DQO con 888.62 mg/L.

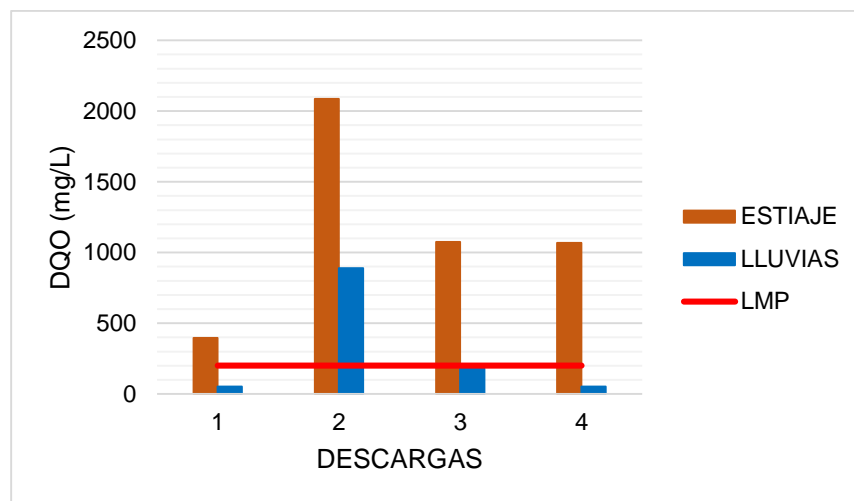


Figura 3.13. DQO en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En general la DQO es mayor que la DBO, ya que existe una mayor cantidad de compuestos que pueden ser químicamente oxidados que compuestos que puedan oxidarse biológicamente (Ojeda y Sarmiento, 2000). En la Tabla 3.2 se establecen ciertos criterios que relacionan la concentración de DQO con la calidad del agua.

Tabla 3.2. Criterio de calidad de agua en función de la DQO (SEMARNAT, 2005)

Criterio	Clasificación	Color
DQO < 10	Excelente. No contaminada	Azul
10 < DQO ≤ 20	Buena calidad. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	Verde
20 < DQO < 40	Aceptable. Con un indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarillo
40 < DQO < 200	Contaminada. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	Naranja
DQO > 200	Fuertemente contaminada. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	Rojo

De acuerdo a los criterios de la calidad del agua los valores de las 4 descargas en la temporada de estiaje entran en el rango de “fuertemente contaminada”, mientras que para la temporada de lluvias la descarga 1, 3 y 4 se clasifican como “contaminada” y la descarga 2 como “fuertemente contaminada”. Los altos valores de DQO suponen la presencia de aguas residuales provenientes de microempresas cercanas a la Laguna. Se debe considerar que este criterio solo toma en cuenta la calidad del agua en función de la materia orgánica presente y no incluye los demás parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua.

### 3.15 Coliformes Fecales (CF)

Para determinar la contaminación por patógenos se toma como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales es de 1000.00 UFC/mL, su valor depende de la cantidad de materia fecal presente en el agua pero es deseable que no estén presentes si el

agua es utilizada para consumo humano. En la temporada de estiaje la descarga más contaminada es la descarga 3 con 111,333.33 UFC/100 mL, y la menos contaminada fue la descarga 1 la cual obtuvo un valor de 33,000.00 UFC/100 mL.

En la temporada de lluvias los valores se incrementaron para todas las descargas. La descarga 2 fue la menos contaminada con 950,000.00 UFC/100 mL y la más contaminada fue la descarga 3 con 218,333.33 UFC/100 mL. El incremento de coliformes fecales en temporada de lluvias se debe a los valores obtenidos de pH y temperatura. En la figura 3.14 las cuatro descargas sobrepasan el límite establecido en la norma en las dos temporadas de estudio, las altas cantidades de coliformes fecales están asociadas a materia fecal proveniente de origen municipal y de origen animal. Alrededor de las descargas se observó la presencia de animales como perros y vacas que pudieron aportar contenido de materia fecal.

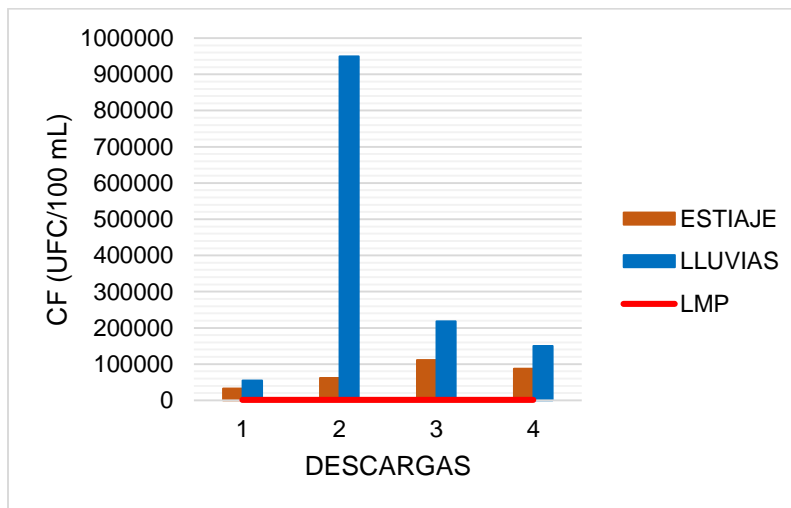


Figura 3.14 Coliformes Fecales en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En los estudios de Ramos *et al.*, 2008, se establece que la variación temporal de los agentes microbiológicos han fluctuado con tendencia al acenso a través del tiempo, especialmente en época de altas precipitaciones. Por su parte, Calvo y Mora 2015, encontraron que el contenido de coliformes fecales durante la época seca es

tal que permite el uso de esos ríos para actividades recreativas de contacto primario, mientras que en la época de lluvias, el contenido de coliformes fecales superó los niveles de permisibilidad para poder efectuar actividades recreativas. Hernández en 2008, detectó coliformes fecales en sus muestras de agua a un pH arriba de 7.5 y con agua no clorada, en estos estudios también se observa que a mayor temperatura, mayor es la reproducción de los coliformes fecales.

### **3.16 Coliformes Totales (CT)**

En la figura 3.15 se muestran los resultados obtenidos para coliformes totales. Al no existir un límite máximo permisible para este parámetro en nuestro país, se tomó como referencia el criterio establecido por Darner 1998 que estipula un límite de 10000.00 UFC/100 mL para contacto terciario (paisajismo), criterio que coincide con los estándares de calidad del agua en Puerto Rico. Al igual que con los coliformes fecales, se puede observar contaminación en las cuatro descargas analizadas ya que rebasan el criterio establecido en las dos temporadas.

En la temporada de estiaje la descarga que presentó menor cantidad de coliformes totales fue la descarga 1 y la que obtuvo mayor cantidad fue la descarga 2 con 129,000.00 UFC/100 mL y 451,666.67 UFC/100 mL respectivamente. En la temporada de lluvias disminuyó la presencia de coliformes totales en las descarga 1 con un valor de 22,333.33 UFC/100 mL y en la descarga 2 con una cantidad de 346,666.67 UFC/100 mL, lo que se observa el intervalo mayor en estiaje en comparación con el intervalo para lluvias.

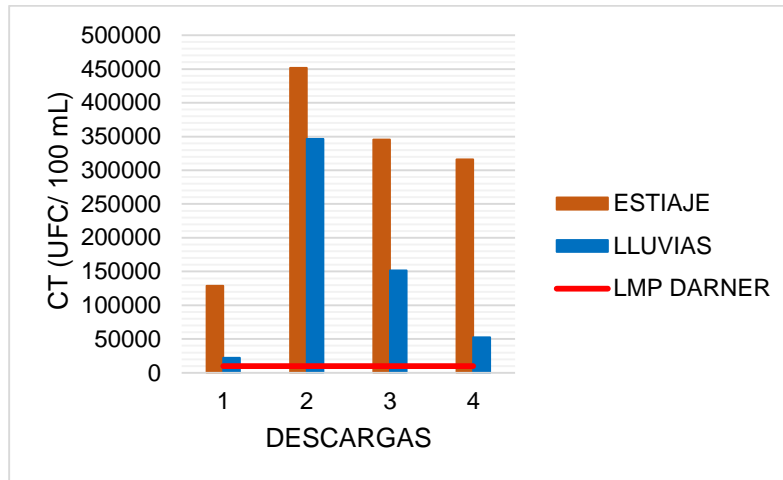


Figura 3.15. Coliformes Totales en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Los altos niveles de coliformes totales indican que tienen un origen dulceacuícola, estos valores están asociados con la gran cantidad de materia orgánica generada por el aporte constante de desechos domésticos (Becerra, 1995). Los niveles de coliformes fecales pueden traer como consecuencia enfermedades de transmisión hídrica causadas por protozoarios que se encuentran en las heces de las personas infectadas y que pueden ser fuente de contaminación del agua.

La presencia de estos organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar asociarse con enfermedades gastrointestinales por el consumo directo de verdura, hortalizas o animales domésticos criados en el ambiente de la laguna. El agua residual vertida en suelos agrícolas, especialmente aquellos que cultiven hortalizas de consumo crudo, llevan el riesgo de contaminarlas con alguna bacteria patógena poniendo en riesgo la salud humana (Villa, 2007).

#### **4.17 Huevos de Helminto**

El límite máximo permisible que marca la Norma es de un huevo de helminto por litro, los resultados de los análisis microbiológicos en temporada de estiaje y de lluvias dieron un valor menor a la unidad por litro para todas las descargas, por consiguiente, el agua de las descargas de la Laguna se considera libre de contaminación por parásitos.

No se observaron huevos de helminto, por lo que se reduce el riesgo de contraer enfermedades por estos organismos parasitarios a través del agua, suelo o alimentos como frutas o verduras. Lo cual es favorable para la salud humana de la población cercana a la Laguna, debido a que las enfermedades provocadas por los huevos de helminto reducen la calidad de vida al hospedero al tener variaciones nutricionales, implicaciones en el desarrollo y mental. En nuestro país, las instituciones de salud pública (IMSS e ISSSTE) ubican a la Helmintiasis (infestación por uno o más organismos de tipo gusanoide) dentro de las primeras 20 causas de cuadros clínicos (Ximénez, 2010).

