

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
Z A R A G O Z A**

**“EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN PARA REALIZAR PRUEBAS DE
BIODEGRADABILIDAD AERÓBICA RÁPIDA EN LAS CIÉNEGAS DEL LERMA,
ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO PRESENTAN:

ELSA ELOÍSA MARIACA MELÉNDEZ

JORGE ANTONIO VALDIVIA ANISTRO

JULIO CÁRDENAS OTERO

DIRECTORA DE TESIS: BIÓL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA

OCTUBRE 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO	ÍNDICE	PÁGINA
RESUMEN		
1. INTRODUCCIÓN		1
2. ANTECEDENTES		4
3. MARCO TEÓRICO		7
3.1 Humedales		7
3.1.1 Importancia y contexto histórico		7
3.2 Problemática del agua y situación en México		14
3.2.1 Aguas residuales de actividades agroindustriales		19
3.2.2 Aguas residuales de servicio		19
3.2.3 Aguas residuales domésticas		19
3.2.4 aguas residuales industriales		21
3.3 Evaluación de la calidad del agua		22
3.3.1 Oxígeno disuelto (O₂)		23
3.3.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)		24
3.3.3 Demanda química de oxígeno (DQO)		25
3.3.4 Sólidos		25
3.3.5 Grasas y aceites		26
3.3.6 pH		27
3.3.7 Detergentes		28
3.3.8 Conductividad eléctrica y temperatura		28
3.3.9 Metales		29
3.3.10 Estudios microbiológicos (coliformes)		35
3.3.11 Huevos de helminto		36
3.3.12 Color		37
3.3.13 Fenoles		37
3.3.14 Nitrógeno		37
3.3.15 Fosfatos		39
3.4 Legislación ambiental en materia de prevención de la contaminación del agua		40
3.4.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)		42
3.4.2 Ley de Aguas Nacionales (LAN)		43
3.4.3 Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales		44
3.4.3 Ley Federal de Metrología y Normalización		44
3.5 Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE)		46
3.5.1 Determinación del carbono orgánico total (COT)		49
3.5.2 Biodegradabilidad		51

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	54
4.1 Clima	56
4.2 Geología	56
4.3 Geomorfología	58
4.4 Topografía	58
4.5 Edafología	59
4.6 Vegetación	60
4.7 Fauna	63
4.8 Hidrología	64
4.9 Industria	66
4.10 Demografía	68
5. HIPÓTESIS	71
6. OBJETIVOS	72
6.1 Objetivo general	72
6.2 Objetivos particulares	72
7. MÉTODO	73
8. RESULTADOS	79
8.1 Sitios de monitoreo	79
8.2 Calidad del agua	81
8.3 Pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida	89
8.4 Gráficas de resultados	98
8.4.1 Calidad del agua	98
8.4.2 Biodegradabilidad aeróbica rápida	110
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	112
10. CONCLUSIONES	150
11. BIBLIOGRAFÍA	152
12. ANEXO	160

ÍNDICE DE CUADROS

	CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1	Composición típica de un agua residual doméstica	20
Cuadro 2	Extracción, consumo y descarga anual de agua a nivel nacional	21
Cuadro 3	Industrias responsables de los volúmenes de descarga de agua residual	22
Cuadro 4	Compuestos de fósforo más comunes que se encuentran en el agua	40
Cuadro 5	Algunas industrias del corredor industrial Lerma	66
Cuadro 6	Datos relevantes del Municipio de Lerma	68
Cuadro 7	Almacenamiento y conservación de las muestras	74
Cuadro 8	Parámetros de campo	75
Cuadro 9	Parámetros de laboratorio	75
Cuadro 10	Métodos de prueba aplicables a diferentes sustancias (OCDE,1992)	77
Cuadro 11	Sitios de monitoreo del Humedal Norte “Chignahuapan”	80
Cuadro 12	Sitios de monitoreo del Humedal Centro “Chimaloapan”	80
Cuadro 13	Sitios de monitoreo del Humedal Sur “Chiconahuapan”	80
Cuadro 14	Calidad del agua Humedal Norte “Chignahuapan”	81
Cuadro 15	Calidad del agua Humedal Norte “Chignahuapan”	82
Cuadro 16	Calidad del agua Humedal Norte “Chignahuapan”	83
Cuadro 17	Calidad del agua Humedal Centro “Chimaloapan”	84
Cuadro 18	Calidad del agua Humedal Centro “Chimaloapan”	85
Cuadro 19	Calidad del agua Humedal Centro “Chimaloapan”	85
Cuadro 20	Calidad del agua Humedal Sur “Chiconahuapan”	86
Cuadro 21	Calidad del agua Humedal Sur “Chiconahuapan”	87
Cuadro 22	Calidad del agua Humedal Sur “Chiconahuapan”	88
Cuadro 23	Calidad del agua Humedal Sur “Chiconahuapan”	88
Cuadro 24	Sitios de georeferenciados para realizar las pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida	89
Cuadro 25	Resultados del análisis de biodegradabilidad aeróbica rápida	90
Cuadro 26	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 1 Norte (1N)	91
Cuadro 27	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 1 N (R)	91
Cuadro 28	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 2 Norte (2N)	92
Cuadro 29	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 2 N (R)	92
Cuadro 30	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 3 Norte (3N)	93
Cuadro 31	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 3 N (R)	93
Cuadro 32	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 1 Sur (1S)	94
Cuadro 33	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 1 S (R)	94
Cuadro 34	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 2 Sur (2S)	95
Cuadro 35	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 2 S (R)	95
Cuadro 36	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 3 Sur (3S)	96
Cuadro 37	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 3 S (R)	96
Cuadro 38	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 4 Sur (4S)	97
Cuadro 39	Evolución del consumo de oxígeno Muestra 4 S (R)	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	FIGURA	PÁGINA
Figura 1	Zona de estudio	55
Figura 2	Distribución porcentual de vertebrados en el estado de México	64
Figura 3	Sitios de muestreo	79

RESUMEN

Las Ciénegas de Lerma fueron declaradas Área Natural Protegida de Flora y Fauna en noviembre del año 2002, por ser una unidad territorial estratégica para la conservación. De acuerdo a CONABIO son consideradas como Región Hidrológica Prioritaria (RHP), clave 65; Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y área natural de importancia en RAMSAR; por ser una unidad de ecosistemas de alta biodiversidad y extrema fragilidad, considerados los últimos remanentes del Altiplano Central. Actualmente, el desarrollo industrial, urbano, agropecuario y turístico se ha presentado de manera desordenada, generando grandes cantidades de aguas residuales que se vierten en las Ciénegas.

En el presente trabajo se determinó la composición física, química y biológica del agua de las Ciénegas del Lerma, de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas en aguas y bienes nacionales y de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Así mismo, se realizaron pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida, establecidas por la Organización de Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE, 1992); con el fin de determinar su calidad y el efecto de vertimiento de las descargas de aguas residuales.

A partir de la caracterización obtuvimos lo siguiente: en el humedal norte "Chignahuapan": oxígeno disuelto, SAAM, fenoles, DBO₅ y huevos de helminto; en el humedal centro "Chimaluapan" y sur "Chiconahuapan": oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, fenoles SAAM, DBO₅, coliformes fecales y huevos de helminto, los cuales rebasaron los límites máximos permisibles establecidos por las normas. Por lo que respecta a las pruebas de biodegradabilidad, podemos concluir que el consumo de oxígeno disuelto indica que tienen poca capacidad de transformar los compuestos xenobióticos, ya que la tasa de remoción es lenta, esto se observó en el consumo del COT.

De acuerdo a Metcalf & Eddy (1991) la calidad del agua en el humedal norte es buena. El humedal centro, se encontró altamente impactada y en el humedal sur la calidad es buena. Es importante incorporar este diagnóstico al Plan de Manejo, para la protección de las Ciénegas de Lerma.

1. INTRODUCCIÓN

En muchas partes del mundo la incorporación de contaminantes derivados de las actividades humanas dentro de los diferentes recursos acuáticos, ha ocasionado una seria degradación en la calidad del agua.

Los recursos hídricos continentales de México están constituidos por ríos, lagos, lagunas, aguas subterráneas así como agua de lluvia. La extracción total de agua del país es de 174,000 millones de m³/año, equivalentes al 43% de agua renovable, en tanto que el consumo total representa el 15% de la misma.

Un recurso hídrico se considera “contaminado” cuando la composición o su estado natural es directa o indirectamente modificados por las actividades del hombre, así como por sucesos naturales en una medida tal que disminuye la facilidad de uso para todos o algunos fines.

El recurso hídrico del país tiene una superficie total de 12, 580 km² distribuida mayoritariamente al sureste del territorio nacional, el resto del territorio presenta condiciones de semi-aridez. Esto le da una mayor importancia a los cuerpos de agua de las regiones endorreicas del centro del país.

Desde el año de 1950 se tuvo la necesidad de usar los recursos acuáticos, tras una alta demanda de consumo de agua y energía, por lo que se generaron programas para resolver dichos problemas. A partir de estos, las agencias gubernamentales responsables del manejo del recurso acuático, buscaron la formación de personal técnico altamente calificado. En el caso del Estado de México, el Centro de Estudios Limnológicos, se encargó de realizar el monitoreo de la cuenca Lerma – Chapala, entre los sistemas estudiados se encuentran las ciénegas o humedales del Lerma, ecosistema de gran relevancia para el centro del país (Alcocer, Chávez y Escobar, 1993).

La composición de las aguas residuales varía en cantidad y calidad según sea su origen y contenido un gran número de elementos contaminantes. La Environmental Protection Agency (EPA) ha identificado aproximadamente 129

contaminantes de alto riesgo tanto orgánico como inorgánico y han sido clasificados en 65 clases. La selección se ha hecho con base en su conocida o supuesta acción cancerígena, mutagénica y tóxica.

Por la gran diversidad y naturaleza de los contaminantes presentes en los cuerpos de agua, se hace necesario realizar una caracterización física, química y biológica, que permita determinar la mejor alternativa para reducir la concentración de los contaminantes y seleccionar un diseño apropiado de recolección, tratamiento, reutilización, desecho y manejo del recurso hídrico.

Los humedales figuran entre los ecosistemas más productivos de la tierra y son fuentes de diversidad biológica, pues aportan el agua y la productividad primaria de la que innumerables especies vegetales y animales dependen para su supervivencia. Sustentan elevadas concentraciones de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces y especies invertebradas. Los humedales son asimismo importantes lugares de almacenamiento de material genético vegetal. El arroz, por ejemplo, una planta común de los humedales, es el alimento básico de más de la mitad de la humanidad.

Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un humedal, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, hacen posible que desempeñe muchas funciones vitales, tales como, almacenamiento de agua; protección contra tormentas y mitigación de inundaciones; estabilización del litoral y control de la erosión; recarga de acuíferos; descarga de acuíferos (la subida de aguas que se convierten en aguas superficiales en un humedal); purificación de las aguas mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes y estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente la precipitación y la temperatura.

Las ciénegas del Lerma en el Estado de México, fueron declaradas como Área Natural Protegida de flora y fauna en el mes de noviembre del año 2002. La región representa una unidad de ecosistemas de alta biodiversidad, así como de extrema fragilidad, considerados como los últimos remanentes de los humedales del Altiplano Central. Cuentan con una gran diversidad de fauna

silvestre; constituyen el hábitat invernal de más de veinte especies de aves. Actualmente el desarrollo industrial, urbano, agropecuario y turístico se ha presentado de manera desordenada, generando aguas residuales que se vierten directamente en las ciénegas del Lerma, provocando un elevado deterioro producto de la ausencia de un manejo adecuado.

2. ANTECEDENTES

En la década de los 40's los habitantes de la zona sur del Valle de Toluca no tenían una visión muy clara de las repercusiones que estaban iniciándose tras los diferentes cambios que se estaban dando.

Estos cambios estaban siendo producidos por el desarrollo industrial en el centro de México, la transformación ecológica y del ambiente, los de tipo ideológico y social. La transformación de su entorno se hizo notoria tras la desecación de la ciénega o laguna del Lerma, inició entre 1942 y 1951, finalizando en 1970; se tenían referencias desde los primeros tiempos de la Colonia, pero solo una década después de su desaparición parcial se le empezó a valorar de manera sistemática el valor histórico que representaba.

La laguna o ciénega había sido contenida desde el siglo pasado en tres grandes vasos, cuya longitud alcanzaba unos 25 Km. El primero, llamado ciénega de Almoloya del Río, de Atenco, Chignahuapan (Nueve Aguas), Agua Blanca o Almoloyita, medía alrededor de 50 Km² y se situaba desde la base de San Pedro Techuchulco hasta la antigua hacienda de Atenco. El cauce del río se angostaba para después expandirse hacia el occidente del municipio de Tianguistenco, hasta el poblado de San Pedro Tlaltizapán, mismo que da nombre al segundo vaso, llamado ciénega de Chimaliapan: Río de Chimallis o Escudos, el cual tenía una extensión de 25 Km², desde la hacienda hasta el pueblo de San Mateo Atenco, entre cuyos límites y los de la ciudad de Lerma se formaba el último vaso que era llamado "Laguna de Lerma", con una extensión de 10 Km², llegaba a los municipios de Lerma y de Toluca, además de ocupar tierras de Doña Rosa y de San Nicolás Peralta.

El Valle de Toluca se ha distinguido desde los tiempos precortesianos, como una de las regiones más productivas del centro de México; el medio lacustre jugó un papel muy importante en la zona sur del Valle de Toluca.

Hacia finales de 1970 habían referencias de la producción maicera en los tiempos prehispánicos, de la ganadería en la Colonia y de la industria en el siglo XX, pero se sabía muy poco de la producción económica generada por el medio lacustre. Los habitantes del valle de Toluca eran conocidos como “gente de la red”, antes de la expansión de los mexicas, lo cual fue fundamentado con las referencias pictográficas realizadas por los aztecas. Pero en diferentes análisis se encontró que se hacía alusión a las actividades de desgranado de maíz, el transporte de carga, a los sacrificios humanos y a las actividades pesqueras (Albores, 1995).

En la búsqueda de los antecedentes de la zona de estudio, encontramos innumerables trabajos, entre los cuales citamos a:

Bribiesca, J. (1960). “Hidrología del Valle de México”, Revista de Ingeniería Hidráulica en México, México.

Sabalcagaray, M. (1981). “Erase una vez Chicnaguapan: la primera de las tres lagunas del Lerma”. Boletín del Archivo General del Estado de México, Toluca, México. Número 9. Páginas 69-74

Lesser y Asociados S.A. (1992). “Estudio para el diagnóstico del acuífero del Valle de Toluca, para implementar la reglamentación de la extracción de agua subterránea”. Contrato número DÍA 92-21-C

Albores, B. (1995). “Tules y Sirenas. El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma”. Colegio Mexiquense, A.C. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología.

CNA (Comisión Nacional del Agua): Ariel Consultores, S.A. (1996). “Estudio de simulación hidrodinámica y diseño óptimo de las redes de observación de los acuíferos de Calera, San Luis Potosí y Toluca “ (3.acuífero de Toluca) 208 pp.

Ingeniería Geológica Computarizada S.A. de C. V. (1996). "Adecuación y actualización de planos geohidrológicos de la Cuenca del Alto Lerma, Estado de México". 54 pp.

DGCOH (1997). "Estudio de evolución de niveles piezométricos en la Cuenca del Alto Lerma para el periodo 1985-1997: Informe final". 47 pp.

Garfias, S. (1997). "Problemática Hídrica en la República Mexicana y la Cuenca del Río Lerma". Informe presentado por Conestoga Rovers & Asociados Ltd. 4 pp.

Díez Pérez, J. (1998). "Análisis de las zonas de recarga de acuíferos mediante la percepción remota: Aplicación a la Cuenca de Almoloya del Río". Tesis: UAEM: CIRA. 142 pp.

González, A. y J. Garfias (2000). "Estudio Isotópico de la vecindad oriente de la Cuenca Alta del Río Lerma". Sometido a la revista ITSON - DIEP, Instituto Tecnológico de Sonora. 15 pp.

Randa, S. (2001). "Impacts on Wetland Hydrology from Extensive Groundwater Extraction: Lerma River Basin, México". University of Waterloo, Ontario Canadá. 225 pp.

3. MARCO TEÓRICO

El crecimiento progresivo de los núcleos poblacionales, sus actividades artesanales, ganaderas, el cultivo intensivo de la tierra para satisfacer las exigencias de una población y el desarrollo industrial son las causas principales de aportación de residuos que contaminan las aguas subterráneas, ríos, lagos y mares, destruyendo o modificando la fauna y flora y rompiendo el equilibrio del ecosistema, así como la armonía entre el hombre y su medio.

Los principales aportes de agua externos al Valle de México provienen de los pozos subterráneos de la cuenca alta del Río Lerma, entre la ciudad de México y Toluca, ésta cuenca provee 5 m³/s. La ciudad obtiene agua también de la cuenca del Río Cutzamala desde donde se bombean unos 7 m³/s tomados de los caudales superficiales del río, se estima que la inversión necesaria por cada metro cúbico por segundo del Cutzamala, es del orden de 200 millones de pesos (Hernández, 1992).

3.1 Humedales

3.1.1 importancia y contexto histórico

El 2 de febrero de 1971, los representantes de 18 países se reunieron en una pequeña ciudad de Irán, a orilla del Mar Caspio, llamada Ramsar, para firmar un tratado internacional en la "Convención sobre los Humedales". En ésta, se reconoció la importancia de los humedales como elementos vitales de los cursos interiores de agua y de los sistemas costeros. También, los múltiples valores, funciones y servicios que aportan y formularon el concepto de "uso racional" con el que actualmente se identifica a la Convención ([www. geocities. com](http://www.geocities.com)).

Es por ello que en esta fecha se celebra el Día Mundial de los Humedales. México firma el tratado el 4 de Julio de 1986 y como parte del proceso de adhesión, e

incorpora al humedal "Reserva de Biosfera Ría Lagartos" como humedal de importancia internacional a la lista Ramsar.

En aquella época, la reunión tal vez no pareciera tener una repercusión mundial, pero 28 años más tarde, se ha observado que los humedales son una parte fundamental de la solución del problema de la sequía mundial, además de constituir cursos de agua saludable; en conferencias y reuniones posteriores se ha reconocido su importancia, instando a los gobiernos a que, como una de sus respuestas inmediatas a la crisis del agua, adopten las medidas necesarias para evitar la destrucción de los humedales.

Humedal es todo aquel sistema natural que posee suelos saturados o cubiertos por agua dulce, salada o mezclas de ambas, de manera temporal o permanente (lagos, ríos, lagunas, esteros, marismas, etc.). Posee especies animales, vegetales o de otros grandes grupos afines y característicos a este medio, también denominadas especies hidrófilas.