A nivel mundial se estima que cinco millones de personas presentan esta enfermedad a niveles extremos (hiperhelminthiasis e hiperparatosis), mientras que a nivel moderado (sin presentar sintomatología) son entre 800 y 1,100 millones y el 80% de la población lo padece a nivel ligero (Magaña, 2011).

#### **3.18 Metales en Agua**

Los metales en agua fueron analizados por la técnica de Fluorescencia de Rayos X, los metales analizados fueron Titanio, Cromo, Manganeso, Hierro, Níquel, Cobre, Zinc y Plomo, a continuación se muestran los resultados para cada metal.

### A) Titanio

Para este metal no se cuenta con un límite máximo permisible, en temporada de estiaje la descarga 3 presentó una concentración mayor de 25.7 mg/L y la menor concentración se obtuvo en la descarga 4 con 0.05 mg/L, en la temporada de lluvias la concentración más alta se presentó en la descarga 2 con 2.74 mg/L y la mínima fue para la descarga 3 con 0.44 mg/L, en la figura 3.16 se muestra los valores obtenidos en las dos temporadas.

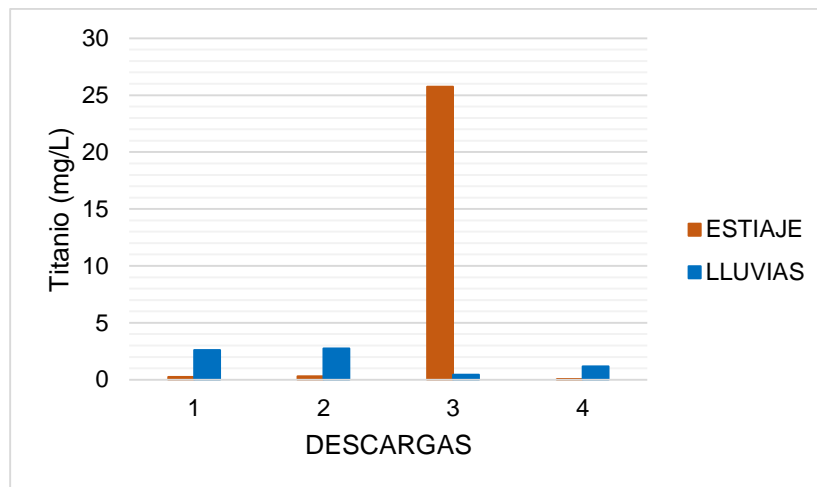


Figura 3.16. Titanio en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El dióxido de titanio se utiliza mucho como un pigmento blanco en pinturas exteriores por su gran poder de recubrimiento, su opacidad al daño por la luz UV y su capacidad de autolimpieza. El dióxido también se ha empleado como agente blanqueador y opacador en esmaltes de porcelana, dando un acabado final de gran brillo, dureza y resistencia al ácido, además el titanio se encuentra en abundancia en la corteza terrestre, arena blanca, minerales, rocas, cenizas de animales y plantas (Ríos, 2013).

## B) Cromo

El límite máximo permisible para este metal es de 0.5 mg/L, como se observa en la figura 3.17 las concentraciones de las cuatro descargas están por debajo de este límite en las temporadas de estiaje y lluvias, en la temporada de estiaje la concentración más alta se presentó en la descarga 2 con 0.008 mg/L y las descargas 1, 3 y 4 presentaron la misma concentración de 0.006 mg/L. En la temporada de lluvias las concentraciones de cromo se incrementaron ligeramente, la descarga 2 volvió a presentar la concentración más alta con 0.04 mg/L y la de menor concentración fue la descarga 1 ya que no se pudo detectar la presencia de este metal, de acuerdo con estos resultados, se determinó que ninguna de las descargas tiene contaminación por Cromo.

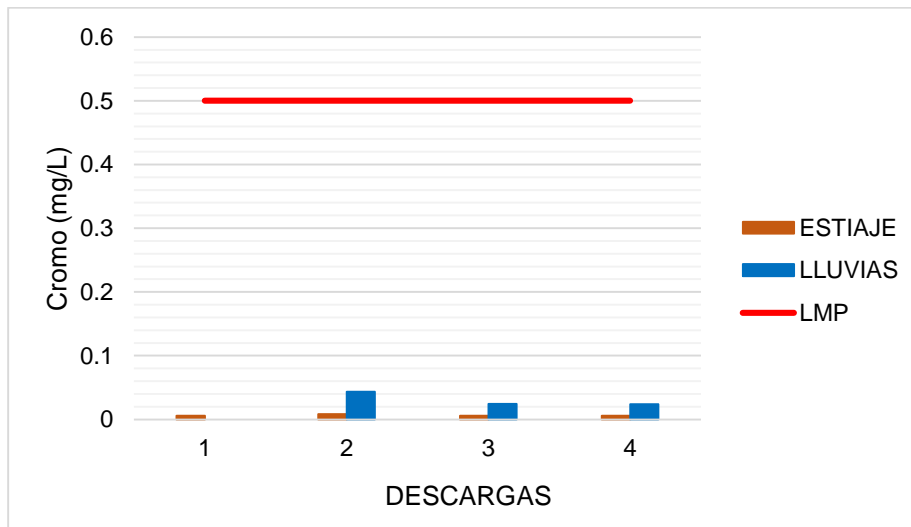


Figura 3.17. Cromo en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Las bajas concentraciones de cromo se pueden deber a procesos naturales, sin embargo existe la posibilidad de que sea a causa de actividades antropogénicas, debido a que el cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de cromo (III) y cromo (VI) y las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (VI) son: el acero, los colorantes, industriales textiles, pinturas y eléctrica (Valadez, 2013).



### C) Manganeso

El manganeso no cuenta con un límite máximo permisible en la normatividad nacional, los resultados de las concentraciones de este metal se muestran en la figura 3.18 la mayor concentración en la temporada de estiaje fue para la descarga número 2 con 0.22 mg/L, y la menor concentración se presentó en la descarga 4 con 0.09 mg/L, en la temporada de lluvias la descarga 1 obtuvo la concentración más alta con 2.64 mg/L y la descarga 2 presentó la concentración más baja con 0.57 mg/L.

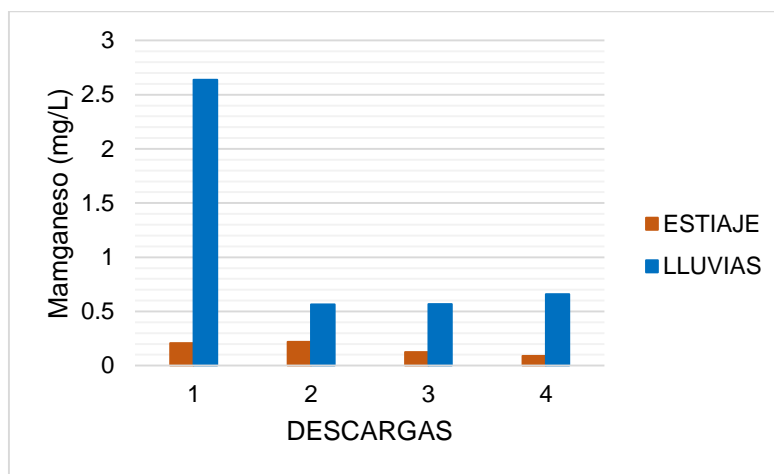


Figura 3.18 Manganeso en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El manganeso no es un elemento peligroso para la salud, su presencia en el agua afecta en sus propiedades organolépticas que sería un factor grave si esta agua fuera para consumo humano, pero no es el caso. La presencia del manganeso en el agua puede provenir de la corteza del suelo, las piedras y a través de lixiviados.

### D) Hierro

El hierro es otro de los metales que no tienen un límite máximo permisible establecido, en la figura 3.19 se presentan las concentraciones de este metal en las dos temporadas estudiadas. La temporada de lluvias presentó valores más altos

que en la temporada de estiaje, siento la descarga 1 la de mayor concentración con 25.26 mg/L, este comportamiento se repitió en la temporada de estiaje, teniendo la descarga 1 una concentración de 3.19 mg/L.

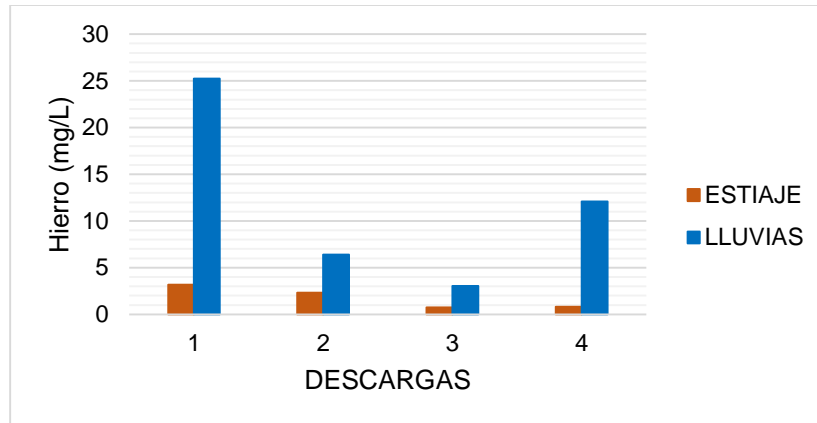


Figura 3.19. Hierro en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

La EPA considera al hierro como un contaminante secundario, es decir, una consideración estética antes que una consideración por salud (Puentes, 2011). Uno de los problemas frecuentes del hierro es el arrastre de los óxidos depositados en los interiores de las tuberías por el mismo flujo de agua, originando una coloración negra en la misma (Rojas, 2011).

### E) Níquel

En la temporada de estiaje, las concentraciones encontradas en el agua de las descargas son las mismas para las 4 descargas con un valor menor a 0.01 mg/L, dicho valor no supera el límite máximo permisible establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 de 2 mg/L. Para la temporada de lluvias las concentraciones aumentaron en todas las descargas, siendo la descarga 4 la que mayor concentración presentó con 1.72 mg/L en contraste con la descarga 2 que presentó la más baja concentración con 0.05 mg/L, en la figura 3.20 se muestra los valores obtenidos en las dos temporadas y su comparación con el límite establecido.

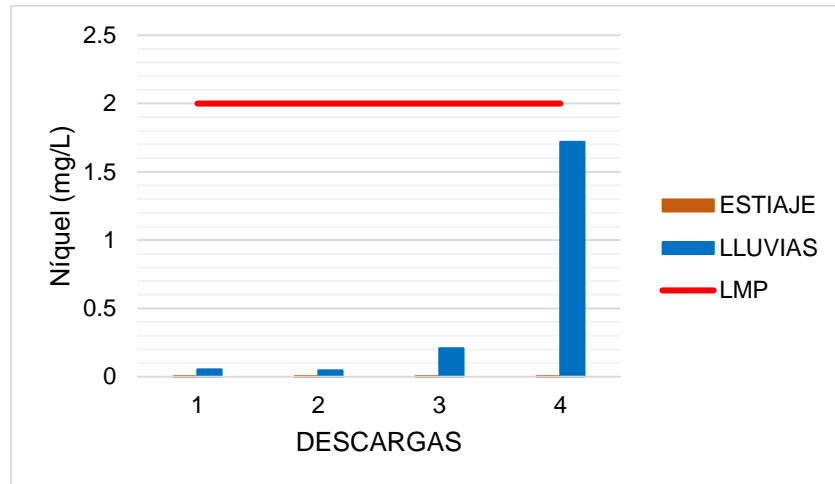


Figura 3.20 Níquel en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

## F) Cobre

El límite máximo permisible para el cobre es de 4 mg/L, este valor no es excedido por ninguna de las descargas estudiadas. Las concentraciones más altas se presentaron en la temporada de lluvias para las 4 descargas, siendo la descarga 4 la de mayor concentración con 1.72 mg/L. En la temporada de estiaje la concentración más alta se presentó en la descarga 2 con 0.92 mg/L y la menor concentración fue para la descarga 4 con 0.02 mg/L (ver figura 3.21).

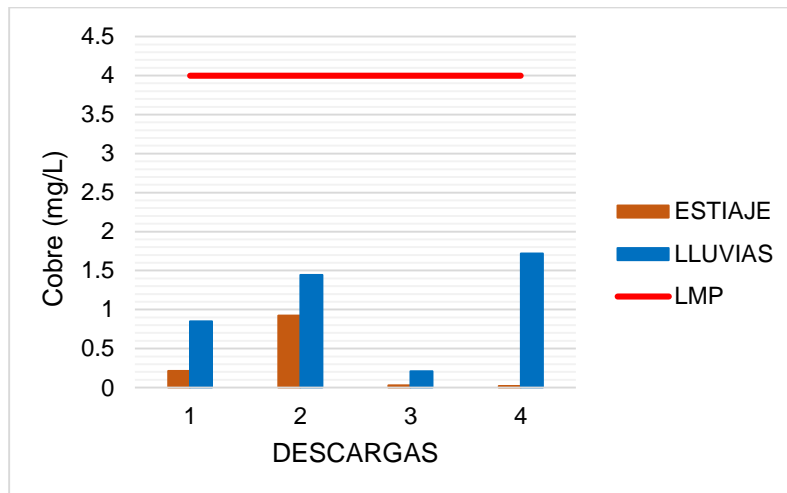


Figura 3.21 Cobre en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El cobre puede entrar a los cuerpos de agua por causas naturales como tormentas de polvo, descomposición de la vegetación y por causas antropógenicas como por ejemplo la combustión y deposición por medio de la lluvia, por el uso de fertilizantes, bactericidas y fungicidas, agentes controladores de enfermedades ganaderas y aditivos para la comida (Quiñones, 2008).

### G) Zinc

El límite máximo permisible para el zinc es de 10 mg/L, ninguna de las 4 descargas en las dos temporadas supera el límite establecido por la norma, los valores más altos se presentaron en la temporada de lluvias siendo la descarga 4 la que obtuvo la mayor concentración con 4.63 mg/L y la de menor concentración fue la descarga 3 con 0.98 mg/L, en la temporada de estiaje la concentración más alta se presentó en la descarga 2 con 0.83 mg/L y la menor concentración fue en la descarga 4 con 0.06 mg/L (ver figura 3.22).

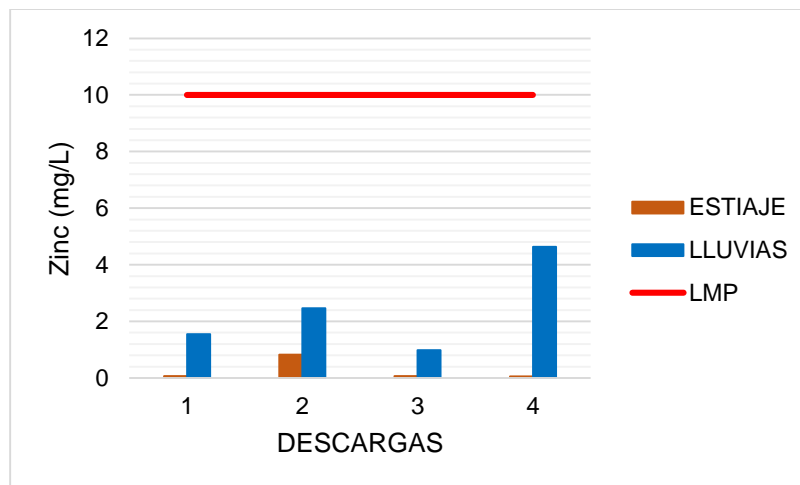


Figura 3.22. Zinc en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Alguna de las posibles fuentes antropogénicas del zinc, se deben a que es extensamente usado en la industria automotriz, para la producción de capas protectoras de hierro y acero, en cosméticos, pinturas, barnices. Así como también

necesitado para manufactura de neumáticos de automóviles, pantallas de televisión y equipos eléctricos (Bradl, 2005).

## H) Plomo

En la figura 3.23 se muestran los resultados de plomo para la temporada de estiaje y lluvias, la descarga 2 presentó la mayor concentración para la temporada de estiaje con 0.03 mg/L y la menor concentración se encontró en la descarga 1 con 0.01 mg/L, en la temporada de lluvias la concentración más elevada fue para la descarga 4 con 0.18 mg/L y la concentración más baja se presentó en la descarga 1 y 3 con 0.08 mg/L, dichas concentraciones están por debajo de lo que indica el límite máximo permisible para humedales.

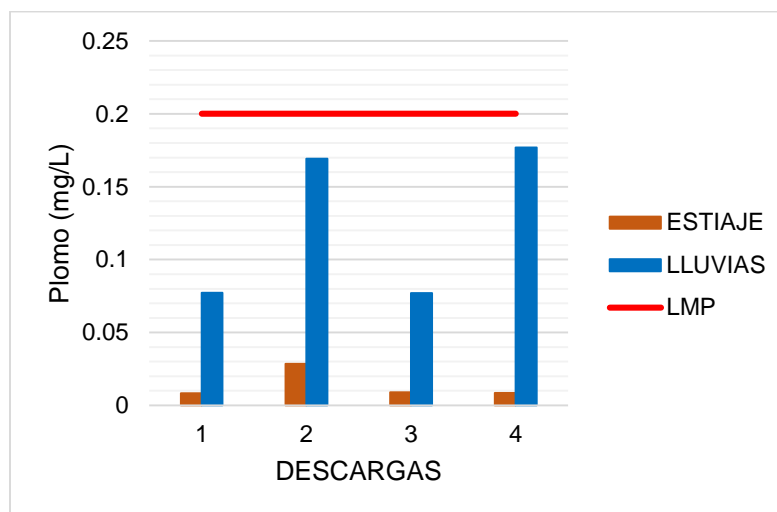


Figura 3.23. Plomo en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

El plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones encontradas en el ambiente son resultado de actividades humanas como por ejemplo, la aplicación de plomo en gasolinas, en algunos pesticidas, en pigmentos y baterías (Quiñones, 2008). El plomo antropogénico llega al ambiente acuático a través de la precipitación pluvial que arrastra el plomo emitido en la combustión de gasolinas y descargas de aguas residuales de las industrias, la cantidad de dicho metal en aguas superficiales depende del pH y de las sales disueltas contenidas en

el agua (Rincón, 2009). Las concentraciones por metales pesados en el agua de los cuatro tributarios estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana, por lo que es importante determinar las concentraciones de los metales pesados en otros medios como los sedimentos de fondo, plantas acuáticas, peces, anfibios, bioindicadores como fitoplancton, zooplancton y microcrustáceos.

### 3.19 Metales en Sedimento y comparación con criterios internacionales

En este apartado se presentan los resultados de los metales en sedimento de fondo de los cuatro tributarios a la Laguna. Se describen las concentraciones máximas y mínimas obtenidas para cada elemento analizado en las descargas de la Laguna, además debido a que en México no existen normas oficiales que regulen las concentraciones de metales pesados en sedimentos se hizo la comparación de los resultados obtenidos para el Mn, Fe, Ni, Cu, Zn y Pb con los criterios establecidos por instituciones gubernamentales de Canadá y Estados Unidos para la disposición de sedimentos dragados (ver tabla 3.3). Los criterios utilizados fueron el del Ontario Ministry of the Environment (MOE, 1976), el de Thomas y Mudroch (1979) y el de la United State Environmental Protection Agency (USEPA, 1975) (Barceló, 2000).

Tabla 3.3. Criterios recomendados para sedimentos

Metal	Criterio MOE (mg/Kg)	Criterio Thomas y Mudroch (mg/Kg)	Criterio EPA para contaminación severa (mg/Kg)
Manganeso (Mn)	-	1,625	500
Hierro (Fe)	10,000	45,500	25,000
Níquel (Ni)	25	90	50
Cobre (Cu)	25	45	50
Zinc (Zn)	100	105	200
Plomo (Pb)	50	50	60

### A) Potasio

En temporada de estiaje, el sedimento mostró valores mínimos de 4841 mg/Kg para la descarga número 1 y valores máximos de 7994 mg/Kg para la descarga número 3, siendo este elemento uno de los causantes de la eutrofización en los cuerpos de agua. En la temporada de lluvias las concentraciones se elevaron en las 4 descargas, siendo la descarga 3 nuevamente, la que presentó una concentración más alta de este elemento con 10,847 mg/Kg y la descarga 4 obtuvo una concentración más baja con 6,705 mg/Kg. En la figura 3.24 se muestra los resultados para este elemento.