Una de las características más importantes es el beneficio que generan como parte de las funciones inherentes a esos ecosistemas, por ello se ha buscado adoptar medidas para preservarlos como un instrumento para conseguir una gestión sostenible del agua.

Los humedales son básicos para obtener agua potable a largo plazo. También se les define como los "riñones de la tierra" por su gran capacidad de filtrar y absorber algunos contaminantes y recibir aguas fluviales o antropogénicas, además de favorecer la captación y recarga de mantos acuíferos.

Se calcula que una hectárea cumple la misma función que un sistema técnicamente avanzado de tratamiento de agua residual. Cuando el agua pasa de un humedal al acuífero subterráneo, se produce una renovación de las aguas subterráneas. Generalmente, cuando el líquido llega al acuífero puede extraerse

para el consumo humano, o fluir por un cauce lateral subterráneo hasta aflorar a la superficie en otro humedal como descarga de agua subterránea.

Los humedales hacen que el agua de la estación de lluvias fluya más lentamente, lo que amplía a la época de seca el periodo en el que puede disponerse de agua. Si se desvían las corrientes y se eliminan los bosques y pantanos de las tierras altas y, la aceleración de las escorrentías no deja que al agua se acumule y forme una reserva.

Los humedales tienen efectos positivos microclimáticos y macroclimáticos. La evapotranspiración que propician mantiene los niveles locales de humedad y de precipitaciones pluviales. En los humedales con vegetación arbórea, gran parte del agua de lluvia vuelve a pasar de los árboles a la atmósfera por evaporación o transpiración y caer nuevamente en forma de lluvia en la zona circundante. La destrucción del humedal ocasiona una disminución de las precipitaciones pluviales en la zona, con efectos adversos sobre el rendimiento de los cultivos.

Pese a su importancia, desde 1990 más de la mitad de los humedales del mundo han sido destruidos. Con la consigna de "rehabilitar" tierras, se han destinado a otros usos. Se consideraba que eliminar los humedales era "progreso" al incrementar la salud y el bienestar de la sociedad, atenuar los riesgos de inundaciones, mejorar la situación higiénica y recuperar tierras para la agricultura. Con frecuencia, las causas inmediatas de la pérdida de humedales son fruto de los efectos combinados de la ignorancia, la acción de fuerzas económicas y algunas decisiones políticas. El crecimiento demográfico, así como la distribución inequitativa de recursos y el acceso a los bienes, incrementan la demanda de tierra lo que, a su vez, ejerce una enorme presión sobre los humedales.

Actividades antrópicas tales como el incremento de pastizales, modificación o disminución de cauces, o la deforestación; aceleran estos efectos. Es el caso de

los incendios de 1998, las grandes alteraciones a lo largo de la cuenca del Lerma - Chapala - Santiago y sus efectos a distancias lejanas.

Hasta la fecha se han sumado a la Convención más de 100 países y se espera que sean 25 más en el presente milenio. Los países se comprometen así, a adoptar una serie de medidas basadas en el reconocimiento que los humedales son necesarios para garantizar la biodiversidad y mantener los sistemas hídricos que sustentan a la vida.

Las partes contratantes de la Convención de Ramsar participan en un proceso destinado a identificar los sitios de su territorio que pueden ser clasificados como "humedales de importancia internacional", con el objeto de prestar especial atención a su conservación y uso sostenible. Casi 900 sitios, con una superficie de 67.5 millones de hectáreas (mayor que la de Francia o Kenya), figuran ya en la lista. Además, promueven el uso racional de los humedales situados en su territorio, mediante la adopción de políticas con legislación apropiada y actividades de investigación o destinadas a aumentar la conciencia pública sobre el valor que tienen.

La historia del manejo de los humedales en México se remonta al florecimiento de las civilizaciones que desde la antigüedad ocuparon el territorio nacional. Solo por citar algunos casos mencionaremos a los Olmecas en Tabasco, los aztecas en Tenochtitlán y a los mayas alrededor de sus místicos cenotes. Sin embargo, la conservación de los humedales en nuestro país es un tema reciente y en algunas regiones relativamente nuevo.

En 1985 nuestro país firma el Memorándum de entendimiento entre México, Canadá y Estados Unidos en relación al Acta para la "Conservación de los Humedales de Norteamérica". Dicho Memorándum se convirtió en el acuerdo trilateral para la conservación de ecosistemas y vida silvestre, el cual le genera a

México aproximadamente millón y medio de dólares al año exclusivamente para la conservación de los humedales.

Al momento de la adhesión, la Secretaría de Relaciones Exteriores reconoce a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) como la autoridad administrativa de México ante el Secretariado de la Convención, que a su vez designa a la Dirección General de Vida Silvestre como la encargada de dar seguimiento a la aplicación del tratado en el país. En Marzo de 2003 se transfiere a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Hernández, 1992).

De 1986 a 1993 México incorpora seis nuevos humedales a la Lista de Ramsar: Marismas Nacionales (1995), Cuatro Ciénegas (1995), Pantanos de Centla (1995), La Encrucijada (1996), Humedales del Delta del Río Colorado(1996), y Dzilam de Bravo (2000).

Con motivo de las celebraciones del día nacional de la conservación, el 27 de Noviembre de 2003, se incorporaron a la lista diez nuevos humedales.

El 2 de Febrero de 2004, México incorporará 33 nuevos sitios a la lista; entre los cuales están Las Ciénegas del Lerma, con ello hace un total de cerca de 4 millones 73 mil 771 hectáreas, que nos posiciona en tercer lugar mundial en cuanto a número de sitios inscritos en la lista de humedales de importancia internacional.

Estableciendo un récord a nivel mundial (al inscribir en un solo día el mayor número de sitios en la Convención de Humedales de Importancia Internacional), México refrendó el 2 de Febrero de 2004 el compromiso para la conservación de uno de los ecosistemas más importantes del país debido a los servicios ambientales que brinda y a sus funciones ecológicas. En lo que constituyó la ceremonia principal de las actividades que realiza la Convención Ramsar a nivel mundial, su Secretario General Dr. Peter Bridgewater, entregó al Gobierno de

México, a través del Ing. Alberto Cárdenas, Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los certificados que acreditan a 34 humedales mexicanos como nuevos integrantes de dicho listado internacional (Hernández, 1992).

Según Abarca y Cervantes, de los 557 millones de hectáreas de humedales que hay en el mundo, la mitad están en Norteamérica. México posee solo el 0.6% de los cuales el 0.3% son costeros.

A mediados de los noventa se iniciaron las propuestas y discusiones para proteger dichos ecosistemas; es el 2 de febrero de 2003, cuando se publica la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Todavía no se entienden los efectos nocivos en lo económico y ambiental por la pérdida de humedales.

Entre las propuestas normativas más importantes para protegerlos y conservarlos destacan:

- Establecer y mantener franjas de protección de vegetación de humedales costeros en las orillas de bahías, estuarios, lagunas y marismas y se delimitarán considerando el nivel máximo de pleamar.
- En los proyectos turísticos, industriales, de explotación petrolera, petroquímicos, oleoductos, gasoductos, generación y transmisión de electricidad, exploración, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales, y construcción de caminos, no se deben emplear materiales de relleno que contengan elementos contaminantes y sean fácilmente lixiviables.
- En todas las obras de canalización y dragado, los materiales en suspensión no excederán en un 5% las condiciones naturales de los humedales costeros.

- En la construcción de carreteras paralelas a los humedales, se deberá dejar una franja de protección de 50 metros, como mínimo y se medirá a partir del derecho de vía al límite de la vegetación del humedal.
- Que los taludes sean protegidos con vegetación nativa que garantice su estabilidad. En caso de que las carreteras atravesen cuerpos de agua, se debe mantener al menos el 87% del flujo natural de la misma.
- En la preparación y mantenimiento de los terrenos comprendidos por el derecho de vía de las líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, se procurará el uso de herramienta manual o mecánica y se evitará el empleo de productos químicos y fuego.
- Las plantas de energía que se localicen en los humedales costeros, deben contar con sistemas de enfriamiento de ciclo cerrado (canales, torres de enfriamiento o estanques de retención) para que el agua de descarga salga a la misma temperatura a la que entró.

En materia de legislación ambiental, México ha realizado grandes avances; sin embargo, existen serios problemas para aplicarla. Académicos como Loa (1996) consideran que pueden subsanarse mediante el conocimiento y uso correcto e interpretación de los ordenamientos que llevan a la conservación y manejo racional de los recursos naturales. Dichos ordenamientos han tenido un enfoque más antropológico que ecológico (Hernández, 1992).

Los humedales son las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". Cumplen funciones ecológicas fundamentales, como reguladores de los regímenes hidrológicos y como hábitat de una muy rica biodiversidad.

Son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con ellos. Se dan en lugares donde la capa de agua

se encuentra en, o cerca de la superficie de la tierra o donde la tierra está cubierta de agua poco profunda.

Reportan importantes beneficios económicos, como por ejemplo: abastecimiento de agua (cantidad y calidad); pesca (más de dos tercios de los peces capturados en el mundo se relacionan con el buen estado de las zonas de humedales costeros e interiores); agricultura, gracias al mantenimiento de las capas freáticas y a la retención de nutrientes en las llanuras inundables; producción de madera; recursos energéticos, como turba y material vegetal; recursos de vida silvestre; transportes y posibilidades recreativas y de turismo.

3.2 Problemática del agua y situación en México

Las regiones hidrológicas o cuencas de desagüe son sistemas complejos con las principales conexiones de agua y sufren efectos sobre su ciclo hidrológico principalmente por las actividades humanas. La protección de las cuencas de captación y el cuidado de los flujos de los ríos es esencial para seguir obteniendo sus beneficios y, además se deben cuidar grandes áreas del territorio donde se producen pérdidas por la disponibilidad de aguas infiltradas a través de la degradación del suelo.

El territorio nacional se ha dividido con diferentes propósitos de conservación en categorías o regiones hidrológicas, identificando sus características, definiendo su uso y disposición. México posee una pequeña cantidad de agua superficial, ya que solo tiene el 0.1 % de la reserva mundial de agua dulce.

En el año de 1981 el Plan Nacional Hidráulico realizó una división en 14 regiones hidrológicas al territorio nacional, dentro de las cuales encontramos la región Lerma – Santiago. En el año de 1993 el territorio fue dividido en 11 provincias hidrológicas, de acuerdo a su fisiografía, geología y al criterio de disponibilidad de agua infiltrada; donde el sistema Lerma – Santiago corre a través de las regiones

de la Meseta de la Costa del Pacífico, la Sierra Madre Occidental y la Meseta Central.

El río Lerma-Santiago es uno de los más importantes en la vertiente del Pacífico, el cual se caracteriza por ser corto, rápido, con un bajo caudal, además de tener un período largo de sequía y ser poco navegable.

La diferencia de disponibilidad de agua en México se debe a las variaciones en latitud, altitud y clima. La lluvia es la fuente principal de alimentación de los ríos mexicanos, ya que durante el período de lluvia (de mayo a octubre) reciben anualmente un aporte del 90%; durante el período frío hay pocas lluvias, las cuales están asociadas a los vientos fríos en el norte del Pacífico y Golfo de México (Alcocer y Escobar, 1996).

En cuanto a la altitud; el 80% del agua se encuentra a 500 msnm y solamente el 5% a 2000 msnm. Por otro lado, el 76% de la población mexicana vive en zonas con una elevada altitud; además que dos terceras partes de las actividades industriales y de agricultura se desarrollan en dichas regiones.

De acuerdo a las cuatro zonas climáticas propuestas por SEDESOL, el sistema Lerma – Santiago se encuentra en la zona templada, la cual esta delimitada por la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur.

En términos generales el territorio nacional presenta condiciones hidrográficas desfavorables, con solamente 64 corrientes semipermanentes. Del volumen total de lluvia que México recibe (variable tanto espacial como temporalmente), el 25 % deriva en infiltración subterránea y 25 % en escurrimientos superficiales. De éste último depende, principalmente, el país para satisfacer todas sus necesidades de agua (consumos naturales, usos domésticos, riego agrícola, industrias, energía hidroeléctrica, vías fluviales de comunicación, etc).

Durante muchos años, el agua se empleó como vehículo para eliminar toda clase de desechos y no se tenía suficiente conocimiento sobre el impacto que estos contaminantes podrían tener sobre el ecosistema y la salud humana. Actualmente es necesario tomar conciencia de la utilidad del agua, así como del hecho de que puede ser reutilizada.

El crecimiento de la población urbana ha sido un fenómeno acelerado en la región de América Latina y el Caribe en décadas recientes. La mayoría de las ciudades tienen tasas de crecimiento del 3 al 5%. Este incremento en la población no ha ido acompañado de una mejora en la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado, aunque las aguas residuales son generadas en grandes volúmenes por la mayoría de las ciudades (Antón y Díaz, 2000).

Aguas residuales son aquellos líquidos que presentan composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (LAN, 1992). Debido a que existe una gran cantidad y variedad de contaminantes que son descargados en el agua utilizada por los diferentes sectores sociales, se les ha agrupado en diferentes clases (Davis and Cornwell, 1991) con la finalidad de identificarlos con mayor facilidad y tener un conocimiento aproximado de su composición .

La construcción en etapas ha propiciado que muchos sistemas no estén bien integrados y racionalizados. Además, no se ha realizado una selección de puntos de descarga, de modo que existe una gran variedad de lugares donde se evacuan las aguas residuales como son ríos, lagos, acuíferos, sobre el terreno, etc. Tampoco se ha llevado a cabo una previsión adecuada sobre que sistemas de tratamiento de aguas residuales se deben de utilizar. Con frecuencia, en la mayoría de ocasiones, se descarga el efluente directamente al río o al canal más próximo, solamente con un tratamiento primario.

Asimismo, se ha prestado poca atención a la limitada capacidad de autodepuración de los cursos de agua y al hecho de que, en muchos casos, los puntos de descarga se han quedado dentro de áreas pobladas como resultado del crecimiento urbano.

Varios aspectos de las prácticas actuales de uso y disposición de aguas residuales implican un gran riesgo para la salud; un riesgo directo para los agricultores e indirecto para el público en general que consume los productos agrícolas regados con aguas residuales. Estas prácticas son responsables de muchas de las enfermedades endémicas asociadas con bacterias patógenas y otros microorganismos y están implicadas en la propagación rápida y la persistencia del brote actual del cólera en algunas partes de la región. El otro peligro a largo plazo es la posible concentración de elementos tóxicos en los suelos agrícolas; especialmente plomo, cadmio, mercurio y zinc; y posiblemente boro y litio. Este es un peligro potencial serio, sobre todo cuando se encuentran presentes en las aguas residuales ciertos tipos de efluentes industriales de alta toxicidad.

Otro riesgo es la contaminación de los acuíferos. En términos generales, es de esperar un deterioro importante de la calidad de las aguas subterráneas, generalmente de forma lenta pero persistente. El grado de riesgo de contaminación variará con la escala y modo de generación de las aguas residuales, su calidad y las características hidrogeológicas del medio. Bajo ciertas condiciones hidrogeológicas y altas tasas de lixiviación de aguas residuales se puede producir la contaminación de las aguas subterráneas con microorganismos patógenos, compuestos inorgánicos y algunas trazas de sustancias orgánicas.

El gobierno federal, desde la década de los setenta, ha considerado que la gestión del agua es un tema prioritario y que la depuración de las aguas residuales debe ser empleada como una herramienta de gestión con el fin de controlar y prevenir la contaminación.

De los 615 sistemas de depuración de aguas residuales municipales en operación, sólo se cuenta con información de eficiencia de operación de 379 de éstos; 113 se encuentran en el rango de eficiencia de 0 a 50%, 133 en el rango de 50 a 75% y 133 en el rango de > 75%. Con base en esta información, más del 70% de las plantas, están por encima del 50% de eficiencia.

En México existen varios distritos de riego que operan con aguas residuales, por lo que es considerado como uno de los países más experimentados en este tema. En la mayoría de los casos el uso de las aguas residuales no ocurre directamente después del tratamiento o disposición sino indirectamente desde los cursos de aguas superficiales, cuyos caudales durante la estación seca son en gran parte de aguas residuales; aguas que no han sido sometidas a ningún tratamiento de depuración convencional. Estas aguas se descargan en ríos donde se produce, por efecto de dilución y por autodepuración, cierta disminución de la carga contaminante (Cifuentes, et al., 1995).

La contaminación del agua se puede clasificar de acuerdo a: Tipo de escurrimiento (puntual o localizada); contaminante químico (orgánica e inorgánica); contaminante físico (radiación, altas temperaturas) o biológico y finalmente por el impacto al medio ambiente (tóxico no tóxico).

Las grandes ciudades son la principal fuente de contaminación de las aguas ya que, luego de emplear este recurso, lo eliminan en forma de aguas negras que se mezclan con las corrientes naturales para llegar luego a los grandes depósitos marinos. Además, gran cantidad de industrias que vierten en sus aguas residuales un sin número de sustancias que contribuyen de manera preponderante a la contaminación de las corrientes, pues al arrojar sus desechos, generalmente al alcantarillado, estos se unen a las aguas negras amplificando el problema.

El agua residual se clasifica de acuerdo al sector o fuente generadora, más que al tipo de contaminantes que lleva, las definiciones de cada tipo son las siguientes:

3.2.1 Aguas residuales de actividades agroindustriales

Proviene de las actividades de la elaboración de alimentos, crianza y reproducción ganadera, porcícola, avícola y establos. Cuando se analiza la contaminación producida por las industrias agroalimentarias, el principal problema reside en los efluentes vertidos. La razón de ello es que el agua se emplea tanto como materia prima, como vehículo térmico y en procesos de lavado, pelado y escaldado, entre otros.

Estos efluentes llevan una carga contaminante que está compuesta por diversos tipos de sustancias. Entre los efectos físicos se puede destacar el aporte de calor de determinados vertidos, los olores y sabores que suelen ser consecuencia de la presencia de gases en dilución y de sales inorgánicas y la turbidez ocasionada por la presencia de materia sólida en suspensión. Entre los contaminantes químicos inorgánicos podemos destacar la presencia de carbonatos y bicarbonatos e hidroxilos que influyen sobre la acidez y la alcalinidad. Entre los contaminantes químicos orgánicos destacan los aceites y grasas.

3.2.2 Agua residuales de servicios

Son las que provienen de la reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, lavanderías, baños públicos, hospitales, hoteles, restaurantes, revelado de fotografía, cuya composición es muy variada (Seoanez, 1995).