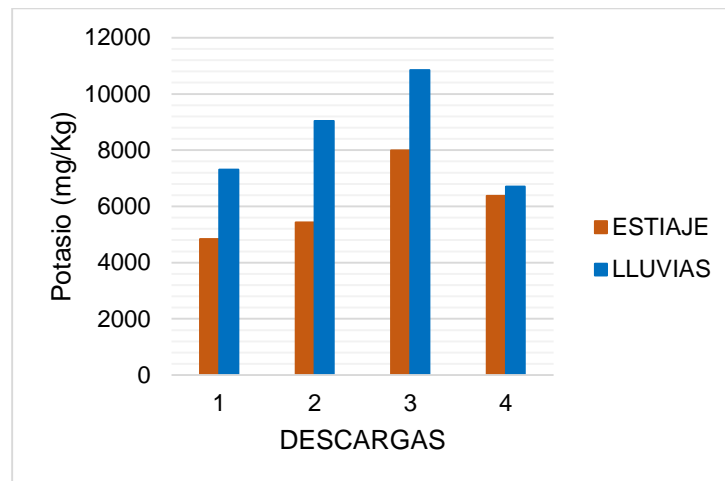


Figura 3.24. Potasio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### B) Calcio

Las mayores concentraciones de calcio en las descargas se presentaron en la temporada de estiaje, la descarga 3 obtuvo la concentración más alta con 40801 mg/Kg y la descarga 1 presentó la concentración más baja con 19,595mg/Kg. En temporada de lluvias la descarga 3 sigue siendo la descarga con la concentración más elevada de calcio con 31,653 mg/Kg y la descarga 4 presentó la concentración mínima de 15,322 mg/Kg, en la figura 3.25 se muestran los resultados de las dos temporadas de estudio para este elemento.

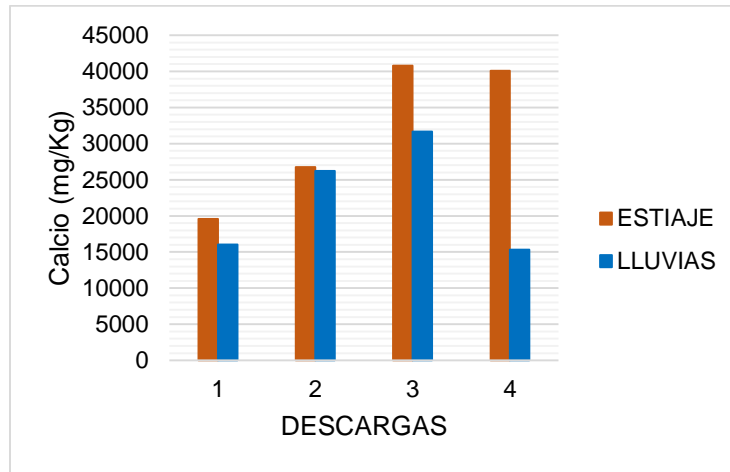


Figura 3.25. Calcio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### C) Titanio

Las concentraciones de titanio en los sedimentos aumentaron en la temporada de lluvias, la descarga 2 obtuvo una la concentración más elevada de las 4 descargas con 4,974 mg/Kg y la descarga 4 obtuvo la concentración más baja con 2,613 mg/Kg, en la temporada de estiaje la descarga 1 presentó el valor más alto con 3707 mg/Kg y la descarga 4 el valor más bajo con 1,908 mg/Kg, en la figura 3.26 se muestran los resultados.

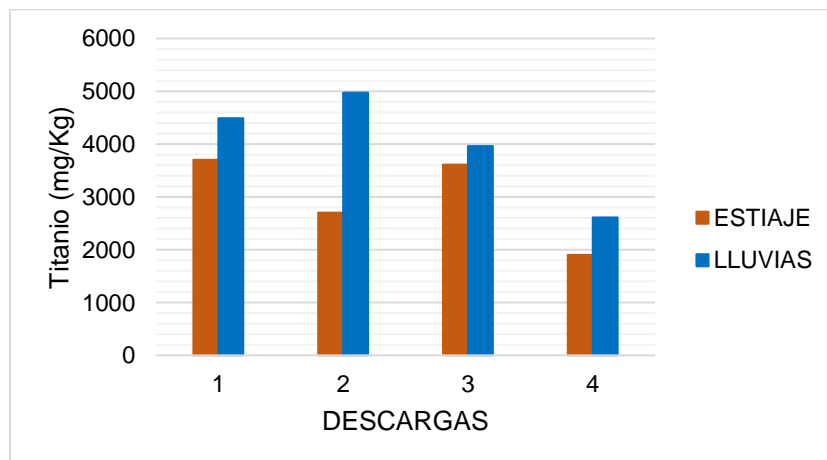


Figura 3.26. Titanio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan



### D) Manganeso

Para este elemento, se detectó una concentración mínima de 236 mg/Kg para la descarga 4 y una máxima de 421 mg/Kg para la descarga 3 en la temporada de estiaje y en la temporada de lluvias la concentración más alta fue para la descarga 2 con 1,160 mg/Kg y la concentración más baja se presentó en la descarga 4 con 509 mg/Kg, en la figura 3.27 se muestran los resultados para este elemento.

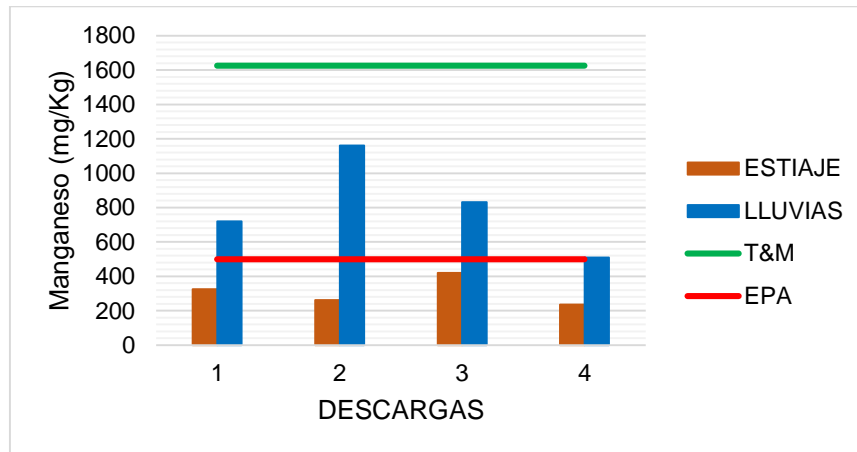


Figura 3.27. Manganeso en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En temporada de estiaje de acuerdo con los criterios de Thomas y Mudroch y de la EPA, el sedimento no rebasa las concentraciones de manganeso que establecen ambos, por lo cual este, no se considera contaminado con este elemento. En la temporada de lluvias el manganeso supera los criterios establecidos por la EPA en las 4 descargas determinando que los 4 tributarios presentan contaminación por este elemento, sin embargo, comparando los valores obtenidos con el criterio de Thomas y Mudroch ninguno de los sedimentos de las 4 descargas se encuentra contaminado con Manganeso.

El manganeso es un elemento mineral traza, es tóxico pero esencial, lo cual significa que no sólo es tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en

humanos. El hierro y el manganeso forman precipitados que coloran el agua, dándole un mal aspecto.

### E) Hierro

El hierro presentó una concentración mínima de 17,202 mg/Kg para la descarga 4 y una concentración máxima de 34,530 mg/Kg para la descarga 3 en temporada de estiaje, mientras que en temporada de lluvias la concentración más elevada fue para la descarga 2 con 36,644 mg/Kg y una concentración más baja en la descarga 4 con 22,744 mg/Kg, en la figura 3.28 se muestran los resultados del hierro.

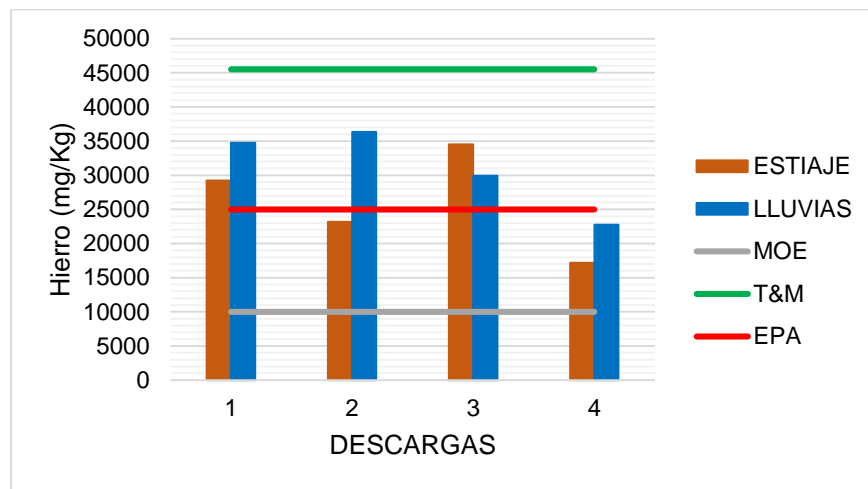


Figura 3.28. Hierro en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En temporada de estiaje, el criterio que establece MOE de una concentración de 10000 mg/Kg es sobrepasado por todas las descargas, por consiguiente, se considera que el sedimento está contaminado por este metal. De acuerdo al criterio de Thomas y Mudroch las concentraciones del sedimento no rebasan la concentración establecida. Por último, las descargas número uno y tres superan los 25000 mg/Kg según el criterio de la EPA, determinando que se encuentran contaminadas con hierro. En temporada de lluvias el hierro supera el criterio MOE en las 4 descargas, mientras que para el criterio de Thomas y Mudroch ninguna de

las 4 descargas supera la concentración establecida por estos autores, finalmente considerando el criterio de la EPA, solo la descarga 4 se encuentra libre de contaminación por hierro, las descargas 1, 2 y 3 exceden el criterio de 25,000 mg/Kg.

### F) Níquel

En temporada de estiaje se considera a la descarga 3 como la concentración más baja debido a que no se detectó presencia de este metal y la concentración máxima fue de 12 mg/Kg para la descarga 1, en temporada de lluvias en las descargas 2, 3 y 4 no se detectó presencia de níquel, por lo cual la descarga 1 es la descarga con la concentración más elevada con una concentración de 2 mg/Kg, en la figura 3.29 se muestran los resultados de este elemento.

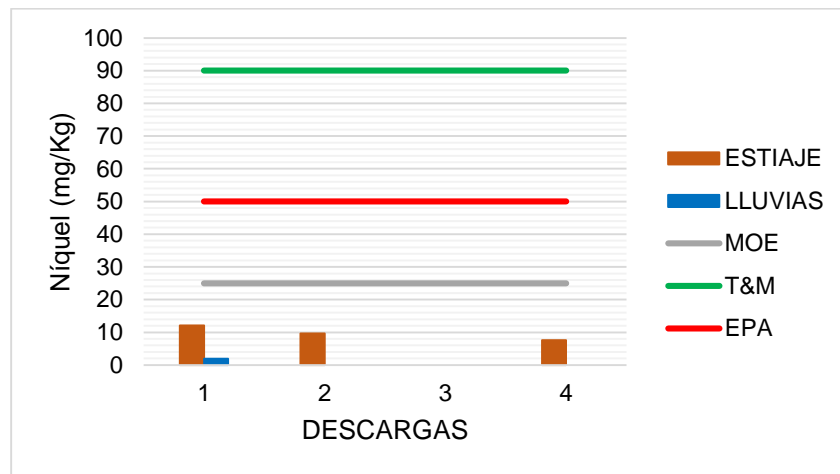


Figura 3.29. Níquel en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En las dos temporadas analizadas (estiaje y lluvias) los criterios establecidos por MOE, Thomas y Mudroch y la EPA no son rebasados por las concentraciones encontradas en los sedimentos de ninguna de las descargas, por lo cual se llega a la conclusión de que el sedimento no está contaminado con este elemento.

### G) Cobre

El cobre en temporada de estiaje presentó una concentración mínima de 10 mg/Kg para la descarga 3 y una concentración máxima de 36 mg/Kg para la descarga 1, en temporada de lluvias la concentración más alta se presentó en la descarga 3 con 40 mg/Kg y la concentración más baja se presentó en la descarga 4 con 22 mg/Kg, en la figura 3.30 se muestran las concentraciones del cobre en los sedimentos de las descargas.

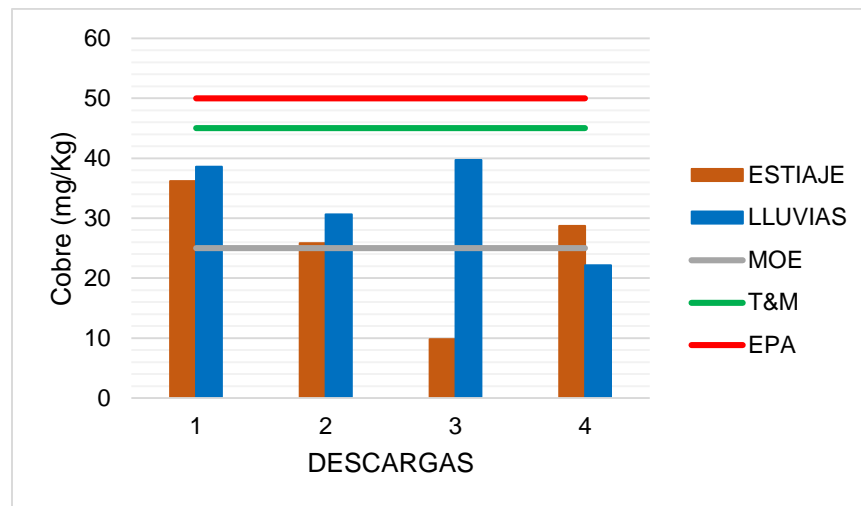


Figura 3.30. Cobre en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Tomando como referencia el criterio de MOE, podemos observar en la temporada de estiaje que la descarga 1, 2 y 4 se encuentran contaminadas con cobre puesto que superan la concentración establecida. Para el criterio de Thomas y Mudroch ninguna de las descargas sobrepasa la concentración de 45 mg/Kg. Finalmente si relacionamos el criterio de la EPA con las concentraciones halladas en el sedimento, se determina que no existe contaminación por cobre. En temporada de lluvias, las concentraciones de las descargas 1, 2 y 3 superan la concentración establecida en el criterio de MOE, para los criterios de la EPA y de Thomas y Mudroch, ninguna de las descargas se encuentra contaminada con este metal.

## H) Zinc

En temporada de estiaje la concentración mínima de zinc fue para la descarga 3 con 119 mg/Kg y la concentración máxima de 576 mg/Kg para la descarga 2, en temporada de lluvias la concentración más baja fue para la descarga 4 con 76 mg/Kg y la concentración más alta la obtuvo la descarga 3 con 208 mg/Kg, en la figura 3.31 se muestran las concentraciones del zinc en sedimentos.

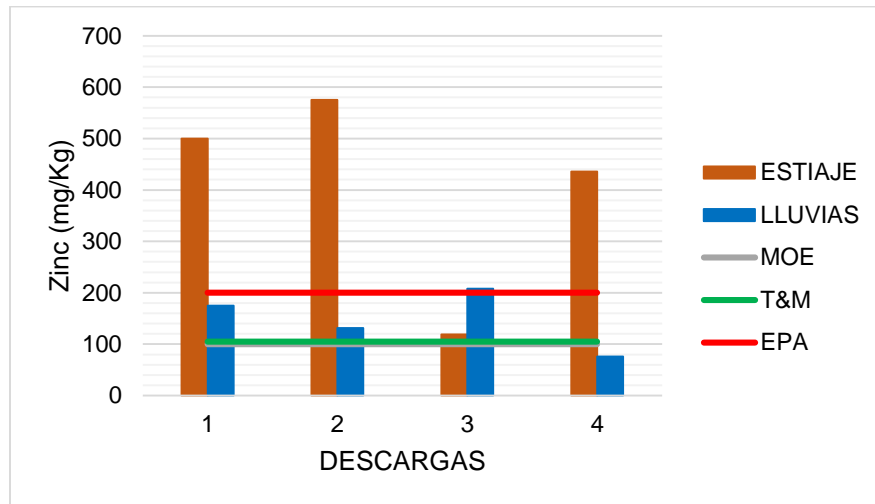


Figura 3.31. Zinc en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

En temporada de estiaje los criterios MOE y Thomas y Mudroch (100 y 105 mg/Kg respectivamente) son superados por las concentraciones halladas en los sedimentos de las 4 descargas, consideradas como contaminadas con zinc, sin embargo, para el criterio de la EPA el cual establece una concentración de 200 mg/Kg, la descarga número 3 no se considera contaminada con zinc, puesto que esta descarga presentó una concentración de 119 mg/Kg. En temporada de lluvias las descargas 1, 2 y 3 superan los criterios de MOE y Thomas y Mudroch de 100 mg/Kg y 105 mg/Kg respectivamente, a excepción de la descarga 4 que presentó una concentración de 76 mg/Kg, en el caso del criterio de la EPA solamente la descarga 3 se considera contaminada con zinc.

### I) Galio

Las mayores concentraciones de galio se presentaron en la temporada de estiaje, en la descarga 3 se registró la concentración más alta con 38 mg/Kg y la concentración mínima fue para la descarga 4 con 19 mg/Kg, en la temporada de lluvias la concentración máxima fue de 18 mg/Kg para la descarga 2 y la concentración mínima fue de 11 mg/Kg para la descarga 4, en la figura 3.32 se muestran los resultados de las concentraciones de este elemento.

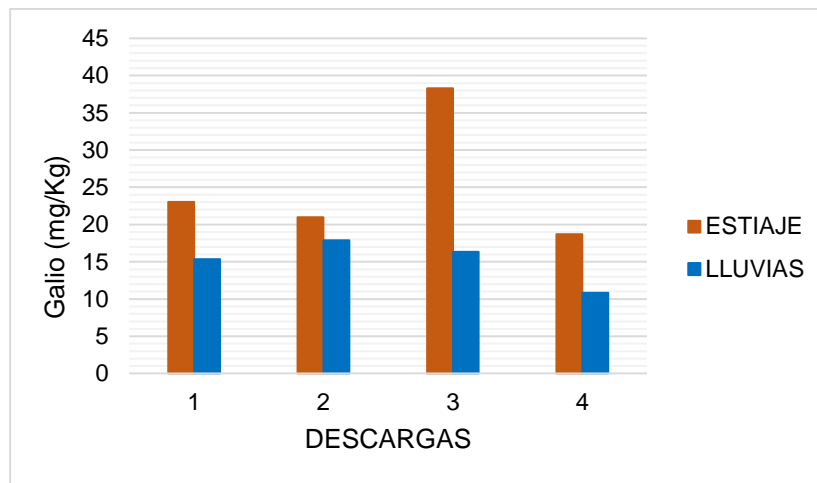


Figura 3.32. Galio en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### J) Plomo

El plomo se encontró en una concentración mínima de 30 mg/Kg para la descarga 1 y una concentración máxima de 39 mg/Kg para la descarga número 2 en temporada de estiaje, en la temporada de lluvia la concentración máxima se presentó en la descarga 3 con 26 mg/Kg y la concentración mínima fue para la descarga 4 con 8 mg/Kg, en la figura 3.33 se muestran los resultados para este metal.

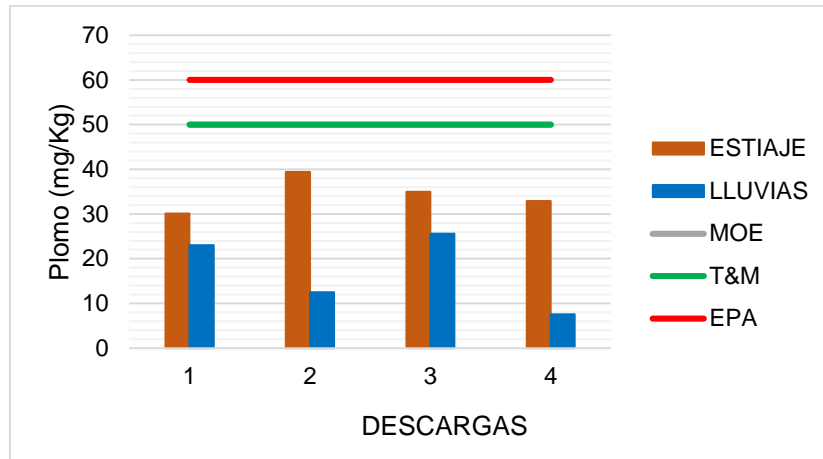


Figura 3.33. Plomo en los sedimentos de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

Para el caso del plomo, no rebasa ninguna de las concentraciones de los tres criterios considerados en las dos temporadas analizadas, concluyendo que ninguno de los sedimentos de las cuatro descargas se encuentra contaminado con plomo.