3.2.3 Aguas residuales domésticas

El agua residual doméstica es la que procede de cocinas, baños, lavabos, sanitarios y lavado de ropa. A los materiales minerales y orgánicos contenidos

originalmente en el agua suministrada a la comunidad, se agrega un cúmulo de materia fecal, papel, jabón, sólidos, restos de alimentos y otras sustancias. Ciertos residuos permanecen en suspensión, algunos entran en solución y otros se encuentran o llegan a estar tan finamente divididos que adquieren las propiedades de las partículas coloidales (Ramalho, 1993).

Se infiere que los efluentes domésticos son inestables, por lo que debe suponerse que se encuentran presentes organismos entéricos que los hacen peligrosos (Fair, 1996).

Cuadro 1. Composición típica de un agua residual doméstica

	Débil	Media	Fuerte
Constituyente	(Todos en mg L ⁻¹ excepto sólidos sedimentables)		
Alcalinidad	50	100	200
DBO ₅	100	200	300
DQO	250	500	1000
Cloro	30	50	100
Sólidos suspendidos	100	200	350
Sólidos sedimentables (mL L ⁻¹)	5	10	20
Sólidos disueltos totales	200	500	1000
Nitrógeno total	20	40	80
Carbono orgánico total	75	150	300
Fósforo total	5	10	20

Fuente: Davis and Cornwell, 1991.

3.2.4 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son las que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de actividades complementarias; varían en su composición de acuerdo con las operaciones de la industria. Algunas son aguas de enjuague relativamente limpias; otras se encuentran relativamente cargadas de materia orgánica mineral, o con sustancias corrosivas, venenosas, inflamables o explosivas; los residuos calientes fracturan los conductos de barro y mampostería; los productos químicos venenosos destruyen el tratamiento biológico, eliminan la vida acuática útil y vuelven peligrosos los abastecimientos de agua (Fair, 1996).

Cuadro 2. Extracción, consumo y descarga anual de agua a nivel nacional

USO	VOLUMEN (Km ³)		
	Extracción	Consumo	Descarga
Agrícola	55.5	46.6	8.9
Industrial	9.3	3.7	5.6
Urbano	7.4	3.5	3.9
Hidroeléctrico	128.8	-	-
Total	185.0	53.0	19.2

Fuente: SEDESOL/INE, 1994.

El sector industrial genera a nivel nacional, 82 m³/s de aguas residuales de muy variados tipos y características, las cuales resultan en su mayoría altamente contaminantes para los cuerpos de agua, por descargarse sin tratamiento alguno. Las principales ramas industriales responsables de esta problemática son la azucarera, química, celulosa, papel, petróleo, bebidas, textiles, siderúrgica y alimentos. La industria azucarera es la principal generadora con un 39% del total producido por el sector industrial, en segundo lugar esta la industria química con un 21% y los seis giros restantes un 22%. El resto de las industrias aportan en conjunto el 18% (INEGI. 1994).

La mayor parte se vierte finalmente a las corrientes naturales en forma de desecho, de esta forma, la industria se une a las granjas, minas, municipalidades y contribuye a contaminar ríos, cultivos y lagos. En la industria, las aguas de enfriamiento constituyen los volúmenes mayores y se encuentran contaminadas principalmente por el calor. Las de limpieza y enjuagues contienen sólidos y líquidos de proceso que se utilizaron durante su implementación aun cuando generalmente se diluyen, también pueden acarrear una gran diversidad de problemas (ASTM, 1994).

Cuadro 3. Industrias responsables de los volúmenes de descarga de agua residual

Industria	Extracción (%)	Consumo (%)	Descarga (%)
Azucarera	35.2	22.3	38.8
Química	21.70	24.4	21
Papel y celulosa	8.20	16.1	6
Petróleo	7.20	3.7	8.2
Bebidas	3.30	6.4	2.4
Textil	2.60	2.4	2.7
Siderúrgicas	2.50	5.5	1.7
Eléctrica	1.50	4.7	0.7
Alimentos	0.20	0.3	0.2

Fuente: INEGI, 1994.

Debido a la problemática que presentan las aguas residuales con altos niveles de contaminación, uno de los objetivos fundamentales es evaluar su concentración, calidad y hacer un seguimiento, para lograrlo es necesario organizar programas de monitoreo, además de la protección al ambiente.

3.3 Evaluación de la calidad del agua

La evaluación de la calidad del agua implica varios aspectos.

- Inspección
- Vigilancia
- Control y/o investigación

Inspección: En este punto el investigador se encarga de efectuar visitas a las zonas de estudio, para decidir el programa de muestreo de acuerdo a la afección del cuerpo de agua.

Vigilancia: consiste en medir continuamente variables que permitan definir la dinámica de contaminantes en el cuerpo de agua.

Investigación: La finalidad de la investigación es examinar con detalle el proceso de contaminación, por medio de técnicas experimentales y analíticas. En las primeras, a menudo se recurren a índices o criterios de calidad de agua específicos para poder establecer una comparación, a través de una evaluación cuantitativa que, sirve como medio de comunicación, pero, cuya utilización hace que no se considere un gran número de aspectos biológicos importantes, por eso es impredecible realizar observaciones más puntuales para determinar casos de contaminación ligera o intermitente.

Los parámetros que nos permiten examinar la calidad del agua y el grado de contaminación entre otros son los siguientes:

3.3.1 Oxígeno Disuelto (OD)

El análisis de oxígeno disuelto (OD) es una evaluación importante de la contaminación de agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales, refleja la cantidad de materia orgánica que existe en el sistema, de esta forma el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema.

La disponibilidad de oxígeno libre y disuelto es el factor importante que limita la capacidad de autopurificación de una corriente de agua. Si entra una descarga considerable de nutrientes, el OD se gasta más rápidamente de lo que se puede reponer en cuyo caso ningún aeróbico obligado desde los microorganismos hasta los peces, podrá sobrevivir.

El grado de desoxigenación no depende tan solo de la carga de nutrientes sino de varios factores, como son: el nivel de dilución, demanda bioquímica de oxígeno, de la emisión contaminante y de la calidad del agua receptora, composición de la materia orgánica, temperatura, intensidad de la reoxigenación atmosférica, oxígeno disuelto en la corriente, cantidad y tipo de bacterias existentes en la descarga, etc.

Un valor alto de OD cercano a la saturación (10 mg L^{-1}) indica que la tasa de desoxigenación es baja y por tanto, el nivel de contaminación es bajo también, y existe una reserva de oxígeno como amortiguador para mezclarse con cualquier contaminante que pueda estar presente, mientras más oxígeno se requiera para la descomposición de un contaminante, será más probable que se presente la desoxigenación (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La prueba de DBO representa la cantidad de oxígeno disuelto gastado en la descomposición biológica en una muestra de agua y es una simulación de laboratorio del proceso microbiano de autopurificación. La prueba tiene su aplicación más extendida en la determinación del gasto de oxígeno en las aguas residuales en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la concentración de oxígeno disuelto que requiere un contaminante para su degradación (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Una limitación importante de la prueba de DQO es el largo periodo que transcurre entre el momento que se toma la muestra y se obtiene el resultado; lo cual ha llevado a realizar pruebas químicas para evaluar la demanda de oxígeno de un residuo. La oxidación de los contaminantes en la muestra se efectúa en dichas pruebas usando un agente químico oxidante. Las pruebas son más rápidas y por lo general más reproducibles y han tomado gran importancia porque sirve para evaluar la resistencia de los residuos industriales no biológicos.

En estas técnicas la oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 al 100 %. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan virtualmente en su totalidad con la excepción de ciertos compuestos aromáticos, como la piridina, benceno y tolueno.

No obstante se debe enfatizar que debido al proceso de oxidación es totalmente diferente de un sistema biológico, la demanda de oxígeno evaluada químicamente no tiene relación directa con la demanda de oxígeno que se ejerce sobre el proceso natural de autopurificación en una corriente de agua.

Sin embargo la demanda de oxígeno ya evaluada se puede correlacionar con la DBO de determinada agua residual y su rapidez permite utilizarla en los procesos de control de los sistemas de tratamiento y de la contaminación (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.4 Sólidos

El análisis de sólidos es importante en el control de procesos de tratamientos biológicos y físicos de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

Los sólidos pueden afectar la calidad y suministro del agua. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatividad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor.

Los sólidos disueltos se encuentran mezclados en una fracción coloidal que puede ser removida por sedimentación, están constituidos por partículas de materia orgánica e inorgánica.

Son de especial interés los sólidos sedimentables por ser los principales contribuyentes al proceso de envejecimiento de un cuerpo de agua, al sedimentarse forman una capa sobre el lecho de la corriente de agua, en la que es muy difícil la penetración de oxígeno disuelto, con lo que se crea en el fondo una capa anaeróbica.

Los sólidos en suspensión evitan que la luz penetre hasta los organismos fotosintéticos, originando una reducción en la producción de oxígeno, liberan gran cantidad de oxígeno, nitrógeno y fósforo presentes en las proteínas, estos elementos crean condiciones favorables para el desarrollo de algas (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.5 Grasas y Aceites

Desde el punto de vista analítico cualitativo las grasas y aceites son un grupo de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en un disolvente, como son los lípidos biológicos y los hidrocarburos minerales. Este tipo de contaminantes si se presentan en cantidades excesivas pueden interferir en los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos.

Son sustancias flotantes no miscibles o parcialmente miscibles que originan una reducción en la capacidad de reaeración al formar películas en la superficie que impide el contacto aire-agua y crean una demanda importante de oxígeno en sus

degradación porque las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no son fácilmente degradadas por las bacterias. Sin embargo, en presencia de álcalis se descomponen en glicerinas y ácidos grasos con los que forman una sal alcalina y recibe el nombre de jabón soluble en agua; si el agua es dura el sodio es intercambiado por calcio y magnesio lo cual hace insoluble al jabón y recibe el nombre de jabón mineral.

Las grasas muchas veces quedan retenidas por las plantas y algas en el propio terreno de los márgenes del río ocasionando una mayor acumulación de sedimentos, a este fenómeno se le conoce como depósitos de borde de playa, los remansos del río colaboran en gran parte con esta acción (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.6 pH

La determinación de pH refleja la actividad de los iones a una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución se da por la actividad del ión hidrógeno o pH. Se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base. La alcalinidad y acidez representan por tanto la capacidad neutralizante de ácidos y bases en el agua.

El desarrollo normal de una depuración biológica estriba en la adecuada actividad de las enzimas de los organismos que habitan en el agua, por tanto es importante mencionar que son activas en un rango limitado de pH y suelen inhibirse con concentraciones altas de sales. El intervalo de pH idóneo para la existencia de la mayoría de los organismos en un cuerpo de agua, es muy estrecho y crítico, y muy sensible a cambios externos, principalmente en los mecanismos osmóticos (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.7 Detergentes

Los detergentes entran en las aguas limpias y residuales principalmente por las descargas de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial. La molécula de los detergentes está formada por un grupo hidrófobo y un hidrófilo, el grupo hidrófobo es por lo regular una cadena de hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono. Los grupos hidrófilos son de dos tipos, los ionizables y no ionizables en el agua.

La mayoría de los detergentes, tanto para uso doméstico como para uso industrial contienen fosfatos, los cuales juegan un papel muy importante, son ablandadores que por sus propiedades acomplejantes, disminuyen la dureza del agua al fijar el calcio y magnesio. Los fosfatos que se encuentran en productos para lavado se presentan en general en forma de polifosfatos, que son las moléculas más difíciles de separar (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.8 Conductividad Eléctrica y Temperatura

La temperatura y la conductividad eléctrica se relacionan de manera importante, ya que la conductividad se incrementa a medida que aumenta la temperatura, a un índice de $1.98 \mu\text{S}$ por 100°C aproximadamente, esto hace notar que cada ión tiene un coeficiente de temperatura distinto.

La medición de la conductividad eléctrica se utiliza para evaluar las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales, así como para el monitoreo de la calidad en abastecimientos de agua con alta pureza.

La temperatura es importante no solo por participar en las actividades metabólicas y la conducta de los organismos, sino porque puede alterar el estado físico-químico de los contaminantes; las investigaciones tienden a demostrar que la

toxicidad de muchos compuestos aumenta por la temperatura, debido al incremento de la biodisponibilidad de los contaminantes.

La temperatura afecta la densidad, viscosidad y tensión superficial del agua, cada una de ellas al aumentar la temperatura tiende a disminuir, asimismo el oxígeno es menos soluble al incrementar la temperatura (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.9 Metales

Los efectos de los metales en las aguas potables y residuales pueden ser benéficos, tóxicos o simplemente molestos. Algunos metales resultan esenciales mientras que otros pueden perjudicar los organismos del agua, los sistemas de tratamiento y aguas de depósito. En muchos casos el potencial benéfico o de riesgo depende de la concentración presente.

Muchos metales se vierten al agua debido a procesos naturales como actividades volcánicas y erosión de rocas. Los procesos industriales tienden a movilizar muchos de estos, de tal forma que se da una amplia dispersión y transporte, existe fijación en fracciones minerales y orgánicas de un cuerpo de agua y con el tiempo tiende a concentrarse en el fondo.

Altas concentraciones de metales pueden desestabilizar los procesos metabólicos de los tejidos de las plantas y de los organismos, la base química de este efecto es la afinidad que tienen por los grupos sulfhidrilo de las proteínas, en especial el arsénico, plomo y mercurio, unidos a las proteínas de una membrana celular, pueden alterar la distribución de los iones, cambiar los potenciales eléctricos y de este modo el movimiento de fluidos a través de la membrana, afecta la partición de iones entre la fase sólida y la solución del suelo y con esto el flujo convectivo de nutrimentos.

A valores bajos de pH, también se tiene efectos perjudiciales en los tejidos de las plantas, que pueden ser independientes de su posible efecto en el transporte de iones, ocasionando pérdidas de varios constituyentes solubles de las células. La pérdida de potasio y los cambios en la estructura fina de las puntas de las raíces es debido al daño ocasionado por el ión H^+ .

Es importante que se evalúe en los ríos como actúan los metales potencialmente tóxicos, por su efecto en los organismos, y con ello, otros factores que puedan modificar su toxicidad, ya que en ocasiones se presentan reacciones que producen formas más tóxicas del metal; por su estabilidad, los metales suelen ser transportados a distancias considerables por aire y agua.

Uno de los resultados más graves de su persistencia es la magnificación biológica en las cadenas tróficas, donde la concentración de metales en los miembros superiores de la cadena puede alcanzar valores muchas veces más altos a los que se encuentran en aire o en agua. Ello induce que muchas plantas o animales lleguen a constituir un peligro para la salud al destinarse como alimentos (Hernández y Rivera, 1996).

Cadmio (Cd)

La concentración de Cd estimada sobre la superficie terrestre es de 0.1 mg/Kg. Por lo cual se considera un elemento traza. En el agua se encuentran niveles de 0.01 mg/L. El Cd no ejerce ninguna función biológica esencial y es altamente tóxico para plantas y animales. Los efectos tóxicos del metal se determinan más por su forma que por su concentración, es fácilmente absorbido en el suelo en forma de ión libre Cd^{2+} .

El promedio de vida del Cd en el suelo varía entre 15 y 1 100 años, por lo que se considera muy importante prevenir la contaminación por este metal. Tiende a ser más móvil en el suelo y de esta forma estar más disponible para las plantas que

muchos otros metales incluyendo Pb y Cu. Cuando existen valores altos de pH suelen precipitarse como compuestos de fosfatos y carbonatos, sobre todo el cobre, porque tiene una afinidad muy alta por la calcita.

En un rango de pH de 4.0 a 7.7 aumenta la disponibilidad del Cd en un factor de 3 por cada unidad.

Compite con metales como: Ca, Co, Cr, Ni, y Pb, que a su vez pueden inhibir la adsorción de Cd.

La toxicidad por Cd en las plantas se manifiesta por clorosis, marchitamiento y atrofia en el crecimiento, rara vez se da y es ocasionada por la presencia en exceso de otros elementos.

Este metal se enlaza a proteínas citoplasmáticas que usualmente contienen cisteína fitoquelatinas y se encuentran en hongos, frijoles, soya, col, trigo, y otras plantas. La concentración elevada en el tejido de las plantas puede disparar la formación de fitoquelatinas.

En el humano, el cadmio se deposita principalmente en el hígado, riñón y pulmones. La intoxicación crónica tiene efectos cuyas manifestaciones pueden presentarse años después de que cesó la exposición. Sus efectos sobre los huesos provocan fracturas espontáneas en ratas y/o anemia cuando se lesiona la médula ósea. Hay evidencias experimentales que sus compuestos producen cáncer (Hernández y Rivera, 1996).

Plomo (Pb)

El plomo no ejerce ninguna función biológica esencial, es un elemento traza, y se encuentra en forma natural en la corteza terrestre, su abundancia es muy elevada, donde hay yacimiento se calcula en $16 \mu\text{g Kg}^{-1}$. En aguas superficiales se han

encontrado concentraciones de hasta 0.014 mg L^{-1} . Su forma más frecuente es como Pb^{2+} . Se usa en procesos industriales muy diversos, como la fabricación de acumuladores eléctricos, producción de aditivos para combustibles con alquilatos de plomo, elaboración de pigmentos para pinturas, etc.

Puede acumularse fácilmente en suelo y sedimentos, posee baja solubilidad y es resistente a la degradación microbiana, puede ingresar fácilmente a la cadena alimenticia y al metabolismo del hombre (Hernández y Rivera, 1996).

Cromo (Cr)

El Cromo es un elemento considerado como traza, se encuentra en la naturaleza en una concentración aproximada de 100 mg Kg^{-1} . en la corteza terrestre, pero esto depende del material parental y muchas veces se encuentra muy asociado con cantidades importantes de Ni, Mg y Fe; sus estados de oxidación son Cr^{3+} y Cr^{6+} de los cuales el más estable es el primero. En aguas superficiales se encuentra en concentraciones aproximadas de $10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$.

El Cr cumple una función biológica importante como factor de tolerancia a la glucosa (GTF) y es identificado como un complejo activo, dinicotinato (Cr(III)-glutación). Su carácter esencial para las plantas no ha sido demostrado.

La dieta normal es de $200 \text{ } \mu\text{g día}^{-1}$. Su carencia en la dieta provoca problemas cardiovasculares, madura la diabetes, puede provocar cáncer y leucemia en concentraciones elevadas, la USEPA clasifica este metal como carcinogénico.

El Cr^{6+} es fácilmente extraído del suelo y las partículas del sedimento, se considera la forma más tóxica, posee un alto potencial de reducción, oxida rápidamente a otras especies químicas en presencia de materia orgánica se reduce a Cr^{3+} . Su reducción es más rápida en suelos ácidos que en alcalinos.

Algunas investigaciones demuestran que el Cr^{6+} inhibe el crecimiento de raíces y vástagos en mayor proporción que el Cr^{3+} .