### 3.20 Factor de Enriquecimiento (FE)

Los resultados del cálculo de los factores de enriquecimiento en el sedimento depositado para las temporadas de estiaje y lluvias, se presentan en la tabla 3.4. El criterio aplicado para evaluar los sedimentos, fue el siguiente:  $FE < 1$  no enriquecimiento;  $1 < FE < 5$  enriquecimiento moderado;  $5 < FE < 10$  enriquecimiento moderado-severo;  $10 < FE < 25$  enriquecimiento severo;  $25 < FE < 50$  enriquecimiento muy severo, y  $FE > 50$  enriquecimiento extremadamente severo.

Tabla 3.4. Factor de Enriquecimiento de los sedimentos de la Laguna de Chimaliapan en temporada de estiaje

DESCARGA	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Pb
1	2.48	1.77	0.80	1.10	0.56	3.78	10.09	1.55	2.73
2	3.82	3.30	0.89	1.19	0.60	3.69	15.95	1.93	4.89
3	4.21	3.77	1.07	1.33	0.00	1.05	2.46	2.64	3.25
4	6.39	7.05	1.14	1.26	0.72	5.84	17.18	2.44	5.80

En la temporada de estiaje el factor de enriquecimiento más alto se presentó para el elemento Zn en las descargas 1, 2 y 4 con un valor de 10.09, 15.95 y 17.18 respectivamente, por lo cual de acuerdo al criterio antes mencionado, se establece que existe un enriquecimiento severo de este metal. Los demás elementos presentaron un factor de enriquecimiento que va desde no enriquecimientos hasta enriquecimiento moderado-severo, estos elevados enriquecimientos puede deberse a los diversos usos que tiene el zinc dentro de las pinturas y barnices, ya que en las localidades cercanas a la Laguna existe una gran cantidad de microempresas madereras.

En la temporada de lluvias (ver tabla 3.5), los valores del factor de enriquecimiento estuvieron dentro del criterio de no enriquecimiento a enriquecimiento moderado para todos los metales. Fueron dos los metales que presentaron un comportamiento uniforme en las dos temporadas de estudio, el hierro y el níquel. En el caso del hierro, presentó valores que están dentro de la categoría de enriquecimiento moderado y el níquel, obtuvo un factor de enriquecimiento menor a 1, por lo cual se considera un no enriquecimiento de este metal en los sedimentos de las 4 descargas.

Tabla 3.5. Factor de Enriquecimiento de los sedimentos de la Laguna de Chimaliapan en temporada de lluvias

DESCARGA	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Pb
1	3.11	1.19	1.46	1.08	0.08	3.31	2.92	0,85	1.74
2	1.76	1.76	2.15	1.02	0.00	2.39	1.98	0.90	0.84
3	2.68	2.68	1.92	1.05	0.00	3.88	3.93	1.04	2.18
4	1.96	1.96	1.79	1.21	0.00	3.28	2.18	1.04	0.97

Es conocido que el ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua a causa de descargas de aguas residuales, drenaje agrícola o residuos industriales, muchos organismos que viven y se reproducen en el agua son



afectados por la contaminación del ecosistema fluvial, puede generar efectos acumulativos de sedimentación, puede modificar el ciclo vital de otras especies animales y vegetales, y pueden afectar la condición de vida de seres humanos que se encuentren a su alrededor (Rojas, 2011).

### 3.21 Identificación de las descargas que causan mayor problema a la zona de estudio

Para esta actividad se utiliza la relación entre la DBO<sub>5</sub> y DQO Totales, ya que esta relación indica si el agua tiene influencia doméstica o si el agua presenta influencia industrial, tal como se muestra en la tabla 3.6. El criterio de relación es el siguiente, si el resultado de DBO<sub>5</sub>/DQO es menor a 0.6 se considera que las descargas tiene influencia industrial, y si el resultado de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es mayor a 0.6 se considera que tiene influencia doméstica.

Tabla 3.6. Resultados de la relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO

Descarga	Estiaje	Lluvias
1	0.30	0.29
2	0.21	0.20
3	0.37	0.75
4	0.42	1.54

De acuerdo a los resultados obtenidos en temporada de estiaje, se observa que la relación entre los dos parámetros, da valores menores a 0.6, por lo cual se establece que las descargas tienen influencia de origen industrial. En temporada de lluvias la descarga 1 y 2 presentan influencia industrial y las descargas 3 y 4 se considera que tienen influencia doméstica, esto se debe a que al aumentar el volumen de agua en los tributarios, los contaminantes se diluyen.

La descarga uno perteneciente al municipio de Ocoyoacac que presenta 1,585 asentamientos económicos de los cuales 168 pertenecen a industrias manufactureras y en San Pedro Cholula se registran 570 asentamientos

económicos de los cuales 73 son industrias manufactureras (INEGI, 2016), lo que explica una relación de  $DBO_5/DQO$  de 0.30 y 0.29 en las dos temporadas con características de origen industrial y comercial.

Para las descargas 2, 3 y 4 pertenecientes al municipio de San Pedro Tultepec, se cuenta con 1,387 asentamientos económicos registrados de los cuales 394 pertenecen a industrias manufactureras, además de todas las unidades oficiales registradas en el DENUE. Al existir gran número de industrias manufactureras en los municipios antes mencionados, es justificable que los valores de la relación  $DBO/DQO$  presenten influencia del tipo industrial, debido a que alguna o varias de estas empresas probablemente estén aportando contaminantes dentro de sus vertidos dirigidos hacia la Laguna de Chimaliapan. Esta situación que prevalece afecta el equilibrio ecológico de la Laguna de Chimaliapan, es por esto, que se debe ejercer un monitoreo y control sobre el vertido de aguas residuales de todas las industrias manufactureras que descarguen sus aguas residuales en este cuerpo de agua, ya que durante una visita al sitio, se observó que existen microempresas del sector maderero ubicadas en domicilios o terrenos privados, que probablemente contribuyen con contaminantes a los principales tributarios.

### **3.22 Cálculo de la carga de los contaminantes**

Las cargas de contaminantes en el área de influencia de la Laguna de Chimaliapan se calcularon usando la información de caudales y las concentraciones obtenidas de la caracterización fisicoquímica para los parámetros de  $DBO$ ,  $DQO$ , Nitrógeno total, Fosforo total y Grasas y Aceites, se calculó las cargas individuales de cada descarga y al final se determinó la carga total, mediante la suma de las cargas individuales en cada temporada.

La etapa inicial del trabajo comprende la identificación de las principales fuentes puntuales de contaminación (descargas de aguas residuales), localizadas en los territorios cercanos a la Laguna. La expresión general para la determinación de la carga contaminante para residuos líquidos es la siguiente:

$$L = Q * C$$

Dónde: L = Carga del contaminante expresada en g/s

Q = Caudal expresado en L/s

C = Concentración expresada en mg/L, su equivalente en g/L

Los caudales para la temporada de estiaje y lluvias se presentan en la sección 2.2.1 a la 2.2.4, la cuantificación de las cargas de los contaminantes por cada fuente se presentan a continuación.

### 3.22.1 Carga de DBO<sub>5</sub>

En la figura 3.34 se presenta la carga de contaminante de DBO<sub>5</sub>, la descarga 1 en temporada de estiaje y lluvias aportó la mayor carga de Demanda Bioquímica de Oxígeno a la Laguna. La carga total en estiaje fue de 38.49 g/s y en lluvias fue de 17.86 g/s.



Figura 3.34. Carga de DBO<sub>5</sub> en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 3.22.2 Carga de DQO

La carga más elevada de DQO, se presentó en la descarga 1 en las dos temporadas de estudio, en estiaje la carga fue de 70.81 g/s y en lluvias fue de 26.31. La carga total de las 4 descargas en temporada de estiaje y lluvias fue de 114.43 g/s y 41.12 g/s respectivamente (ver figura 3.35).



Figura 3.35. Carga de DQO en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 4.22.3 Carga de Nitrógeno total

Las cargas individuales de Nitrógeno total fueron más altas en la temporada de lluvias debido al aumento del caudal y de las concentraciones, siendo la descarga 1 la que aportó más carga de este nutriente con 1.57 g/s. En estiaje nuevamente la descarga 1 presentó el mayor aporte de Nitrógeno total con 0.66 g/s, la carga total para esta temporada fue de 0.89 g/s y en temporada de lluvias la carga total fue de 3.54 g/s, en la figura 3.36 se muestran las cargas individuales en las dos temporadas.

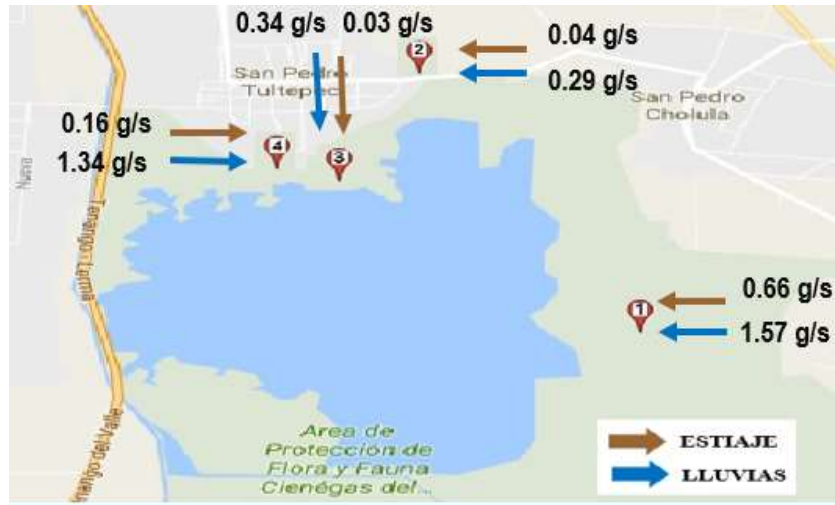


Figura 3.36. Carga de Nitrógeno total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 3.22.4 Carga de Fósforo total

En la figura 3.34 se presenta la carga de contaminante de Fósforo total, la descarga 1 en temporada de estiaje y lluvias aportó la mayor carga de este contaminante con 0.83 g/s y 1.20 g/s respectivamente. Dando una carga total en temporada de estiaje de 1.29 g/s y en temporada de lluvias una carga total de 1.77 g/s.