Cobre (Cu)

El cobre es un elemento esencial para las plantas y animales, se encuentra en la superficie terrestre en concentración de 24-25 mg Kg^{-1} , en forma de sulfuro, sulfatos, carbonatos y otros compuestos. En agua se encuentran a concentración aproximada de 0.02 mg L^{-1} .

El cobre se encuentra asociado a suelos que contienen importantes cantidades de materia orgánica, óxidos de Fe y Mg, arcillas y otros minerales. Tiene gran afinidad por coloides orgánicos e inorgánicos. En las plantas se presenta el siguiente rango de abundancia respecto a otros micronutrientes: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Cl}$.

La dieta en el hombre se considera que es de 1-5 mg/día . La acumulación de Cu en los humanos afecta el desarrollo de los infantes, desarrolla una enfermedad hereditaria conocida como enfermedad de Wilson, se observan daños histológicos que se desarrollan principalmente en niños menores de cinco años.

La calidad de productos agrícolas se ve afectada por la deficiencia de Cu, resultando en apariencia desagradable, talla pequeña en frutos cítricos, decoloración, textura esponjosa, clorosis, reducción de proteínas y alteración en la proporción de aminoácidos.

Elevadas concentraciones de Cu actúan como inhibidor en el transporte de Fe. Altas concentraciones de Zn o Cu en el suelo actúan como elementos antagónicos para otros iones en la adsorción. Algunos iones que reducen la adsorción de Cu son el K^+ , Ca^{2+} y el NH_4^+ (Hernández y Rivera, 1996).

Zinc (Zn)

El zinc se considera un elemento traza por encontrarse en la corteza terrestre en una concentración de 17-125 mg Kg⁻¹. y en el agua se encuentra a niveles de 0.064 mg L⁻¹. Prevalece en forma de hidróxido, carbonato, fosfato, sulfuro y molibdato. También se considera un elemento esencial para los humanos y plantas mayores, en los humanos para una dieta diaria se recomiendan 15 mg-día.

El Zn actúa como un componente catalítico o estructural en numerosas enzimas involucradas en el metabolismo y en la transcripción del ADN.

En las plantas mayores se absorbe como un catión divalente Zn²⁺, actúa como un cofactor funcional, estructural y regulador de enzimas como las deshidrogenasas, aldolasas, isomerasas, transfosforilasas, las polimerasas de ARN y ADN, y se involucra en el metabolismo de proteínas, carbohidratos, y la síntesis de triptófano que es un precursor de la síntesis de ácido indol acético (IAA).

La deficiencia de Zn en las plantas se manifiesta por clorosis, atrofia del crecimiento, malformaciones del tallo, hojas pequeñas y arrosetadas. Los cultivos más sensibles a esta deficiencia son maíz, sorgo, algodón, leguminosas, cítricos, leguminosas, lino, lúpulo, uvas, durazno y la manzana. Junto con el Cu, Ni y Cr el Zinc es potencialmente fitotóxico.

Los componentes del suelo que más contribuyen a la adsorción de este metal, son minerales arcillosos, óxidos metálicos hidratados y materia orgánica, lo que constituye la fase coloidal del suelo. El Ca²⁺ compite con el Zn²⁺ por los sitios de adsorción pero una deficiencia incrementa marcadamente la concentración de Cu.

En la actualidad la contaminación por Zn se ha incrementado por el gradual desarrollo industrial, también suele darse por el uso de agroquímicos como los fertilizantes y plaguicidas (Hernández y Rivera, 1996).

Fierro (Fe)

El Fierro es el elemento esencial, es el más abundante en las rocas de la corteza terrestre y tiene la capacidad de formación de compuestos estables con S, O y Si, su forma más común es Fe^{2+} y Fe^{3+} . Este metal precipita fácilmente a un pH mayor a siete.

El Fe es necesario para el mantenimiento de la clorofila en las plantas, es claramente esencial como componente de muchas enzimas y transportadores. Un exceso provoca una coloración rojiza en las hojas de las plantas.

Existe poca posibilidad de problemas de toxicidad por Fe, el problema surge cuando existe una mayor concentración de otros metales como el Cu o Zn que provocan deficiencias de Fe en las plantas, por inhibir su asimilación.

El Zn interfiere frecuentemente con el transporte de Fierro. El Zn y el Cu a bajas concentraciones estimulan el transporte del Fe por el xilema, pero a concentraciones elevadas actúa como inhibidores, provocando su deficiencia que indirectamente afecta al hombre por ser un factor nutricional importante (Hernández y Rivera, 1996).

3.3.10 Estudios Microbiológicos (coliformes)

Es importante realizar estudios microbiológicos en muestras de agua con el fin de determinar su calidad sanitaria. El grupo de bacterias coliformes es el principal indicador de la adecuación del agua para usos domésticos o industriales.

Los organismos coliformes son organismos en forma cilíndrica, presentes en el sistema digestivo humano. Una persona descarga entre 0.1 y 0.4 billones de organismos coliformes por día, además de otras especies de microorganismos.

Los organismos coliformes no son en si perjudiciales y de hecho son importantes para la degradación de la materia orgánica en los sistemas de tratamiento. Sin embargo, junto con los organismos coliformes el hombre descarga microorganismos patógenos, como los que pueden causar fiebre tifoidea, disentería, diarrea, cólera, principalmente.

Teniendo en cuenta que la población de estos microorganismos patógenos en las aguas residuales es pequeña y además difícil de localizar, se utiliza la presencia de organismos coliformes como indicadores potenciales de la presencia de organismos patógenos, las coliformes cumplen la función de “organismos indicadores”, de acuerdo a las siguientes características.

- Se encuentran presentes donde existen microorganismos patógenos
- Se encuentran en la materia fecal en gran cantidad
- Responden a los procesos de tratamiento de la misma forma que los organismos patógenos
- Son fáciles de identificar, aislar y contabilizar
- El rango indicador del patógeno puede ser elevado
- El indicador y el patógeno provienen de la misma fuente (Seoanez, 1995).

3.3.11 Huevos de Helminto

El término “helminto” se aplica a los parásitos con forma de lombriz que pertenecen, principalmente, a tres grupos biológicos: nematodos (nematelmintos o gusanos redondos), trematodos (distomas o duelas) y cestodos (tenias). Para comprender el papel que desempeñan las aguas residuales en la transmisión de los helmintos, se debe considerar primero la manera en que estos se diseminan y como sobreviven, ya que en muchos casos no incluye la ruta fecal (Jiménez, 2002).

3.3.12 Color

El color verdadero se define como aquel que se produce por sustancias disueltas. El color aparente está dado por los sólidos en suspensión más el color verdadero de la muestra. Cuando el agua tiene 15 unidades de color verdadero no es aceptada para consumos humano. El color afecta la efectividad del proceso de desinfección con cloro e incrementa el mal olor y sabor si están presentes fenoles. El color en el agua puede ser originado por la presencia de iones metálicos como el Hierro y Manganeseo, sustancias húmicas, plancton o algas. En el agua residual, el color se debe principalmente, a procesos industriales como: teñido de telas, fabricación de pinturas, procesamiento de alimentos, minería, refinación, etc (Jiménez, 2002).

3.3.13 Fenoles

Los fenoles alteran el sabor del agua, especialmente cuando está clorada, se producen por actividad industrial y aparecen en el agua residual resultante. En consecuencia, la prueba de fenoles se emplea para definir si un efluente tiene residuos industriales. Ante la constante modificación de los procesos, así como la divulgación de muchos productos, esta prueba ha quedado en desuso para este fin. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones del orden de 500 mg L^{-1} , también, se usan como biocidas y generan clorofenoles al desinfectar con cloro (Jiménez, 2002).

3.3.14 Nitrógeno

Los dos nutrientes de importancia en agua natural y agua residual son el nitrógeno y el fósforo. Ambos son esenciales para el crecimiento de las plantas y organismos, aunque en exceso pueden ser no deseables, conduciendo a menudo a la eutrofización.

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes más importantes en el contexto de la eutroficación ya que algunas algas pueden fijar el nitrógeno atmosférico, se acepta generalmente que el fósforo es el nutriente limitante en el agua. El nivel de fósforo por encima del cual el crecimiento de algas se hace excesivo, depende de muchos factores. Los fosfatos existen en los efluentes de agua residual debido en parte a la excreción humana y en parte a su uso en detergentes sintéticos (Tebbutt, 2002).

El nitrógeno es uno de los componentes básicos de las proteínas y en el agua lo usan los productores primarios en la producción de células. La mayor cantidad está en la atmósfera, 78% en volumen. En el ciclo del nitrógeno se alternan las formas inorgánica y orgánica. Las formas claves de interés son: N_2 , NH_3 , y NO_3^- . Las formas orgánicas de interés son: NH_3 , NO_2^- y NO_3^- . Algunas plantas tienen la capacidad para fijar el N_2 y convertirlo a nitratos. Los animales no pueden utilizar el nitrógeno inorgánico o el que procede de la atmósfera, a menos que sea convertido en su forma orgánica. La conversión del N_2 a NH_3 , tiene lugar cuando el hidrógeno se combina con el nitrógeno. El amoníaco se emplea para obtener fertilizantes y como nitrato amoníaco, sulfato amónico, urea y fosfato amónico. En un medio acuoso, el nitrógeno disuelto en agua puede fijarse mediante algas y bacterias. El nitrógeno puede también introducirse en las aguas superficiales o subterráneas mediante las aguas residuales fecales o industriales. Si se emplea la oxidación parcial, un efluente de aguas fecales contiene nitrógeno amoniacal y si se emplea la oxidación total contiene nitratos. Las grandes concentraciones de nitrógeno orgánico son indicativas de contaminación orgánica en aguas superficiales, de manera que los límites típicos se establecen alrededor de $1 \text{ mg } N_{org} \text{ L}^{-1}$ para los ríos de buena calidad.

Los nitratos son una de las diferentes formas de nitrógeno más frecuentes en aguas superficiales y son importantes para el equilibrio con la atmósfera. Son la especie química del nitrógeno más abundante, su concentración es baja, raramente excede a $10 \text{ mg } \text{L}^{-1}$, y en forma más frecuente es de $1 \text{ mg } \text{L}^{-1}$. Mayores niveles ($> 20 \text{ mg } \text{L}^{-1}$) pueden ser perjudiciales para la vida acuática.

3.3.15 Fosfatos

El contenido de fosfatos procede de escurrimientos que han erosionado las tierras adyacentes y de la descomposición de la materia orgánica vegetal acuática y circundante. La concentración aumenta por aporte de desechos urbanos, industriales y agrícolas, provocando la modificación temporal o permanente por crecimiento excesivo de especies no adecuadas que rompen el equilibrio ecológico.

El fósforo es un compuesto característico de los organismos vivos y es liberado por la descomposición de las células, de manera que los residuos humanos, animales y de aguas residuales procedentes de industrias que procesan materiales biológicos, como la industria alimenticia, constituyen otras fuentes principales de los compuestos de fósforo.

El fósforo es un nutriente importante en el medio acuático y en las aguas dulces es un factor limitante de la eutroficación. Se introdujo en los detergentes en 1935 y también es un fertilizante clave para cultivos. Se encuentra en todos los organismos vivos y es importante para la actividad celular. Los huesos contienen aproximadamente un 60% de $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ y el 2% en peso seco de protoplasma es fósforo. Alrededor del 80% de la producción de fosfato son fertilizantes. Otros usos son para sustancias químicas, jabones, detergentes, pesticidas, aleaciones, suplementos de comida para animales, catalizadores, lubricantes e inhibidores de la corrosión. Los fosfatos están presentes en las aguas de superficie como resultado de la meteorización y de la lixiviación de las rocas portadoras de fósforo, procedentes de la erosión del suelo, de aguas fecales municipales, de efluentes de aguas residuales industriales, de las escorrentías agrícolas y de la precipitación atmosférica.

En aguas dulces y lagos, la aportación de fósforo procedente de las depuradoras de aguas residuales municipales e industriales es reducida debido a la instalación

de tecnología biológica para la eliminación de fósforo o más típicamente de las tecnologías para la precipitación química. Los lagos en primavera-verano pueden convertirse en eutróficos si la concentración excede aproximadamente de $30 \mu\text{g L}^{-1}$ de fósforo total (Hernández y Rivera, 1996).

Cuadro 4. Compuestos de fósforo más comunes que se encuentran en el agua:

Ortofosfatos	Na_3PO_4	Fosfato tri sódico
	Na_2HPO_4	Fosfato de di-sodio hidrógeno
	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$	Fosfato de sodio di- hidrógeno
	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Fosfato de di- amonio hidrógeno
Polifosfatos	$\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$	Hexametafosfato sódico
	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$	Tripolifosfato sódico
	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	Pirofosfato sódico

3.4 Legislación en materia de prevención de la contaminación del agua

El deterioro ambiental urbano se relaciona con fallas institucionales en el sentido de carecer de reglas o mecanismos jurídicos, económicos y sociales que regulen de manera efectiva y eficiente el acceso y uso de los recursos comunes, elementos y sistemas ambientales por parte de la sociedad en su conjunto o de ciertos grupos específicos (Poder Ejecutivo Federal, 1996).

Para enfrentar los problemas que ha generado el aprovechamiento del agua, la administración pública ha prestado especial atención a la actualización del marco

jurídico y político en materia de agua, a fin de promover los cambios indispensables para lograr un manejo del recurso hídrico acorde al proceso de modernización (SEDESOL-INE, 1994).

Dentro del marco de los cambios políticos, sociales y económicos en el país, se analizan las características de la oferta y la demanda del agua, para determinar y proponer las políticas de su aprovechamiento, que facilitarán a la población el acceder a un mejor nivel de vida en lo individual y comunitario y que de acuerdo a la disponibilidad del agua, su uso y conservación contribuirán al desarrollo regional e integral del país. Por lo tanto es conveniente aplicar normas con criterio de gradualidad y certidumbre de manera que los agentes normados se sujeten a metas específicas, induciendo la adecuación de proceso sin tener controles costosos, que desvían las prioridades de inversión hacia el acatamiento de los límites impuestos, en lugar de mejorías permanentes. Como lo menciona el Programa Nacional del Medio Ambiente 1995-2000, la normatividad debe ser pieza básica de una política de regulación ambiental que debe orientarse a:

- ❖ Reducir costos de transacción (negociación, información, monitoreo, control y verificación), para ampliar las posibilidades de gestión ambiental.
- ❖ Aplicarse gradualmente cuando así sea conveniente.
- ❖ Adoptar un enfoque multimedios para evitar la transferencia de un medio a otro.
- ❖ Combinar enfoques preventivos de reducción de contaminantes y residuos en la fuente y de control al final de los procesos.
- ❖ Ofrecer certidumbre, favorecer decisiones a largo plazo, esclarecer el horizonte de planeación de las empresas y minimizar la discrecionalidad.
- ❖ Constituirse en instrumento de fomento al desarrollo e innovación tecnológica de las actividades productivas limpias y sustentables.

Todas las acciones para los efectos mencionados se presentan en un principio por la constitución en sus artículos 27 y 28, por las distintas leyes emanadas y otras disposiciones de observancia general relativas a la administración del recurso hídrico, como son la LGEEPA y la LAN con su reglamento (Poder Ejecutivo Federal, 1996).

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

La LGEEPA promulgada en 1988 y reformada en 1996 es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refiere a la preservación, restauración, así como a la protección del ambiente, en el territorio nacional y zonas de su jurisdicción y establece las bases, para garantizar el derecho de cada persona de vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación, así como para la prevención y control de la contaminación, el establecimiento de medidas de control y seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se derivan, además de la imposición de sanciones administrativas y penales que correspondan.

La LGEEPA considera que la prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad, así como para proteger los ecosistemas del país, por lo tanto, su aprovechamiento en cualquier actividad productiva que sea susceptible de provocar su contaminación, tendrá la responsabilidad del tratamiento y reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y mantener el equilibrio de los ecosistemas. Las aguas residuales urbanas deben recibir tratamiento previo a su descarga en cualquier cuerpo de agua incluyendo el subsuelo.

Establece también que los criterios utilizados para la prevención y control de la contaminación serán considerados en las medidas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública; la formulación de Normas Oficiales Mexicanas que deberán satisfacer el tratamiento de agua para el uso y consumo humano así como para la infiltración y descarga de aguas residuales en cuerpos receptores considerados como aguas nacionales. Esta y otras normas que se requieran, serán expedidas por la SEMARNAT, conforme a lo dispuesto en esta ley, la de Aguas Nacionales, su reglamento y demás disposiciones aplicables (LGEEPA, 1996).

3.4.2 Ley de Aguas Nacionales (LAN)

La Ley de Aguas Nacionales fue puesta en vigor el 2 de Diciembre de 1992 y reglamenta los párrafos 5º y 6º del artículo 27, cuyo objetivo es regular la explotación, distribución, control, uso aprovechamiento y conservación de la cantidad y calidad de las aguas propiedad de la nación, para lograr su desarrollo integral sustentable.

En el artículo 86 párrafo III se establece que la Comisión Nacional del Agua (CNA) órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAT, establecerá y vigilará el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes o zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos y en los demás casos previstos en la LGEEPA (CNA, 1992).

La LAN en su artículo 92, párrafo II menciona que la CNA podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, cuando la calidad de las descargas no se sujete a las Normas Oficiales

Mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta Ley y su reglamento.

3.4.3 Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

El Reglamento publicado el 12 de Enero de 1994, es un conjunto de Normas Jurídicas que expide el poder ejecutivo en uso de la facultad que le confiere la fracción I, del artículo 89, de nuestra Constitución y que tiene por objeto facilitar la exacta observancia de las leyes expedidas por el poder legislativo, como la LAN. En su artículo 134 determina que las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas bajo su responsabilidad y en los términos de Ley a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso para reintegrarlas en condiciones adecuadas a fin de permitir su utilización posterior en las actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas. Así mismo se menciona en el artículo 137 que es responsabilidad de los usuarios del agua, cumplir con todas las Normas Oficiales Mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga, para la prevención y control de la contaminación extendida o dispersa que resulte del manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores (Comisión Nacional del Agua, 1992).

3.4.4 Ley Federal de Metrología y Normalización

La expedición de normas es uno de los pilares de la política ambiental y constituye un esfuerzo regulatorio para adecuar las conductas de agentes económicos a los objetivos sociales de calidad ambiental. En Julio de 1992 se expidió la Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN), la cual establece los procedimientos para la elaboración, expedición, cumplimiento y vigilancia de las

Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) y las sanciones por su incumplimiento, ya que estas son de carácter obligatorio. Las NOM's son un instrumento muy poderoso no solo por el hecho de controlar los procesos productivos, sino por su capacidad de inducir cambios de conducta e internalizar costos ambientales, lo que las convierte en un elemento que promueve la presencia de varios cambios tecnológicos y genera un mercado ambiental importante.

El 18 de Octubre de 1993 en el Diario Oficial de la Federación fueron publicadas 33 NOM's que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas a cuerpos receptores de aguas residuales provenientes de diversas fuentes. Para 1994 se incrementan a 44 permaneciendo vigentes hasta 1996 y el 6 de Enero de 1997 se derogan 43 de ellas, siendo sustituidas por la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (SEGOB, 1996) la cual considera el tipo de cuerpo receptor y el uso posterior del agua. Es importante mencionar que esta norma establece plazos en los cuales se deberá de presentar los programas de acciones, fecha de cumplimiento y la periodicidad de los análisis de laboratorio y reporte, de acuerdo al número de habitantes.

Este hecho resulta trascendental ya que las 44 normas que aplicaban aun en 1996 no atendían a las características y usos de los cuerpos de agua, dando mayor importancia a los aspectos tecnológicos de cada actividad. Esto hacía que las características del cuerpo receptor no fueran un factor determinante en cuanto a localización de las industrias imponiendo así límites indiscriminados y en muchos de los casos incongruentes, independientemente del tamaño de la carga contaminante generada y la subsecuente alteración en mayor o menor grado de los sistemas biofísicos. Por esto se ideó un sistema de normalización de la calidad de agua que, en lugar de fomentar la proliferación de normas por industria, establezca límites máximos permisibles dependiendo del uso y de la capacidad de

absorción y dilución de los cuerpos receptores. Atendiendo a estas prioridades las Normas Oficiales Mexicanas vigentes en la actualidad son:

NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público.

Con base en esta Ley y la “Ley Orgánica de la Administración Pública Federal”, surge en el año de 1989 los “Criterios Ecológicos de Calidad del Agua” (CEECCA-001/89), en donde se menciona que uno de los asuntos al que se le otorga especial atención dentro de dicha política es el aprovechamiento racional, la prevención y control de la contaminación del agua, así como la protección de la flora y la fauna acuática.

3.5 Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE)

La OCDE es una organización internacional intergubernamental que reúne a los países más industrializados de economía de mercado. Los representantes de los países miembros se reúnen para intercambiar información y armonizar políticas con el objetivo de maximizar su crecimiento económico y coadyuvar a su desarrollo y al de los países no miembros.

Dentro de los países miembros de esta organización se encuentran: Estados Unidos, Canadá, Alemania, España, Francia, Noruega, Suecia, entre otros., México se integró en el año de 1994.

Los países miembros tienen una serie de compromisos, los cuales deben de tratar de cumplirlos en sus actividades, como son:

En el terreno científico y técnico, promover el desarrollo de sus recursos, fomentar la investigación y favorecer la formación profesional.

Dentro de los temas que la OCDE tiene interés en el desarrollo de actividades son: administración pública; agricultura, alimentos y pesca; asistencia al desarrollo; asuntos financieros y fiscales; ciencia y tecnología; comercio; desarrollo territorial, regional, urbano y rural; economía; educación; empleo y fuerza de trabajo; energía; energía nuclear; inversión; medio ambiente; países del este y centro de Europa; políticas de competencia y de consumo; prospectiva; salud; transporte y, turismo.

En cuanto al medio ambiente, el principal trabajo de la Dirección del Medio Ambiente, es de promover la tesis defendida por la OCDE según la cual, las políticas favorables al crecimiento económico y las políticas medioambientales deben ser compatibles y reforzarse mutuamente. En 1971, la OCDE estableció el Comité de Política Ambiental (EPOC), con el propósito de:

- Dar respuesta a las preocupaciones que surgieron en el seno de sus países miembros, debido a las crecientes presiones ambientales.
- Promover la integración de las políticas económicas, sociales y ambientales en apoyo al desarrollo sostenible.

La dirección examina cuestiones tales como:

- La manera de administrar eficazmente los recursos naturales.
- La interacción entre el medio ambiente y las políticas comerciales, la energía y la agricultura.
- El análisis de los aspectos económicos en el cambio climático.

Por otra parte, también colabora con otras direcciones:

Analiza las relaciones energía-medio ambiente y fomenta la adopción de medidas, que concilien los objetivos en materia de seguridad energética, de protección del medio ambiente y de crecimiento económico.

Examina las posibilidades de implantación y difusión de tecnologías 'limpias', menos nocivas para el medio ambiente.

Elabora métodos económicos para luchar contra los peligros que algunos productos industriales (como los productos químicos) y algunos procesos industriales representan para la salud y el medio ambiente (emisiones, residuos, accidentes).

Analiza las diversas soluciones para mejorar el entorno urbano, así como la incidencia de las políticas urbanísticas sobre el entorno local, nacional y mundial.

En el plano de la práctica, es necesario precisar que en 1998 la OCDE decidió desarrollar una nueva Estrategia Ambiental para la Primera Década del Siglo XXI, que fue aprobada en mayo del 2001 durante la Reunión de los Ministros de Medio Ambiente. Esta Estrategia ha sido fijada como meta para el 2010.

La dirección publica regularmente datos relativos al estado del medio ambiente, así como los exámenes que realiza de las acciones medioambientales de los países miembros.

La OCDE elabora diferentes estudios los cuales pueden ser de mucha utilidad para la realización y el diseño de políticas ambientales, entre los cuales tenemos la guía para las pruebas de biodegradabilidad aerobia rápida para evaluar compuestos químicos disueltos o coloidales en aguas, ésta guía describe seis métodos; entre los cuales tenemos los siguientes (www.ocdemexico.org):

3.5.1 Determinación del carbono orgánico total (COT)

La determinación se refiere a los compuestos orgánicos fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en el agua residual (celulosa, azúcares, aceites, etc.). Dependerá que el agua haya sido filtrada previamente o no, para obtener el carbono disuelto o el carbono total. Esta medida permite facilitar la estimación de la demanda de oxígeno debida a los vertidos y establecer una correlación con la DBO y la DQO.

La medida del COT está menos sujeta a interferencias que la determinación total de oxígeno (DTO), más particularmente en presencia de materias nitrogenadas. La determinación del carbono orgánico total también se puede practicar en las aguas naturales.

Los compuestos orgánicos se encuentran no solamente en las aguas superficiales, si no también las profundas y debido a ello en las aguas de consumo. Su origen está unido a las actividades biológicas naturales, a las humanas, industriales (detergentes, hidrocarburos, pesticidas, etc.) y agrícolas.

La determinación del carbón orgánico da una indicación sobre los compuestos orgánicos fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en el agua. Su interés es importante para seguir la evolución de una contaminación orgánica en los medios acuosos.

En las aguas de distribución el contenido de carbón varía de 0.5 a 3.0 mg L⁻¹. Varias centenas de compuestos orgánicos químicos se han aislado en las aguas de diferentes orígenes y en diversos países. El curso de los tratamientos de los efluentes, permite la vigilancia del proceso y facilita la estimación de la demanda de oxígeno debida a los vertidos. Para un efluente bien determinado, su medida permite utilizar una correlación entre la DBO y la DQO (www.ocdemexico.org).

La biodegradabilidad de un compuesto esta influenciada por sus características físicas, como lo es la solubilidad en el agua y la presión de vapor y por sus características químicas, incluyendo su peso molecular, estructura molecular y la presencia de varios tipos de grupos funcionales, algunos proporcionan un “asa bioquímica” para la iniciación de la biodegradación. Con los organismos apropiados y bajo las condiciones adecuadas, algunas sustancias como el fenol que son considerados biocidas para muchos microorganismos pueden sufrir una biodegradación.

Los compuestos recalcitrantes son resistentes a la degradación, persisten y se acumulan en el medio ambiente. Estos materiales no son necesariamente tóxicos para los organismos, pero simplemente resisten el ataque metabólico.

Sin embargo, algunos compuestos considerados como recalcitrantes pueden ser degradados por microorganismos que tienen la oportunidad de adaptarse a la degradación. El pretratamiento químico, especialmente por oxidación parcial, puede hacer a algunos tipos de aguas recalcitrantes mucho más biodegradables.

Las propiedades de las aguas residuales y el medio pueden ser cambiadas por incrementar la biodegradabilidad. Esto suele ser acompañado por un ajuste de las condiciones de temperatura, pH (en un rango de 6 a 9), concentración de oxígeno y material suspendido. La biodegradación puede ser ayudada por la remoción de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, como son los iones de metales pesados (Manahan, 2001).

3.5.2 Biodegradabilidad

El tratamiento biológico involucra el uso de microorganismos y/o vegetales para la degradación de los contaminantes orgánicos. La actividad biológica altera la estructura molecular del contaminante y el grado de alteración determina si se ha producido biotransformación o mineralización.

La biotransformación es la descomposición de un compuesto orgánico en otro similar no contaminante o menos tóxico, mientras que la mineralización es la descomposición a dióxido de carbono, agua y compuestos celulares.

La biodegradabilidad de un compuesto orgánico se debe a que es utilizado por los microorganismos como fuente de carbono (Niemi et al, 1987).

Los parámetros críticos a considerar en un tratamiento biológico son: tipo y concentración de contaminante, concentración de microorganismos, concentración de nutrientes, aireación, condiciones macroambientales, presencia de inhibidores y biodisponibilidad del contaminante.

Cuando la concentración de contaminante es alta puede ocurrir que se produzca inhibición del desarrollo microbiano (disminuya su capacidad de metabolización) o si es muy alta que intoxique a los microorganismos y estos mueran (LaGrega et al, 1996).

Si bien la mayor parte de las sustancias orgánicas son degradables por vía biológica, existe una gran cantidad de compuestos que resisten la biodegradación (denominados recalcitrantes) o esta ocurre tan lentamente que hace ineficaz el tratamiento biológico en forma práctica.

El proceso incorpora microorganismos (inoculación) para realizar una función específica, como es la degradación de contaminantes. Los microorganismos pueden ser comerciales o preparados para un fin específico. La inoculación se usa cuando los microorganismos nativos no pueden degradar el contaminante presente o cuando se produce inhibición por presencia de sales o metales pesados o cuando no alcanza la masa crítica necesaria. Como desventaja, los microorganismos inoculados pueden desplazar a los existentes por competencia y lograr poco efecto degradativo (detener el proceso) o bien pueden no adaptarse a las condiciones ambientales del lugar. También puede ocurrir que no compiten con los microorganismos locales y el efecto es nulo.

Los nutrientes son sustancias químicas necesarias para el desarrollo de los microorganismos y se pueden dividir en cuatro grupos: fuentes de carbón, fósforo, nitrógeno y oligoelementos o elementos minoritarios (micronutrientes). La fuente de carbón es el contaminante y proporciona el carbón necesario para producir compuestos celulares, productos metabólicos (CO_2 , agua, enzimas) y microorganismos (debido a la reproducción de los mismos). La fuente de nitrógeno proporciona el elemento necesario para la producción de aminoácidos y enzimas. La fuente de fósforo interviene en la formación de compuestos energéticos dentro de la célula que se utilizan en los procesos de reproducción y degradación.

La fuente de oligoelementos constituye un conjunto variado de elementos como hierro, cobre, zinc, azufre, cobalto, manganeso, magnesio, calcio y otros compuestos que dependen del tipo de microorganismo y del proceso que se realiza. Las concentraciones de los mismos son muy pequeñas ($< 1 \text{ mgL}^{-1}$).

Hay que destacar que en todos los casos el proceso anaeróbico es más lento que el aeróbico.

Los microorganismos no degradan contaminantes inorgánicos, sólo pueden alterar su forma química (por ejemplo los sulfuros insolubles transformarlos a sulfatos más solubles; o a la inversa) de forma de inmovilizarlos o eliminarlos del lugar mediante lixiviación de los compuestos solubles por el agua de lluvia o volatilización. Algunos microorganismos fijan sobre su estructura celular metales en forma activa (metabólica) o pasiva (absorción y adsorción) reteniéndolos e impidiendo que migren. Esta característica es importante para los procesos de tratamiento biológico de aguas contaminadas con metales tóxicos (Salazar, 2004).

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

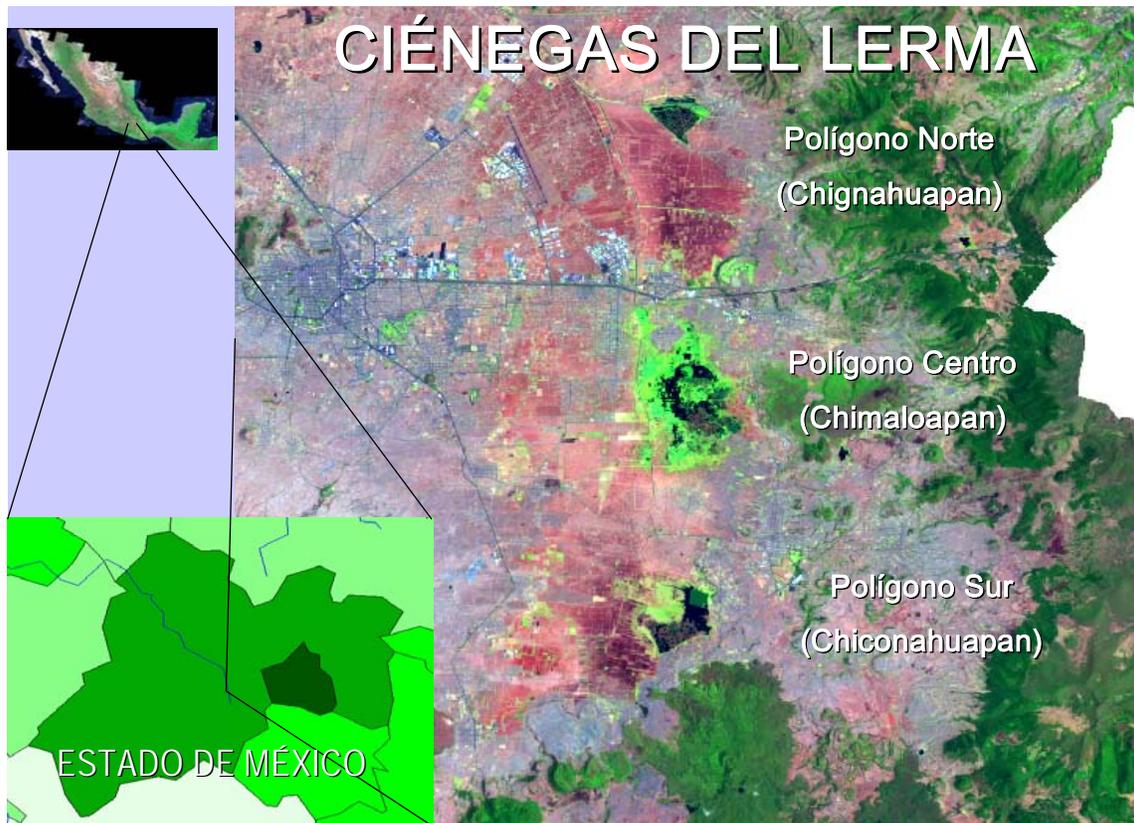
El Estado de México, está situado en la zona que conforma la Altiplanicie Meridional, formada por varias sierras, otorgándole un aspecto muy accidentado y variado. Es atravesado de oriente a poniente por el Eje Neovolcánico Transversal.

Al igual que la cuenca de México, el valle de Toluca se ve rodeado por elevaciones volcánicas y en su posición interna presenta una serie de lagunas que actualmente se encuentran desecadas casi en su totalidad.

El valle es circundado por altos estratos volcánicos, dentro de los cuales domina el Ajusco (3,937 msnm), situado al sureste y el Xinantécatl o Nevado de Toluca (4,575 msnm) situado al suroeste, (Heine, 1976; White y Valastro, 1984). El Valle se delimita al este por las serranías de las Cruces y Los Montes Altos, de origen terciario, el cual se extiende de norte a sur (Fries, 1960; Mosser, 1975). La parte sur está definida por estratos volcánicos de menor tamaño, los cuales constituyen la formación Chichinautzin y parte del Nevado de Toluca. Al suroeste, lo limita el Nevado de Toluca y al oeste por el Volcán San Antonio (Bloomfield y Valastro, 1974; Bloomfield, 1975).

La parte norte se considera como límite, una serie de regiones elevadas que corren de este-oeste, la zona norte de Temoaya y la Cañada de Ixtlahuaca (Sugiura, 1991).

El valle de Toluca, se encuentra separado de la Cuenca de México por la Sierra de las Cruces y queda limitada por las Sierras de Monte Bajo (Atzacapotzaltongo) al oeste, la de Monte Alto (Jilotzingo) al norte, cuya altitud promedio es de 3,217 (Ver figura 1).



(Figura 1) Zona de estudio

La cuenca del Alto Río Lerma es una de las más elevadas, con una altitud promedio de 2,580 dentro de todas las series de cuencas lacustres localizadas a lo largo del eje Neovolcánico, en la zona centro de México aproximadamente a una latitud Norte de 19° (Demant, 1981).

4.1 Clima

El Valle de Toluca se ha distinguido desde los tiempos precortesianos, como una de las regiones más productivas del centro de México; el medio lacustre jugó un papel muy importante en la zona sur del valle de Toluca.

El clima y la hidrología generaron un ambiente específico, del cual sus habitantes tuvieron que adecuar un conjunto de prácticas económicas lacustres y agrícolas (Albores, 1995).

La zona lacustre tiene el clima más húmedo de los climas templados, con temporadas de lluvias y heladas. En el despliegue anual de la temperatura, es de -7 a 31°C , delimitando una época con heladas y otra carente de ellas, presentándose muy temprano en septiembre y hasta los tiempos tardíos en mayo. La precipitación pluvial hace posible determinar una temporada de secas, de octubre a abril, y otra de lluvias, de mayo a septiembre (siendo más intenso en julio y agosto). Algunas lluvias se hacen presentes desde abril, continuándose hasta octubre.

En la zona de estudio, se tienen reportes de temperatura y precipitación de las partes más cercanas como San Pedro Techuchulco que tiene un promedio de temperatura en el mes de enero de 7.9°C y una precipitación anual de 900.1 mm ; Almoloya del Río 8.6°C y 1008.8 mm anuales; Santiago Tianguistenco con 11.7°C y 1053.8 mm anuales y Tenango del Valle con 10.6°C y una precipitación de 807.5 mm anuales.

4.2 Geología

El Eje Neovolcánico ubicado a los 19° de Latitud Norte, se presenta como un producto del vulcanismo del periodo cuaternario principalmente. Dicha formación geológica, dio lugar a la cuenca del Alto Lerma, de acuerdo con Mosser (1974,

citado por Sugiera, 1991), se describe en tres etapas todas ellas asociadas a los procesos volcánicos y tectónicos.