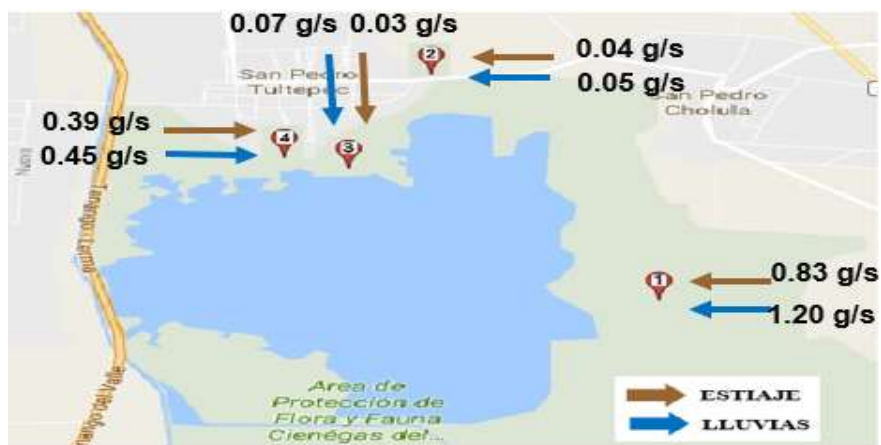


Figura 3.37. Carga de Fósforo total en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

### 3.22.5 Carga de Grasas y Aceites

Las cargas individuales de Grasas y Aceites fueron más altas en la temporada de estiaje debido a que en esta temporada se obtuvieron concentraciones más altas en las 4 descargas, siendo la descarga 1 la que aportó más carga de este parámetro con 6.17 g/s. En temporada de lluvias la descarga 4 presentó el mayor aporte de Grasas y Aceites con 1.98 g/s, la carga total para esta temporada fue de 4.41 g/s y en temporada de estiaje la carga total fue de 11.76 g/s, en la figura 3.38 se muestran las cargas individuales en las dos temporadas.



Figura 3.38. Carga de Grasas y Aceites en agua de las descargas de la Laguna de Chimaliapan

## CONCLUSIONES

Las repercusiones del crecimiento desmedido de la población y la zona industrial cercanas a la Laguna de Chimaliapan, han causado que la calidad del agua se deteriore conforme avanza el tiempo. El monitoreo de la calidad del agua, permite conocer e identificar la problemática actual y proponer soluciones adecuadas para frenar el deterioro de los cuerpos de agua.

Los Solidos Suspendidos Totales (SST) superan los límites de la NOM-001 SEMARNAT-1996 en las cuatro descargas en la temporada de estiaje, al igual que los Solidos Sedimentables (SS) exceden el límite en las descargas 2, 3 y 4, en la temporada de lluvias las descargas 1, 2 y 4 exceden los límites establecidos para SST, y en el caso de los (SS) las descargas 3 y 4 superan el límite máximo permisible, en el caso de las Grasas y aceites tampoco cumplen con el límite establecido en las dos temporadas a excepción de la descarga 1 en temporada de lluvias que estuvo debajo del límite.

La DBO y DQO son uno de los parámetros que presentaron altas concentraciones en las dos temporadas rebasando los límites establecidos, además, la relación de estos dos, indicó que en temporada de estiaje todas las descargas tienen influencia del tipo industrial, lo que supone que existen industrias clandestinas que contribuyen con aportes de contaminantes a las descargas de la Laguna, y en temporada de lluvias solo las descarga 1 y 2 continuaron presentando este comportamiento.

El Fosforo Total, el Nitrógeno Total y el Oxígeno Disuelto, según en el acuerdo CE-CCA-001/89 no son aptos para la preservación de la vida acuática en ecosistemas de agua dulce en ninguna de las descargas en las dos temporadas. Para el caso del Fosforo y Nitrógeno se puede observar con los problemas de eutrofización que sufre la Laguna en las orillas y parte central. La baja concentración de Oxígeno

disuelto en las descargas es un indicador de materia orgánica existente en el agua, por lo que impide el proceso de autopurificación del agua de la Laguna, generando aumento en la eutrofización.

La alta presencia de coliformes totales y coliformes fecales en las 4 descargas durante las dos temporadas, es un indicio de que el agua residual doméstica y urbana es vertida al río sin ningún tratamiento previo, este parámetro fue el que presentó las mayores concentraciones de todos los parámetros analizados, por lo que se concluye que la contaminación es principalmente microbiológica, seguida de la fisicoquímica.

La carga orgánica de la DBO<sub>5</sub> demuestra que el tributario 4 localizado en San Pedro Tultepec y el tributario 1 ubicado en san Pedro Cholula son los más contaminantes tanto en temporada de lluvias como en estiaje, es decir. En ambas temporadas la Descarga 1 presentó la carga más elevada de DBO<sub>5</sub> y DQO. Con relación a la carga de compuestos inorgánicos el tributario 1 ubicado en san Pedro Cholula es el más contaminante tanto en temporada de lluvias como en estiaje. En ambas temporadas la Descarga 1 presentó la carga más elevada de N y P.

La contaminación que llega a las Ciénegas de Lerma pone de manifiesto que una parte importante de los contaminantes introducidos provienen de fuentes fijas, entre las que se destacan los residuos líquidos y sólidos de los asentamientos humanos y microempresas cercanas al cuerpo de agua y de las fuentes difusas como la agricultura y el pastoreo, por lo cual se necesita la participación del sector social, cultural y económico del Estado de México y la República Mexicana, para alcanzar un desarrollo sustentable de la Laguna de Chimaliapan y de las Ciénegas de Lerma.



## RECOMENDACIONES

Realizar muestreos simples ya que las variaciones de las concentraciones de los parámetros en el muestreo compuesto son mínimas, por lo cual, es recomendable efectuar un muestreo simple a la hora en donde se presente el mayor flujo en cada descarga, con el fin de minimizar gastos de materiales y reducir la generación de residuos al momento de analizar las muestras.

Regular las microempresas pertenecientes a las localidades de San Pedro Tultepec, San Pedro Cholula y Ocoyoacac, debido a que se cree que vierten sus residuos a los sistemas de alcantarillado sin un tratamiento previo.

Monitorear la calidad del agua de la Laguna periódicamente para determinar el avance del problema de contaminación y así tomar medidas correctivas para el tratamiento del agua, ya que se realizan actividades de economía extractivas.

Es necesario implementar un sistema de recolección, conducción y tratamiento de las aguas residuales en las principales urbes cercanas a la Laguna de Chimaliapan, ya que las aguas residuales domésticas son vertidas sin tratamiento alguno a los cuerpos de agua.

Estructurar e implementar programas de educación ambiental que involucre a la sociedad, a las empresas y a las instituciones educativas en el manejo responsable de los residuos.

**REFERENCIAS**

Abella G. J. P., Martínez C. M. J. 2010. Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del Lago de Tota (Boyacá, Colombia). Rev. Colomb. Quim. 41 (2). pp. 245.

ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2012). [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs7.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf) Fecha de consulta: 18/04/2016.

Arosemena M. E. (2010). Reglamento de estándares de calidad de agua de puerto rico. Junta de Calidad Ambiental. Puerto Rico. pp. 41.

Ávila, Cicerone, Costa, Bedregal. (2011). Propuesta de un Índice de Calidad de Agua para la región de Latinoamérica y el Caribe. Lima, Perú: Agencia Internacional de Energía Atómica. pp.164.

Becerra T. (1995) Bacterias coliformes totales, fecales y patógenas en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. Hidrobiológica. 5(1-2). pp.90.

Brandl H. B. (2005). Heavy Metals in the environment. Edición Elsevier, Academicpress. 15-18.

Calvo B. G. y Mora M. J. (2015). Evaluación de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos. Tecnología en Marcha, 28 (3), pp. 56.

Campos, J. (2011). Evaluación del contenido y transformación de las diferentes formas de fósforo y nitrógeno del agua residual tratada en un humedal de flujo subsuperficial, ubicado en Apaxtla de Castrejón, Gro. México. Informe de Servicio social. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 16.

Carrasquero F. S. J., Marquina G. D. C., Soto L. J. G., Rincón S. V., Pire S. M. C., Díaz M. A. R. (2015). Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial. CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA. 25 (2). pp. 45.

Casas G. D. (2012). Evaluación de la calidad del agua en el lago del parque alameda oriente. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 22.

Cázares V. J. J. (2014). Calidad del agua de reuso: Generación-almacenamiento-distribución, posterior a la renovación de la planta de tratamiento "Cerro del agua". Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 17.

Censo Agropecuario. (2007). *Atlas agropecuario de México*. Ciudad de México. pp.3,4.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2014). *Estadísticas del Agua en México*. Conagua. Ciudad de México. pp. 6-144

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2014). Ley de Aguas Nacionales. México, CDMX. pp. 21.

CONAGUA (2011). "Atlas del agua en México 2011", SEMARNAT, México D.F.

Correa C., Zapata C., Bornhardt C. 2002. Residuos líquidos. Recomendaciones técnicas para el mejoramiento del sistema de gestión de Riles en la industria procesadora de productos marinos. Mem. XXVIII Congr. Asoc. Interamer. Ing. Sanitaria Ambiental, Cancún. pp. 8.

Cortes O. C. M. 2011. Fujo, movimiento, transporte, entradas y transformaciones de nitratos en el agua subterránea en las inmediaciones de

Tlahuilpan. Valle del Mezquitalpan. Mezquital, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 9,10.

Darner M. A. (1998). Actualización de los criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos Período 1998 - Costa Rica. Costarric. salud pública. 7 (13). pp. 27.

De la Peña M. E., Ducci J., Zamora P. V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. Nota técnica. IDB-TN-521. pp. 16-25.