La primera etapa corresponde a las erupciones terciarias que representan el mioceno principalmente, caracterizadas por el material andesítico y riolítico, dio origen a una serie de sierras y valles, dentro de los cuales se formó la Sierra de las Cruces, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), la define con una edad de siete millones de años, presenta rocas porfídicas, constituidas por fenocristales de plagioclasa, hornblenda en diferentes grados de oxidación, además de contar en algunas partes, con cuarzo, biotita y piroxeno (Sánchez, 1984), en asociación con depósitos piroclásticos y posiblemente lahares.

La segunda etapa se ve fuertemente afectada por los movimientos tectónicos y emisiones volcánicas; los movimientos tuvieron una orientación de E-W, debido a una serie de fracturas, por donde surgió la lava formando una barrera, cerrando el sistema de drenaje hacia el norte, para posteriormente irse azolvando y rellenando, con aluviones, productos volcánicos y tobas lacustres.

Los movimientos tectónicos produjeron la separación de la gran laguna de Toluca-Atacomulco, convirtiéndola en una cuenca cerrada y dividida en dos subcuencas abiertas.

En la tercera etapa, continúa la actividad volcánica, que representa al Holoceno, caracterizada por el grupo Chichinautzin, con una orientación E-O. Las edades de los conos volcánicos (41) y lavas tienen de 8390 ± 100 y 40 000 años A.P. Estas edades se establecieron utilizando parámetros geomorfológicos (Bloomfield, 1975), quien además menciona que las rocas de esta zona presentan de 52% a 64 % de SiO_2 , clasificadas como andesíticas y hacia los extremos como basaltos alcalinos y dacitas.

4.3 Geomorfología

El Valle de Toluca, desde su formación se ha caracterizado por ser producto de un intenso vulcanismo, representado por conos cineríticos, derrames de lava y depósitos piroclásticos. La geomorfología que no tiene un origen asociado a una formación ígnea, es la planicie formada por el acarreo de material clástico y piroclástico, así como materiales de aluvión (Sugiura, 1995), que fueron rellenando zonas lacustrres y lugares poco y muy accidentados.

En tiempos recientes la forma del terreno ha sido modificada, debido a la influencia humana. Los agentes que modificaron las geoformas de la región (Sugiura, 1995), menciona dos tipos: Endógenos tales como los eventos volcánicos, fracturas y fallas, además se puede agregar el clima; los exógenos son los más importantes en la zona de estudio como la erosión y el intemperismo.

4.4 Topografía

Los fenómenos que han dado la fisonomía al Valle de Toluca son los movimientos tectónicos aunados a las continuas erupciones a través de su historia. La topografía de la zona aledaña ha influido de manera importante en la formación geomorfológica del Valle, debido a los eventos expuestos, además por su elevada altimetría, la zona lacustre sufre de los cambios causados por las bajas temperaturas. Por otra parte, en los terrenos que rodean al Valle se pueden presentar fenómenos glaciares, periglaciares y de soliflucción, que aumentan el proceso erosivo (Flores, 1995).

La topografía es determinante en el azolve de la zona, se observan dos puntos altimétricos, el de 2800 a 3200 msnm presentando pendientes poco pronunciadas y el de 3500 a 4565 msnm es la altitud del Nevado de Toluca, con pendientes muy pronunciadas. Estas características otorgan a la planicie, ubicada en los 2580 a 2700 msnm aproximadamente, una gran influencia de aportes aluviales, derivados

de los materiales presentes en los puntos más elevados, el cual guarda estrecha relación con los procesos geomorfológicos de sedimentación en el valle.

4.5 Edafología

Dentro de la carta edafológica del INEGI (1976), en la zona del Valle de Toluca se localizan las siguientes unidades de suelo: Histosol, Gleysol, Vertisol y Feozem, con variaciones y combinaciones entre ellos.

Los más abundantes en la zona de estudio son el Histosol eútrico y Gleysol húmico con textura media, alrededor de las grandes lagunas donde predominan Histosoles y Vertisoles, con suelos orgánicos y rico material fino, arcilla montmorillonita del tipo 2:1, la subunidad predominante es el Vertisol pélico, con las combinaciones de Feozem gleyco y háplico, dominando la textura fina.

Los suelos predominantes se denominan técnicamente Andosoles, esto es, suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas. Se extienden en el 22% del estado; se consideran de baja calidad agrícola o para fines pecuarios. Le siguen los Feozem, que cubren el 21% del territorio estatal y se localizan en las partes intermedias y bajas de montañas (piedemonte), de buena aptitud de uso ganadero. Los Vertisoles, suelos de zonas planas y los de mayor productividad agrícola ocupan un 14% del territorio estatal, siguiendo con un 11% los Regosoles o suelos poco desarrollados y con pedregosidad, ubicados mayormente en la Cuenca del Balsas. Su rendimiento agrícola es limitado y depende del grado de desarrollo que tenga, así como de su exposición a laderas y pendientes que provocan su erosión.

Con un 8% le siguen los Cambisoles o suelos cambiantes con alto contenido de arcilla, que forman grietas cuando se secan. Se encuentran los valles, son productivos para la agricultura si cuentan con riego. El 24% restante se distribuye en unidades menores como los Planosoles (7%), Litosoles (5%), Luvisoles (4%) y un 9% para Acrisoles, Histosoles, Fluvisoles, Gleysoles y Solonchak. Buena parte

de los suelos de buen rendimiento agrícola (Vertisoles y Feozem), son los que más rápidamente están pasando de uso de suelo agrícola a urbano e industrial, con lo que se presiona a los suelos de vocación forestal, provocando así fuerte erosión y pérdida de la biodiversidad. Una estrategia sencilla, para recuperar suelos y mantener su productividad agrícola es construir terrazas agrícolas y aplicar mejoradores orgánicos, para restituirles sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

4.6 Vegetación

La importancia de la vegetación natural e inducida, está asociada a la gran abundancia de recursos acuícolas, utilizados por los pobladores en tiempos remotos. Esta característica no solo la reflejan las extensas zonas de cultivo, sino que es palpable en la presencia de bosques y de aquellos terrenos donde el agua no los separa completamente.

La vegetación que habita la zona de estudio, son comunidades ligadas al medio acuático o al suelo saturado con agua. La vegetación acuática y subacuática tienen una amplia distribución pero existen algunas, que solo crecen en zonas limitadas por ciertas condiciones de temperatura, luminosidad, pH, salinidad y oxígeno entre otros, lo cual puede generar endemismos.

Existen diversos trabajos de reconocimiento realizados sobre la vegetación del Valle de Toluca como: (Herrera, 1951 a 1954), (Gómez 1969), (Martínez y Matuda, 1979), Según Herrera y Cantú (1954), en la vegetación acuática y subacuática se encuentran asociaciones de plantas arraigadas que sumergen, otras que están completamente sumergidas y las flotantes.

Dentro de estas asociaciones, los mismos autores mencionan cuatro grupos.

1. Vegetación francamente acuática: Dentro de esta clasificación se encuentran las asociaciones de plantas sumergidas y plantas flotantes; en especies sumergidas fueron: *Potamogeton illinoensis*, asociada con *P. foliosus* y *P. pectinatus*, *Ceratophyllum* y *Myriophyllum heterophyllum*, *M. hippuroidea*, donde *Ceratophyllum demersum* fue la más abundante. Las flotantes por especies de *Lemna* y *Wolffia* asociadas con *Azolla carolina* y *Spirodela polyrrhiza*. Existieron también otras asociaciones como lo fueran *Eichhornia crassipes* (introducida) *Ninphaea gracilis*, *Hydromysstria laevigata* y *Nymphoides fallax*. Dentro de la asociación de *Eichhornia crassipes* se encontraban también dos tipos de orquídeas como lo eran *Spiranthes graminea* y *Habenaria limosa*.

2. Vegetación de litoral: por la escasa profundidad en las que se desarrollan estas asociaciones, resultan muy numerosas como son: *Sagittaria Latifolia* y *S. macrophylla*. Otras asociaciones que se desarrollaron en las ciénegas fueron *Scirpus validus* – *Juncus effusus*, *Scirpus americanus*, *Thypha latifolia*, *Sparganium eurycarpum* y *Carex hystericina*, extendidas hasta el interior de la laguna y otras que solamente se limitaban en la orilla como *Leersia hexandra*, *Juncus scirpoides*, *Hydrocotyle verticillata*, *Aganipea bellidiflora*, *Bidens Chrysanthemoides* y *Berula eructa*.

3. Vegetación de las praderas húmedas: Dentro de este tipo las más frecuentes son: *Elocharys macrostachya*, *Polygonum pericarioides*, *Lopecia racemosa*, *Nemastylis tenuis*, *Sisyrinchium scabrum*, *Geranium potentillaefolium*, *Panicum holciformis*, *Agrostis schiedeana*, *Dalea leporina* y *Cologania congesta*. Además de los sauces, saucos, tejocotes, pirúles y tepozanes, así como una gran cantidad de gramíneas que se localizaban en las partes menos húmedas.

4. Vegetación ruderal: Este tipo de asociación se localiza en las lagunas. Dentro de las especies relevantes encontramos a: *Taraxacum officinale*, *Galinsoga parviflora*, *Solanum rostratum*, *Amaranthus hybridus*, *Urtica dioica*, *Scicyos deppei* y *Datura stramonium*.

Como se ha descrito anteriormente la gran riqueza biológica que se desarrolló en la zona lacustre, fue de gran importancia, pero también la vegetación original y la que se encuentra actualmente en pocos espacios, debido a la gran deforestación y el cambio en el uso del suelo, las zonas aledañas como los lomeríos y sierras presentan una gran riqueza que se ha logrado desarrollar a distintas altitudes, de tal manera que a los 2,450 y 2,800 msnm se encuentran los bosques de juníperos donde las especies más frecuentes son: *Juniperus deppeana* (enebro), *J. monticola* y *J. flaccida* (Martínez y Matuda, 1979).

Los bosques de Abies se presentan en asociaciones de *Pinus*, localizados a 2600 y 2700 msnm, predominando la especie *Abies religiosa*, para Martínez y Matuda estos bosques se ubican en cañadas y lugares muy húmedos y sombríos.

La zona que forma en conjunto el Alto Valle del Lerma ha sufrido una gran transformación; lo que antes era una gran laguna, actualmente se ha ido desecando y junto con la deforestación, las asociaciones vegetales han disminuido y en algunos casos han desaparecido.

Las planicies aluviales y lagunas se han transformado en zonas de cultivo desplazando la flora nativa, introduciendo especies alimenticias como maíz, haba, lechuga, col, calabaza, huauzontle, fríjol, además de la introducción de pastizales para el ganado.

Dentro de lo que queda de la gran laguna existen otras asociaciones vegetales que han sobrevivido, que son especies importantes para la artesanía de la población local y por lo consiguiente para su economía, las cuales son los “tulares” y “carrizales” que se distribuían ampliamente, dominados por: *Thypha latifolia* y *Scirpus spp* (Martínez y Matuda, 1979; Goldman, 1951).

4.7 Fauna

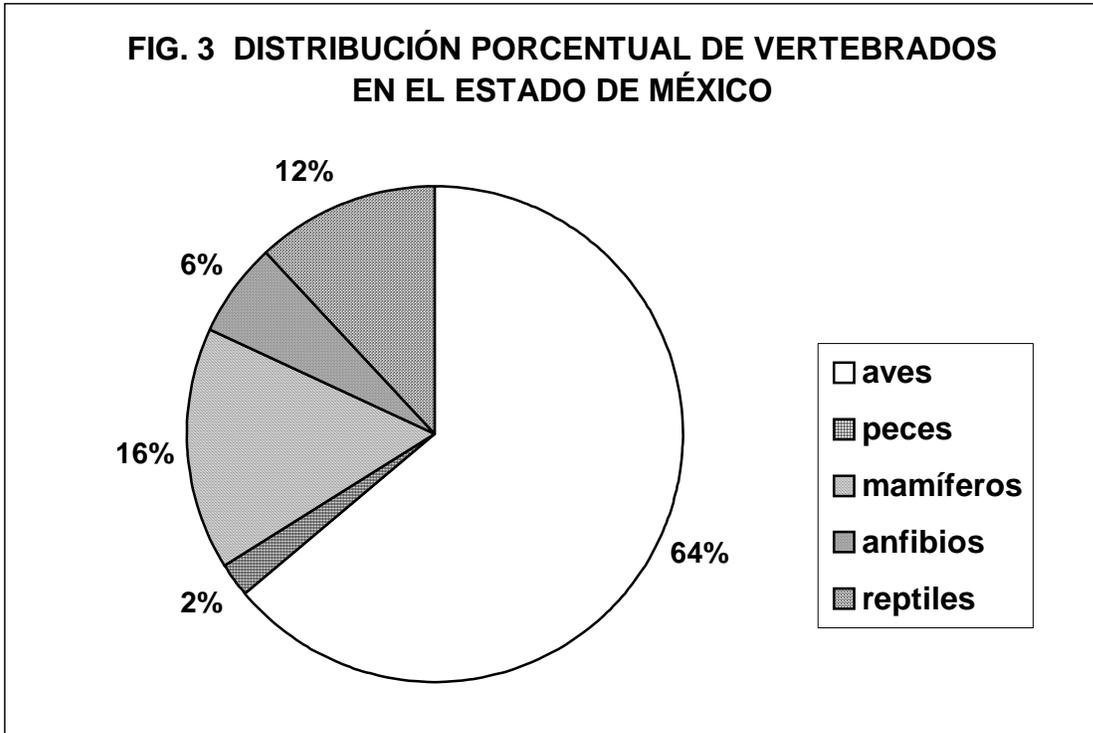
Las Ciénegas del Lerma cuentan con fauna diversa, ya que es una importante área de invernación de aves acuáticas migratorias (particularmente anátidos). Se han registrado 142 especies de aves. Se congregan en números variables: *Anas acuta*, *A. americana*, *A. strepera*, *A. crecca*, *A. cyanoptera*, *A. discors*, *A. clypeata*, *Oxyura jamaicensis*, *Aythya affinis*, *A. valisineria*, *A. americana*, *Gallinago gallinago*. Algunas de las especies incluidas en la NOM-SEMARNAT-059 en alguna categoría de riesgo son: *Rallus elegans tenuirostris* e *Ixobrychus exilis*. Es G-1 por la presencia de *Geothlypis speciosa* (Arizmendi y Márquez, 2000).

En la región han registrado a 117 especies de mamíferos silvestres, que representan ocho órdenes (62% del total nacional), 18 familias (49%) y 72 géneros (44%). Constituyen el 26% del total de especies reportadas en el país, diez especies (9%) que incluyen a cinco murciélagos, dos roedores, el coatí, el margay y el pecarí. Además, se encuentran alrededor de 27 especies que son endémicas del país y que representan el 6% del endemismo nacional.

Estas especies incluyen al conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) y a varias tuzas (*Cratogeomys merriami*, *Cratogeomys tylorhinus*) y ratones (*Neotomodon alstoni*, *Reithrodontomys chrysopsis* y *Peromyscus aztecus*).

En cuanto a la fauna herpetológica, se han registrado 79 especies de reptiles, que representan el 11% de todas las especies en el país e incluye a tortugas, lagartijas, iguanas, culebras y serpientes. Asimismo, existen 45 especies de anfibios, entre los que se han observado ajolotes, salamandras, ranas y sapos.

http://www.edomexico.gob.mx/portalgem/se/BIO_INTERNET/diversidad_c.html



4.8 Hidrología

El Valle de Toluca estaba formado por dos grandes lagunas que emanaban de numerosos manantiales. Al pie de las sierras los manantiales eran abundantes. Dentro de estos, los más importantes se localizaban en las inmediaciones de Almoloya del Río, lugar de origen del Río Lerma. En tiempos pasados existían nueve grupos de fuentes, entre las cuales destacan las de Texocuapan con aproximadamente 73 manantiales y Tecalco con 95, que formaban las Ciénegas de Chignahuapan y Lerma (Sugiera, 1991).

Los manantiales y ojos de agua que daban vida al Río Lerma tienen origen en las zonas de recarga que se alimentan de la lluvia, localizados en las partes altas y conducidos a través de los basaltos del Cuaternario, hacia la planicie donde la gran cantidad de aguas emerge a la superficie.

El Río Lerma forma parte de la Región Hidrológica 12, denominada Lerma-Santiago cuyo origen esta en las Sierras que rodean el Valle de Toluca. El Río Lerma recorre aproximadamente 125 Km, recogiendo varios aportes de diferente orden y atravesando la planicie del Valle hacia el norte.

Los manantiales que brotan de la zona occidental del Ajusco y las Cruces, son los principales tributarios de dicho río; otros afluentes son los que fluyen hacia el norte, noroeste y este, que proceden de la vertiente nororiental del Nevado de Toluca. En su curso hacia el norte, el Lerma se alimenta de los cauces de diferentes ríos como el Oztolotepec, Tejalpa y La Gavia.

Las lagunas más importantes formadas por las aguas de los manantiales son las que pertenecen a las serranías de las Cruces y el Ajusco, el Nevado de Toluca, la zona de Texcalyacac y Techuchulco, son alimentadores en pequeña proporción de las lagunas en especial la de Almoloya (Sugiera, 1995).

Las tres lagunas que en el pasado formaron un gran lago, se han visto reducidas debido principalmente a una sobreexplotación. A partir del siglo XVIII se presentaron los primeros proyectos que promovieron la desecación de la cuenca, en el año de 1948, las aguas son captadas para abastecer la Ciudad de México, y los túneles y acueductos, además de la perforación de un gran numero de pozos realizados en ambas márgenes del Río Lerma, han provocado un avanzado proceso de desecación de las lagunas, ríos y ciénegas (Newton, 1995).

La desaparición de las ciénegas y zonas de lagunas, de donde se obtienen productos alimenticios, naturales o cultivados, pesca, aves acuáticas o materia prima como el tule, utilizado para hacer objetos artesanales, es inminente lo que puede ocasionar graves afectaciones a la región y zonas circundantes.

La captación de agua en toda la Cuenca del Río Lerma para abastecer del vital líquido a la Ciudad de México, acabó con la riqueza biológica de la zona

provocando la migración o extinción de especies animales y vegetales y una reducción importante en la producción de los cultivos, además de que proporciona la emigración de sus habitantes.

Las Ciénegas del Lerma ubicadas en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México con una superficie total de 3, 023-95-74.005 ha, divididas en tres polígonos: Norte, “Chignahuapan”, con una superficie de 596-15-79.95 ha; Centro, “Chimalopan”, con una superficie de 2, 081-18-65.33 ha; y Sur, “Chiconahuapan”, con una superficie de 346-61-28.725 ha. (Diario Oficial de la Federación, 2002).

4.9 Industria

Cuadro 5. Algunas industrias del corredor Industrial Lerma

UBICACIÓN	INDUSTRIA	UBICACIÓN	INDUSTRIA
CEICA PLÁSTICOS DE MÉXICO SA DE CV	RODOLPHE RAYMON ROBERT MALLET	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	CURTIDOS LERMA, S.A. DE C.V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	ALLYA INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	DESARROLLO DE PRODUCTOS ESPECIALIZADOS
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	AMSA	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	GRUPO ACUARIO LOMAS
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	ARTE EN BRONCE, S.A. DE C. V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	HILOS SINTÉTICOS, S.A. DE C.V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	ASCOMÁTICA, S.A. DE C. V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	INDUSTRIAS AUJE, S.A. DE C.V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	COMERCIAL KNEELAND, S.A. DE C. V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	INDUSTRIAS CUTRONEO
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	COMERCIALIZADORA GOREGA, S.A. DE C. V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	INDUSTRIAS IDEAL

UBICACIÓN	INDUSTRIA	UBICACIÓN	INDUSTRIA
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	CURACRETO, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO I	INDUSTRIAS QUÍMICAS DE LERMA, S.A. DE C.V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	BUENOS MUEBLES	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	BROTHER
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	FARKEM, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	MANE MÉXICO, S.A. DE C.V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	FASKE, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	MONTACARGAS Y POLIPASTOS, S.A. DE C.V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	FERRING, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	PLÁSTICOS LEGUI, S.A. DE C.V. (GRUPO ELER)
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	GLASSDECO DECORACION EN CRISTAL, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	PROMOTORA DE TUERCAS Y TORNILLOS, S.A.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	GRUPO CUTMEX, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	SRA. MA. PATRICIA AMADOR VARGAS
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	IMPORTADORA Y COMERCIALIZADORA DEL PACIFICO, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	SRITA. MA. OFELIA DÍAZ CASTELLANOS
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	IMPORTADORA Y COMERCIALIZADORA DEL PACÍFICO	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	STAEDTLER DE MÉXICO, S.A. DE C. V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	INDUSTRIAS DE PRODUCTOS CONSTRUCTIVOS, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	INOXIDABLES, S.A. (EMPRESAS GB, S.A. DE C. V.)
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	INDUSTRIAS QUÍMICO FARMACÉUTICAS AMERICANAS, S.A. DE C.V.	PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	INTERNACIONAL DE MAQUINARIAS PARA ROCAS, S.A. DE C. V.
PARQUE INDUSTRIAL CERRILLO II	INYECCIÓN DE PLÁSTICO		

Fuente: (www. edomexico. gob.mx/. 06 de julio de 2005)

4.10 Demografía

- El total de la población de la Cuenca equivale a 15' 597, 346 (16% del total nacional).
- Las densidades poblacionales en la Cuenca, están por encima del valor promedio del país (41.6 hab./Km²).
- A nivel nacional, participación económica de la Cuenca Lerma-Chapala alcanza 31% para el sector industrial y 24% para el sector comercio.
- El índice de marginación más frecuente en la población de la Cuenca es de alto a muy alto (CONAPO, 2000).
- Desde 1976 al año 2000 se ha perdido 30% de la vegetación natural y 21% de la superficie de el Lago de Chapala (INE, 2003).
- 74% de la Cuenca presenta algún grado de degradación de suelos (SEMARNAT-Colegio de Posgraduados, 2002).
- 60% de los acuíferos se encuentran sobreexplotados, (Comisión Nacional del Agua, 2001).
- Desde 1993 funciona el primer Consejo de Cuenca.
- La mayoría de los estudios están enfocados al recurso agua (Cotler y Priego, 2004).

Cuadro 6. Datos relevantes del Municipio de Lerma.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	AÑO
DATOS BÁSICOS	-	-	-
POBLACIÓN	Persona	99 870	2000
Hombres	-	49 409	-
Mujeres	-	50 461	-
SUPERFICIE	Km ²	228.64	-
EDUCACIÓN	-	-	1999-2000
Alumnos	Alumno	29 836	-
Maestros	Maestro	1 444	-
Escuelas	Escuela	174	-
Educación básica	-	-	-

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	AÑO
Alumnos	Alumno	23 892	-
Maestros	Maestro	991	-
Escuelas	Escuela	136	
SALUD	-	-	2000
Unidades médicas	-	15	-
Médicos ^{1/}	Médico	55	-
Enfermeras	Enfermera	30	-
VIVIENDAS	Vivienda	19 372	2000
OCUPANTES	Persona	94 646	-
SERVICIOS PÚBLICOS EN LA VIVIENDA	Vivienda	-	-
Con agua	-	18 608	-
Con drenaje	-	16 293	-
Con energía eléctrica	-	19 093	-
LONGITUD DE CARRETERAS ^{2/}	Km	115.47	2000
ECONÓMICOS	-	-	2000
ABASTO SOCIAL	-	-	-
Tiendas	Establecimiento	4	-
TURISMO	.	.	.
Establecimientos	Establecimiento	1	.
FINANZAS PÚBLICAS	.	.	.
Inversión pública ejercida ^{2/}	Pesos	30 817 135.51	.
INDICADORES GENERALES	.	.	.
GEOGRÁFICOS	.	.	2000
Densidad de población	Habitante por Km ²	437	.
INFRAESTRUCTURA	.	.	2000
Kilómetros de caminos por cada mil habitantes	Km 1000 hab. ⁻¹	1.16	.
DEMOGRÁFICOS	.	.	2000
Población alfabetizada de 15 años y más	%	92.0	.
Población económicamente activa de 12 años y más	%	47.6	.
SOCIALES	.	.	.
EDUCACIÓN	.	.	1999-2000
Alumnos por maestro	Alumno por maestro	21	.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	AÑO
Alumnos por escuela	Alumno por escuela	171	.
Maestros por escuela	Maestro por escuela	8	.
Educación básica	.	.	.
Alumnos por maestro	Alumno por maestro	24	.
Alumnos por escuela	Alumno por escuela	176	.
Maestros por escuela	Maestro por escuela	7	.
SALUD	.	.	2000
Habitantes por unidad médica	Habitante por unidad	6 658	.
Habitantes por médico	Habitante por médico	1 816	.
ASENTAMIENTOS HUMANOS	%	.	2000
Población urbana	.	16.3	.
VIVIENDAS	Por ciento	.	2000
Con agua	.	96.1	.
Con drenaje	.	84.1	.
Con energía eléctrica	.	98.6	.
Ocupantes por vivienda	Ocupante por vivienda	4.9	.
ECONÓMICOS	.	.	2000
Inversión pública ejercida per cápita	Pesos por habitante	309	.

Fuente: (www. edomexico. gob.mx/)

5. HIPÓTESIS

Sí conocemos la calidad del agua de las Ciénegas del Lerma; la cual ha disminuido por la influencia de la zona industrial, la expansión urbana, la deforestación de los bosques y el uso desmedido de los recursos naturales; y sí se desarrollan las pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida, nos permitirá proponer un programa de manejo adecuado para frenar el deterioro constante del ecosistema, de tal manera que pueda seguir siendo una fuente importante de productividad primaria, preservar la diversidad biológica, regular el clima y continuar siendo la base de tradiciones locales.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Evaluar el grado de contaminación de las aguas de las Ciénegas del Lerma en el Estado de México, mediante parámetros físicos, químicos y biológicos y compararlos con las Normas Oficiales Mexicanas en materia de prevención de la contaminación del agua. Así mismo, realizar las pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida, establecidos por la Organización de Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE).

6.2 Objetivos Particulares:

- ❖ Evaluar la composición física, química y biológica de las Ciénegas del Lerma: Chignahuapan (humedal norte), Chimaloapan (humedal centro) y Chiconahuapan (humedal sur), empleando criterios de calidad del agua y de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas.
- ❖ Determinar las diferencias en la composición física, química y biológica del agua con respecto al tiempo y espacio.
- ❖ Realizar pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida en los humedales, para tener un parámetro objetivo del efecto del vertimiento de las descargas de aguas residuales, para inferir el manejo del recurso hídrico.

7. MÉTODOS

El trabajo se dividió en tres etapas: gabinete, campo y laboratorio.

Trabajo de campo

Se realizaron recorridos georeferenciados para identificar los sitios de monitoreo.

Monitoreo a cuerpo receptor. Para realizar el monitoreo se consideraron las siguientes Normas Oficiales Mexicanas.

NOM-AA-14-1980. “Cuerpos receptores-muestreo”. Esta Norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, excluyendo aguas estuarinas y aguas marinas, con el fin de determinar las características físicas, químicas y bacteriológicas.

Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. “Aguas residuales-muestreo”. Establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas.

De lo recomendado por esta norma se cuidaron los siguientes aspectos:

1. Colectar la muestra a una distancia tal, que no se manifieste influencia directa de ninguna descarga.
2. Se cuidó que la distancia fuera la suficiente, para que los contaminantes se mezclaran uniformemente en el cuerpo receptor.
3. Se consideró una distancia en la cual el cuerpo receptor adsorbe el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación.

Cuadro 7. Almacenamiento y conservación de las muestras

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de la muestra (mL)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
DBO ₅	Vidrio, plástico	1000	Refrigeración	6-48 hr.
Color	Vidrio, plástico	500	Refrigeración	48 hr.
Conductividad eléctrica	Vidrio, plástico	500	Refrigeración	28 días
Metales	Vidrio, plástico	-	Para disolución, filtrar y adicionar HNO ₃ a un pH <2	6 meses
Cromo hexavalente	Vidrio, plástico	300	Refrigerar	24 hr.
Nitratos	Vidrio, plástico	100	Analizar tan pronto como sea posible	48 hr.
Grasas y aceites	Vidrio	1000	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH <2, refrigerar	28 días
Fenoles	Vidrio, plástico	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH <2, refrigerar	28 días
Oxígeno disuelto	Vidrio (frasco DBO)	300	Analizar inmediatamente	0.5
pH	Vidrio, plástico	-	Analizar inmediatamente	2 hr.
Fosfatos	Vidrio	100	Refrigerar	48 hr.
Sólidos	Vidrio, plástico	1000	Refrigerar	2-7 días
Temperatura	Vidrio, plástico	-	Analizar inmediatamente	

Las muestras fueron simples e instantánea. Los sitios seleccionados para la toma de muestras, dependió principalmente de las rutas de acceso. El número de muestreos se realizó de acuerdo a la extensión de cada humedal.

Cuadro 8. Parámetros de campo

NOM-AA-87	Determinación de la temperatura. Método visual con termómetro.
NOM-AA-80	Determinación de pH. Método potenciométrico.
NOM-AA-93	Determinación de la conductividad eléctrica.
4500-OA- APHA	Oxígeno disuelto. Método de electrodo de membrana.

Cuadro 9. Parámetros de laboratorio

NOM-AA-4-1980	Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales. Método del cono imhoff.
NOM-AA-5-1980	Determinación de grasas y aceites. Método de extracción soxhlet.
NOM-AA-12-1980	Determinación de oxígeno disuelto (OD). Método de winkler-azida.
NOM-AA-28-1980	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅). Método de incubación por dilución.
NOM-AA-30-1980	Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Método del reflujo del dicromato.
NOM-AA-39-1980	Determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Método colorimétrico del azul de metileno.
NOM-AA-42-1980	Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación.
NOM-AA-51-1990	Determinación de metales. Método espectrofotométrico de absorción atómica.
NOM-AA-17-1980	Color. Escala Platino-Cobalto.
NOM-AA-50-1981	Fenoles. Método de la 1-4 aminoantipirina.
NOM-001- SEMARNAT-1997	Huevos de helmintos. Método difásico y método de flotación.
NOM-AA-29-1981	Fósforo total. Método del fosfovanadomolibdato.
4500-NO ³⁻ -APHA	Nitratos. Método del electrodo de nitrato.
NOM-AA-44-1981	Cromo ⁶⁺ . Método colorimétrico.

Pruebas de biodegradabilidad aerobia rápida para evaluar compuestos químicos disueltos y coloidales en aguas

Al concluir la caracterización física, química y biológica, así como las pruebas de biodegradabilidad, se usaron criterios nacionales e internacionales para determinar la calidad del agua.

En la guía desarrollada por la Organización de Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE), se describen métodos que permiten la evaluación de compuestos químicos disueltos o coloidales presentes en medio acuoso mediante la prueba de biodegradabilidad aerobia rápida (OCDE, 1992), dos de ellos son:

301 A: Disminución de COD (carbono orgánico disuelto).

301 D: Botellas cerradas.

Principio general de las pruebas

Las soluciones o suspensiones de las sustancias de prueba, se inoculan e incuban en un medio mineral en condiciones aerobias bajo luz tenue o difusa. La cantidad de carbono orgánico disuelto (COD) en la solución de prueba debida al inóculo, se mantiene tan baja como es posible comparada con la cantidad de carbono orgánico debida a la sustancia o sustancias de prueba. Se consideró la actividad endógena del inóculo corriendo paralelamente blancos o controles con inóculo, pero sin muestra de las sustancias en estudio, se consideró que la actividad endógena de las células en presencia de algún compuesto químico no corresponde exactamente a la del control endógeno.

El curso de la degradación se siguió por medio de la determinación de COD y la captación de oxígeno. Las mediciones se tomaron a intervalos lo suficientemente

frecuentes que permitieron la identificación del inicio y el final de la biodegradación.

La prueba duró 28 días. Puede finalizarse antes de 28 días, por ejemplo, tan pronto como la curva de la biodegradación haya alcanzado una meseta en al menos tres determinaciones analíticas.

Cuadro10. Métodos de prueba aplicables a diferentes sustancias (OCDE, 1992)

Prueba	Método analítico de seguimiento
Disminución del COD (301 A)	Carbono orgánico disuelto
Botellas cerradas (301 D)	Respirometría: oxígeno disuelto

Niveles apropiados para realizar las pruebas de biodegradabilidad

Cuando los niveles de biodegradabilidad aerobia alcanzaron un 70% de remoción de COD, se consideró que las pruebas fueron adecuadas.

Reproducibilidad de las pruebas

Se recomienda que las determinaciones se realicen por duplicado.

Durante el procedimiento y preparación de las pruebas generales se deben considerar algunos factores como: el agua, debe ser destilada o desionizada, libre de sustancias tóxicas. No debe contener más de 10% del carbón orgánico introducido a la prueba.

El medio mineral se prepara a partir de soluciones "Madre" (stock), con concentraciones apropiadas de compuestos minerales, especialmente solución

tampón de fosfatos, cloruro de calcio, sulfato de magnesio heptahidratado y cloruro férrico hexahidratado. Método de selección modificado de la OCDE (301 E), (OCDE, 1992).

El inóculo provino de lodos activados de plantas de tratamientos de aguas, aguas residuales domiciliarias y suelos superficiales. Para el método de consumo de carbono orgánico disuelto, DOC (301A), se usaron lodos activados.

El inóculo se preacondiciono para la etapa experimental. El preacondicionamiento consistió en la aereación de los lodos activos (en medio mineral) de 5 a 7 días a la temperatura de prueba.

Cuando se consideró pertinente corroboramos la posible degradación abiótica de la sustancia de prueba mediante la determinación de la remoción de carbono orgánico disuelto.

En cuanto al numero de frascos y muestras, usamos 14 frascos con inóculo. Es obligatorio el seguimiento analítico del carbono orgánico disuelto y/o de los otros parámetros en otras suspensiones de prueba y en los blancos.

Es necesario asegurar que se están tomado suficientes muestras que permitan valorar el porcentaje de remoción en el intervalo de los 10 días, muchas veces no es posible especificar exactamente la frecuencia de muestreo debido al amplio margen de las fases de demora (adaptación) y las tasas de degradación.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de biodegradabilidad, se podrá inferir el posible manejo del sistema en sus tres polígonos norte, centro y sur.

8. RESULTADOS

8.1 sitios de monitoreo

A continuación en representación espacial y georeferenciados, indicamos cada uno de los sitios monitoreados en las Ciénegas del Lerma: Chignahuapan (humedal norte), Chimaloapan (humedal centro) y Chiconahuapan (humedal sur).