Enriquez A. R. (2008). Especiación de metales pesados, en lodos de aguas residuales de origen urbano. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlan Izcalli, Edo. de México. pp. 8-10.

Escobar R. V. (2014). Análisis instrumental de la variabilidad climática y de la calidad del agua en plantas de tratamiento de agua residual. Caso de estudio. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 18-20.

Fonseca R.P. (2015). Medición de las relaciones de los isotopos de Plomo y concentraciones del Plomo en los suelos y sedimentos de río: Experiencia del uso de las técnica isotópicas y nucleares para la evaluación de la erosión hídrica. Tesis licenciatura. Universidad del Valle de Toluca. Estado de México. pp. 21-23.

García, M.A. (2005). Caracterización del sedimento depositado del Curso Alto del Río Lerma. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Toluca. pp. 11-31.

González M., Saldarriaga J. C. (2008). Remoción biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en un sistema tipo anaerobio-anóxico-aerobio. Rev. EIA. Esc. Ing. Antioq. 10. pp. 46.

Granados, Solano, Isaac Said Carreño, de León María del Carmen Ortega, Graciela

Zarazúa Berriel, Consuelo Hernández, De la Rosa, G. I. (2014). Determinación de Metales en las Descargas de la Laguna de Chimaliapan en San Pedro Tultepec , Lerma, Estado de México. *Interesatec*, 1, 2–7.

Halpin P.M. (2000). Habitat use by an intertidal salt-marsh fish: trade-offs between predation and growth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 198. pp. 203–214.

Hatfield J. L. y Follett R. F. 2008. Nitrogen in the environment: sources, problems and management. Academic Press, 2ª edición, USA. pp. 254.

Hernández D.C. (2008). Detection of Salmonella and fecal coliforms in water for agricultural use destined to melon "Cantaloupe". *Agricultura técnica en México*. 34(1). pp.75-84.

Izquierdo S. M. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación de proceso. Tesis de Licenciatura. Universidad de Valencia. España. pp 3-23.

Ledezma M. J. A. (2013). Estrategia de conservación *in situ* para *Ambystoma Lermaense*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. pp.3-18.

López V. M. R. (2013). Evaluación de la calidad del agua del arroyo Panacuale y el establecimiento de plantas ornamentales en un sistema de humedales de flujo subsuperficial para tratar aguas residuales en el Campamento de Pesca Arcoíris, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. pp.6

Magaña L. R. (2011). Diseño y evaluación del funcionamiento de un filtro empacado con agregados minerales para la eliminación de huevos de helminto. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 23

Medina P. N. A. (2002). Estudio hidrobiológico de la cuenca del río armería para las predicciones de desarrollo sustentable. Tesis de maestría. Universidad de Colima. Colima, Col. pp. 24-35.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, D.F.

NMX-AA-028-SCFI-2001. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales residuales y aguas residuales tratadas.

NMX-AA-012-SCFI-2001. Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-MX-AA-042-SCFI-1987. Determinación del número más probable (NMP) totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* presuntiva.

NMX-AA-093-SCFI-2000. Determinación de la conductividad electrolítica.

NMX-AA-029-SCFI-2001. Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-005-SCFI-2000. Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-026-SCFI-2001. Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-008-SCFI-2000. Determinación de pH en aguas naturales, residuales y tratadas.

NMX-AA-034-SCFI-2001. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y tratadas.

NMX-AA-030-SCFI-2001 DQO. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-113-SCFI-2012. Medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica.

NMX-AA-007-SCFI-2013. Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Nyenje P. M., Foppen J. W., Uhlenbrook, S., Kulabako R., Muwanga A. (2010). Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa. - A review. *Sci. of the total Environ.* 408(3). pp. 447-455.

Ocampo A. M. y Pérez M. O. (2013). Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. Manual de Procedimientos. Jalisco, México. pp. 9-18.

Ojeda R. S., Sarmiento B. D. (2000). Separación de metales pesados en aguas residuales provenientes de la regeneración de resinas de intercambio iónico. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 5.

OMS. 2012. Estadísticas sanitarias mundiales. Suiza. pp.178.

OMS. 2003. Guías para la calidad del agua potable: vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. Segunda edición. Volumen 3. OMS, Ginebra. pp. 255.

Page, D., Dillon ,P., Toze, S., Bixio, D., Genthe, B., Jiménez, B., Wintgens, T.(2010). Valuing the subsurface pathogen treatment barrier in water recycling via aquifers for drinking supplies. *Wat Res.* 44. pp. 1841 – 1852.

Pérez, S. J. (2013). Identificación y cuantificación automática de huevos de helmintos enmuestras de agua residual. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. pp. 13-16.

Pineda G. G. (2013). Evaluación del contenido de grasas y aceites en descargas de agua residual porcícola con diferentes fuentes energéticas en la dieta alimenticia. Jalisco, México. pp.22.

Posada E., Mojica D., Pino N., Bustamante C., Monzón P. A. (2013). Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia. *Rev. fac. nac. minas*, 80 (181). pp. 194.

Puentes A. (2011) October Home Inspections. <http://www.octoberhome.com/water-esp.htm>

Quiñones R. G. S. (2008). Determinación de metales pesados por ICPM-MS en agua de lluvia colectada en ciudad universitaria, México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 22-31.

Ramos H. S., Broca M. L. F., Laines C. J. R., Carrera V. J. M. (2012). Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco México. *Ingeniería*, 16 (3). pp. 215, 216.

Ramos O. L. M., Vidal L.A., Vilardy Q. S., Saavedra D. L. (2008). Analysis Of The Microbiological Contamination (Total And Fecales Coliforms) In The Bay Of Santa Marta, Colombian Caribbean. *Acta biol. Colomb.*, 13 (3), pp. 94.



RAMSAR (2016). <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/humedales-de-importancia-internacional-los-sitios-ramsar-0>. Fecha de consulta: 04/04/2016.

REPDA. Registro Público de Derechos de Agua (2016). <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60>. Fecha de consulta: 06/04/2016.

Rincón V. Z. (2009). Riesgo de contaminar el agua del llago de Patzcuaro con Plomo por resuspensión de sedimentos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 31.

Ríos R. A. A. (2013). Malla de Titanio: Técnica quirúrgica para aumento de reborde. Tesina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 30.

Rojas, M. C. M. (2011). *Estudios de la contaminación de los recursos Hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México. Tesis de licenciatura*. Universidad de Guadalajara. pp. 47.

Sardiñas P. O., Chiroles R. S., Fernández N. M., Hernández R. Y., Pérez C. A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). Hig. Sanid. Ambient. 6 (1). pp. 205.

SCIAN. Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/SCIAN/presentacion.aspx> Fecha de consulta: 06/04/2016.

SEMARNAT. 2005. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales. Clasificación del agua según su Índice de Calidad. México D.F.

SENER, S. de E. (2011). *Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos*. Ciudad de México. pp. 100-105.

Serrano, N. E. O. (2016). *Determinación del índice de Calidad del agua de la Laguna de San Pedro Tultepec*. Instituto Tecnológico de Toluca. pp. 5-23.

Stiolyk, W.; D. Weis y M. Hestekamp (2002). "New Peat Record of Atmospheric Lead Pollution in Switzerland: Pb Concentrations Enrichment Factors, Isotopic Composition, and Organolead Species", *Environmental Science & Technology*, 36: 3893-3900.

Tamani A. Y. H. (2014). *Evaluación de la calidad de agua del Rio Negro en la provincia de Padre Abad, Aguaytía*. Practica preprofesional. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. pp. 22.

Teixeira C. G., Sánchez O. I. A., Gebara D., Dall Aglio. S. M., Matsumoto T. (2013). *Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna*. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. 67. pp.174.

Torres, F. *Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico*. Tesis (Master en Ciencias). Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, 2009. pp. 206.

Torres, J. (2005). *Eficiencia de remoción de materia orgánica de nutrimentos y artificiales*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Fes Iztacala. México. pp.11.

UNAM. (2009). *Estudio interdisciplinario de los humedales de la República Mexicana: Desarrollo metodológico para el inventario nacional de humedales y su validación a nivel piloto*.

URPJ. Unión Regional de Porcicultores de Jalisco. Evaluación del contenido de grasas y aceites en descargas de agua residual porcícola con diferentes fuentes energéticas en la dieta alimenticia. Jalisco. México: Departamento de Gestión Ambiental, 2012. pp. 52.

Valadez M. D. (2013). Anteproyectos de Norma Mexicana para la medición de nitritos, nitratos, cromo hexavalente y ortofosfatos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, mediante análisis por inyección en flujo (FIA) acoladoa UV/VIS. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 15.

Váldez F.M. y Jaramillo A.M. (1994). Sistema para el análisis por fluorescencia de rayos X. Manual de usuario. Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear. La Habana, Cuba.

Vidales O. A., Leos M. M. Y., Campos S. M. G. (2010). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, 40, pp. 29.

Viesca G. F. C., Somera F., Romero A. T., Mendoza M. G. (2011). de San Pedro Tultepec de Quiroga , Estado de México The impact of drying out the Lerma Lagoon San Pedro Tultepec de Quiroga , State of Mexico. *El Periplo Sustentable*, 21(103). pp.43

Villa B. G. A. (2007). Determinación de bacterias patógenas (*Salmonella* spp y *Shigella* spp) y de los indicadores bacteriológico de contaminación (Coliformes totales y fecales), en el agua residual tratada. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Fes Iztacala. pp. 34,92.

Villavicencio P. Abelardo, Villablanca F. Alexis. (2010). Métodos de aforo de caudal (Parte 1). Chile, Informativo No 50, pp.2.

Wu B. Y. Z. (2009). Calidad físico – química y bacteriológico del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007 – 2008. Tesis de maestría. Universidad Estatal a distancia, San José, Costa Rica. pp. 13.

Ximénez-García. (2010). Las parasitosis intestinales en México, 1° ed. Cuadernos de la Fundación Mexicana para la Salud, Multimedia en internet. <http://www.funsalud.org.mx/quehacer/publicaciones/cuaderno36/cuaderno36.pdf>  
Fecha de consulta: 10/09/ 2010.

Zepeda, G., Lot, H. C., Nemiga, X. A., & Madrigal, U. D. (2012). Florística y diversidad de las Ciénegas del Río Lerma del Estado de México, México. *Acta Botanica Mexicana*, 98(1), pp. 23–49.