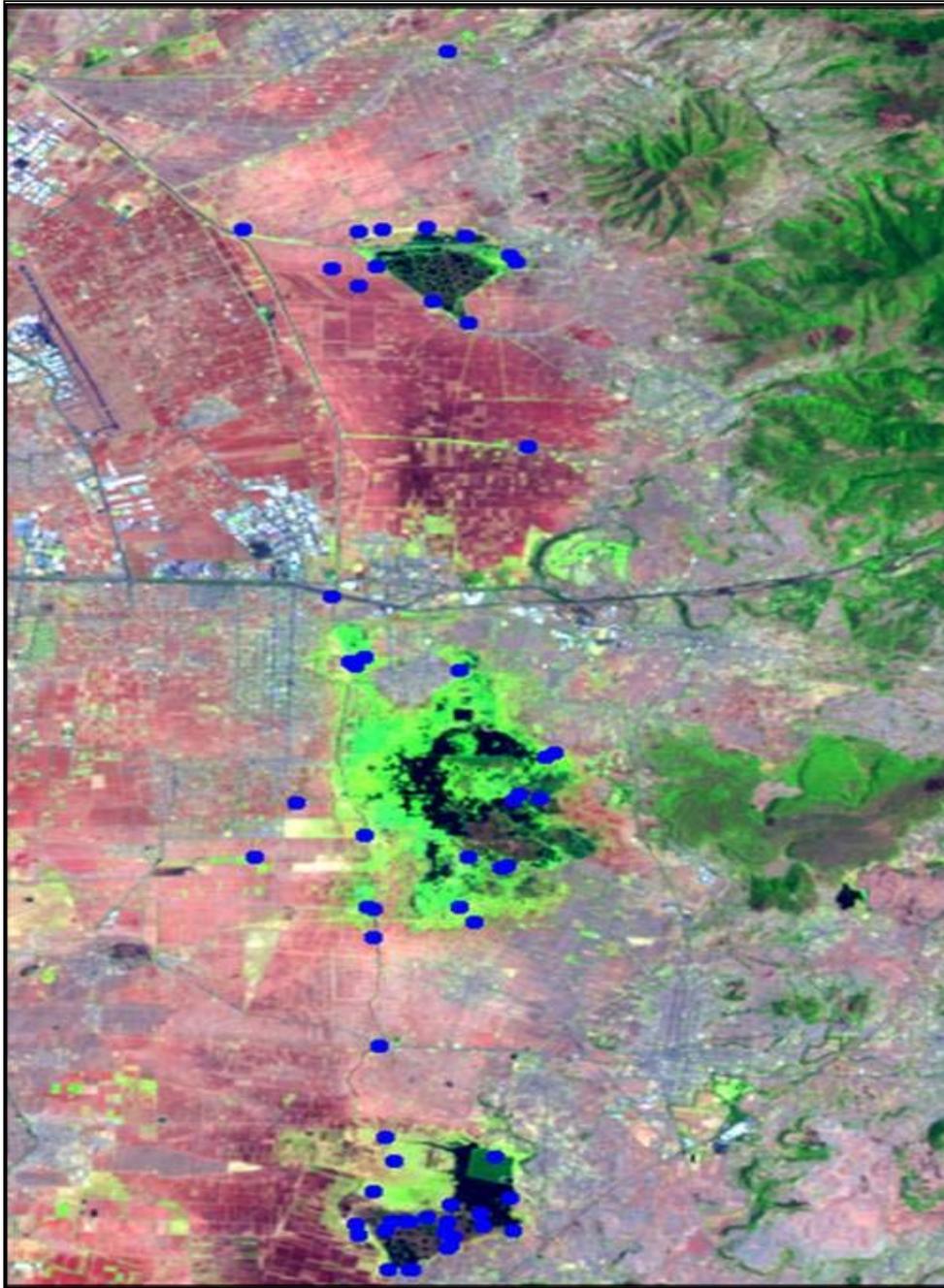


Figura 2. Representación espacial de los sitios de muestreo

Las coordenadas para cada uno de los sitios de muestreo son:

No. de sitio	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)	No. de sitio	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)
1	2596	2 115 875	446 113	56	2573	2 139 029	446 908
2	2602	2 115 915	446 539	57	2589	2 139 940	448 376
3	2591	2 116 465	447 232	58	2593	2 139 401	445 590
52	2586	2 139 805	445 166	59	2591	2 138 518	447 521
53	2590	2 139 871	445 944	60	2591	2 140 714	446 042
54	2585	2 140 739	443 605	61	2533	2 140 781	446 784
55	2577	2 140 709	445 604				

No. de sitio	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)	No. de sitio	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)
6	2585	2 124 586	447 372	17	2586	2 127 156	448 793
7	2595	2 124 205	447 662	18	2585	2 125 777	447 520
8	2598	2 121 253	445 993	19	2548	2 135 566	448 561
9	2590	2 132 001	445 127	20	2587	2 130 190	447 354
10	2592	2 128 218	449 036	21	2585	2 140 100	448 285
11	2611	2 128 150	448 883	22	2587	2 140 580	447 470
12	2588	2 130 425	445 461	23	2587	2 140 580	447 470
13	2587	2 130 336	445 585	24	2600	2 145 000	447 180
14	2585	2 130 543	445 696	28	2565	2 125 770	443 815
15	2581	2 127 118	448 309	28	2585	2 126 260	445 710
16	2582	2 127 260	448 423	30	2585	2 127 065	444 505

No. de sitio	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)	No. de sitio	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)
4	2602	2 116 825	448 324	39	2580	2 125 547	448 202
5	2596	2 117 634	448 282	40	2593	2 116 833	446 090
25	2589	2 118 515	446 214	41	2591	2 117 026	446 166
26	2589	2 119 084	446 062	42	2590	2 117 061	446 421
27	2565	2 125 770	443 815	43	2596	2 117 050	446 513
31	2570	2 123 845	445 900	44	2590	2 117 148	446 808
32	2570	2 124 520	445 900	45	2591	2 117 039	447 167
33	2579	2 124 578	445 773	46	2592	2 116 922	447 803
34	2585	2 115 908	446 511	47	2599	2 172 228	447 756
35	2590	2 116 780	447 100	48	2582	2 117 444	447 220
36	2590	2 116 695	447 270	49	2582	2 116 968	445 548
37	2594	2 116 413	447 161	50	2586	2 117 781	445 856
38	2582	2 125 514	448 100	51	2592	2 116 705	445 631

8.2 Calidad del agua

PARÁMETROS	CUADRO 14. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL NORTE, "CHIGNAHUAPAN"												
	MARZO (2004)			NOVIEMBRE (2004)									
No. de sitio	1	2	3	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
pH	7.64	8.41	9.10	7.6	8.34	8.62	8.9	8.47	8.23	8.81	8.77	6.29	8.34
Temperatura (°C)	15.0	16.2	16.9	11.7	18.0	13.5	18.2	11.0	8.0	10.5	8.1	11.5	13.5
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S L}^{-1}$)	9.51	7.05	7.32	5.74	5.92	3.67	5.96	3.35	2.12	4.24	4.65	6.01	6.06
Oxígeno Disuelto (mg L^{-1})	7.880	7.059	6.913	0.27	1.9	0.78	5.63	0.57	1.73	0.17	2.52	0.26	5.35
Sólidos Sedimentables (mL L^{-1})	3.5	0.1	<0.1	6.0	0.1	0.0	0.2	1.1	0.8	5.0	1.0	0.7	0.8
Profundidad (cm)	70.0	75.0	80.0	130.0	50.0	240.0	40.0	100.0	80.0	200.0	70.0	80.0	100.0
Transparencia (cm)	20.0	65.0	70.0	15.0	50.0	70.0	10.0	60.0	65.0	40.0	70.0	60.0	100.0
Color (UC)	-	-	-	0	500	400	400	500	300	400	400	500	400
Grasas y Aceites (mg L^{-1})	0.2010	0.1784	0.1228	0.02462	0.03133	0.0235	0.01762	0.0147	0.07594	0.01928	0.02164	0.08547	0.02448
Fenoles (mg L^{-1})	0.00	0.80	2.80	28.01	39.77	28.71	21.73	42.01	4.76	5.15	4.53	4.84	4.08
SAAM (mg L^{-1})	2.1	2.9	2.3	5.05	5.5	0.5	4.4	0.25	ND	2.45	4.0	0.01	3.0
DBO ₅ (mg L^{-1})	397.45	279.13	411.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO (mg L^{-1})	694.44	750.85	772.55	841.66	247.39	195.31	225.69	177.95	208.33	490.45	217.01	260.41	329.86
Coliformes Totales (NMP 100 mL^{-1})	120.0	300.0	80.0	9.0	120.0	240.0	7.0	14.0	23.0	20.0	21.0	0.0	9.0
Coliformes Fecales (NMP 100 mL^{-1})	60.0	180.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	14.0	0.0	0.0	3.0
Huevos de Helminto (N° huevos L^{-1})	5.0	8.0	9.0	3.0	2.0	1.0	3.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0
Fosfatos (mg L^{-1})	0.111	0.045	0.046	0.048	0.039	0.033	0.028	0.073	0.022	0.052	0.026	0.024	0.021
Nitratos (mg L^{-1})	-	-	-	1.1	1.108	1.118	1.108	1.101	1.112	1.152	1.146	1.139	1.139

- = No Determinado. ND= No Detectado

Metales pesados	CUADRO 15. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL NORTE, "CHIGNAHUAPAN"												
	MARZO (2004)			NOVIEMBRE (2004)									
No. de sitio	1	2	3	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
Cr ⁶⁺ (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	0.051	0.006	0.051	0.01	0.0051	0.024	ND	0.018	0.017	0.01
Zn (mg L ⁻¹)	0.160	0.0019	0.0030	0.042	0.021	0.035	0.028	ND	0.014	0.021	0.21	0.35	0.28
Pb (mg L ⁻¹)	0.016	0.008	0.012	0.008	0.006	0.006	0.008	0.006	0.004	0.004	0.004	0.004	0.008
Fe (mg L ⁻¹)	0.071	0.022	0.070	0.611	0.2	0.22	0.03	ND	0.81	0.352	0.264	0.034	0.018
Cd (mg L ⁻¹)	0.0009	0.0019	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND = No Detectado

PARÁMETROS	CUADRO 16. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL CENTRO, "CHIMALOAPAN"												
	ABRIL (2004)				MAYO (2004)								
No. de sitio	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
pH	8.50	6.99	8.33	8.38	6.22	6.83	6.89	8.01	8.33	6.07	6.29	7.70	6.83
Temperatura (°C)	10.4	10.6	22.6	15.9	23.4	25.4	22.6	22.1	23.5	15.4	15.5	14.2	18.0
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S L}^{-1}$)	7.775	8.85	6.26	6.01	3.47	3.59	9.53	9.01	4.87	7.84	5.88	4.74	5.15
Oxígeno Disuelto (mg L^{-1})	0.3	0.3	0.3	0.6	6.26	7.38	7.95	2.5	7.8	9.5	0.47	9.17	3.47
Sólidos Sedimentables (mL L^{-1})	2.0	2.0	1.0	0.1	0.4	1.0	2.5	0.4	0.1	2.1	1.5	3.0	0.1
Profundidad (cm)	100.0	100.0	29.0	35.0	60.0	30.0	60.0	120.0	100.0	250.0	100.0	90.0	30.0
Transparencia (cm)	29.0	14.0	9.0	18.0	15.0	7.0	20.0	33.0	20.0	50.0	15.0	15.0	15.0
Color (UC)	200	200	50	150	400	400	500	500	500	25	500	500	500
Grasas y Aceites (mg L^{-1})	0.1276	0.2523	0.0605	0.0731	0.0608	0.0294	0.0950	0.1765	0.0886	0.0875	0.0813	0.0642	0.0606
fenoles (mg L^{-1})	2.4	3.0	3.4	8.6	0.8	0.0	0.14	0.18	ND	ND	0.4	ND	0.0
SAAM (mg L^{-1})	1.9	1.9	2.2	1.8	ND	0.65	ND	1.55	0.25	ND	ND	ND	0.1
DBO ₅ (mg L^{-1})	586.23	365.4	421.65	270.05	263.68	271.65	112.05	114.3	297.43	310.45	399.08	315.64	497.77
DQO (mg L^{-1})	763.87	572.9	603.27	586.1	443.22	647.02	664.57	734.2	564.75	686.27	782.1	865.72	886.45
Coliformes Totales (NMP 100 mL^{-1})	2,400	11,000	1,500	24,000	2,400	24,000	11,000	24,000	24,000	30.0	70.0	30.0	70.0
Coliformes Fecales (NMP 100 mL^{-1})	350.0	180.0	270.0	2,000	2,400	11,000	2,400	1,500	2,400	30.0	70.0	ND	0.0
Huevos de Helminto (N° huevos L^{-1})	9.0	10.0	6.0	11.0	4.0	5.0	7.0	6.0	5.0	5.0	9.0	3.0	3.0
Fosfatos (mg L^{-1})	0.15	0.225	0.115	0.134	0.134	0.081	0.26	0.296	0.268	0.126	0.077	0.069	0.043
Nitratos (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- = No Determinado. ND= No Detectado

PARÁMETROS	CUADRO 17. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL CENTRO, "CHIMALOAPAN"								
	JUNIO (2004)						JULIO (2004)		
No. de sitio	19	20	21	22	23	24	28	29	30
pH	8.25	7.23	6.66	8.42	7.24	7.41	8.48	8.5	7.93
Temperatura (°C)	17.4	16.0	17.3	16.2	16.9	15.3	17.6	17.0	18.6
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S L}^{-1}$)	0.2	0.3	0.3	3.7	0.7	4.6	0.68	0.54	0.73
Oxígeno Disuelto (mg L^{-1})	0.2	0.3	0.3	3.7	0.7	4.5	0.7	0.3	ND
Sólidos Sedimentables (mg L^{-1})	0.1	0.5	0.2	0.3	0.3	0.8	0.1	0.1	0.5
Profundidad (cm)	38.0	230.0	0.0	95.0	130.0	18.0	20.0	35.0	48.0
Transparencia (cm)	23.0	12.0	0.0	15.0	22.0	15.0	20.0	12.0	12.0
Color (UC)	400	500	400	0	500	400	500	400	50
Grasas y Aceites (mg L^{-1})	0.0492	0.0795	0.068	0.049	0.0463	0.042	0.07286	0.05163	0.0756
Fenoles (mg L^{-1})	ND	ND	0.86	0.08	0.06	ND	2.0	ND	1.0
SAAM (mg L^{-1})	5.2	5.0	0.55	1.0	0.8	0.9	ND	ND	ND
DBO ₅ (mg L^{-1})	530.11	273.48	111.09	621.31	811.07	278.07	-	-	-
DQO (mg L^{-1})	870.10	499.12	217.71	860.75	921.7	525.15	939.06	926.04	847.22
Coliformes Totales (NMP 100 mL ⁻¹)	11,000	280.0	2,400	0.0	11,000	110	2,400	2,400	11,000
Coliformes Fecales (NMP 100 mL ⁻¹)	2,400	280.0	2,400	0.0	4,600	110	2,400	2,400	4,600
Huevos de Helminto (N° huevos L ⁻¹)	5.0	3.0	3.0	6.0	7.0	4.0	2.0	3.0	1.0
Fosfatos (mg L^{-1})	0.069	0.06	0.048	0.024	0.054	0.029	0.157	0.036	0.202
Nitratos (mg L^{-1})	0.866	0.873	0.869	0.878	0.888	0.897	0.894	0.893	0.891

- = No Determinado. ND= No Detectado

Metales pesados	CUADRO 18. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL CENTRO, "CHIMALOAPAN"												
	ABRIL (2004)				MAYO (2004)								
No. de sitio	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Cr ⁶⁺ (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn (mg L ⁻¹)	0.0059	0.014	0.015	0.014	0.01	0.01	0.01	0.068	0.009	0.006	0.008	0.006	0.008
Pb (mg L ⁻¹)	0.014	0.018	0.016	0.022	0.0086	0.013	0.017	0.0043	0.0043	0.0086	0.0086	ND	ND
Fe (mg L ⁻¹)	0.05	0.042	0.032	0.030	0.041	0.31	0.055	0.037	0.003	0.141	0.075	0.116	0.096
Cd (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	0.00072	ND	0.00072	0.00072	ND	ND	0.00072	0.00072

ND = No Detectado

Metales Pesados	CUADRO 19. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL CENTRO, "CHIMALOAPAN"								
	JUNIO (2004)						JULIO (2004)		
No. de sitio	19	20	21	22	23	24	28	29	30
Cr ⁶⁺ (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu (mg L ⁻¹)	0.014	0.013	0.009	0.01	0.009	0.01	0.0008	ND	0.0017
Zn (mg L ⁻¹)	0.1	0.1	0.1	0.008	0.009	0.006	0.085	0.019	0.213
Pb (mg L ⁻¹)	0.0086	0.013	0.055	0.037	0.003	0.141	0.011	0.006	0.013
Fe (mg L ⁻¹)	0.041	0.31	0.055	0.037	0.003	0.141	0.009	0.008	0.004
Cd (mg L ⁻¹)	ND	0.00072	ND	0.00072	0.00072	ND	0.0016	0.0016	0.0008

PARÁMETROS	CUADRO 20. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL SUR, "CHICONAHUAPAN"													
	MARZO (2004)		JUNIO (2004)			JULIO (2004)			SEPTIEMBRE (2004)					
	4	5	25	26	27	31	32	33	34	35	36	37	38	39
No. de sitio	4	5	25	26	27	31	32	33	34	35	36	37	38	39
pH	8.10	9.23	8.78	9.13	7.46	8.45	7.63	9.63	8.19	8.32	9.23	8.76	9.5	10.41
Temperatura (°C)	17.7	20.0	17.2	16.3	14.0	16.9	13.6	21.0	16.9	16.4	16.8	18.0	15.1	13.8
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S L}^{-1}$)	8.8	8.11	10.4	4.9	0.3	6.34	9.12	0.55	0.5	4.37	4.67	0.47	0.39	0.35
Oxígeno Disuelto (mg L^{-1})	6.91	6.635	10.4	4.9	0.3	0.3	0.5	3.9	3.2	3.0	3.5	1.5	1.0	1.1
Sólidos Sedimentables (mL L^{-1})	3.0	0.1	0.3	0.3	2.0	1.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.03	0.1	0.05
Profundidad (cm)	50.0	55.0	100.0	20.0	65.0	150.0	60.0	85.0	160.0	130.0	100.0	100.0	80.0	110.0
Transparencia (cm)	10.0	35.0	12.0	20.0	20.0	10.0	27.0	17.0	50.0	95.0	95.0	85.0	30.0	40.0
Color (UC)	100	200	400	250	50	200	500	400	400	400	500	500	400	300
Grasas y Aceites (mg L^{-1})	0.1086	0.1489	0.0491	0.0503	0.0485	0.0949	0.03468	0.03671	0.1403	0.1504	0.1785	0.0931	0.7585	0.6735
Fenoles (mg L^{-1})	0.05	0.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SAAM (mg L^{-1})	2.4	1.10	0.55	1.0	5.55	ND	2.0	3.0	ND	2.0	4.2	0.6	ND	ND
DBO (mg L^{-1})	169.73	316.71	215.67	347.31	99.07	-	-	-	299.47	221.35	386.28	286.45	303.81	256.07
DQO (mg L^{-1})	351.55	320.82	370.12	311.97	286.45	95.48	233.68	147.74	199.47	221.35	186.28	186.45	203.84	256.07
Coliformes Totales (NMP 100 mL^{-1})	450.0	160.0	110.0	0.0	200.0	24,000	70.0	200.0	1,200	230.0	300.0	390.0	2,400	2,400
Coliformes Fecales (NMP 100 mL^{-1})	180.0	30.0	110.0	0.0	200.0	24,000	70.0	200.0	1,200	230.0	300.0	340.0	1,200	2,400
Huevos de Helminto (N° huevos L^{-1})	6.0	11.0	8.0	5.0	4.0	4.0	3.0	5.0	2.0	4.0	3.0	4.0	2.0	1.0
Fosfatos (mg L^{-1})	0.073	0.069	0.215	0.333	0.174	0.044	0.0	0.037	0.05	0.045	0.049	0.052	0.039	0.023
Nitratos (mg L^{-1})	-	-	0.886	0.885	0.883	0.893	0.892	0.896	1.022	1.096	1.087	1.089	1.205	1.267

- = No Determinado. ND=No Detectado

PARÁMETROS	CUADRO 21. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL SUR, "CHICONAHUAPAN"											
	OCTUBRE (2004)											
No. de sitio	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
pH	8.62	8.92	8.62	8.34	6.62	8.46	9.55	9.33	9.4	8.78	8.85	6.45
Temperatura (°C)	16.4	16.0	15.5	14.4	12.8	15.1	16.5	16.4	16.5	14.1	14.7	14.6
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S L}^{-1}$)	5.8	5.88	5.44	5.46	4.88	4.81	0.64	0.66	0.66	7.58	6.45	8.97
Oxígeno Disuelto(mg L^{-1})	3.3	7.9	3.6	0.7	0.6	2.5	1.1	6.8	6.0	1.2	0.1	0.2
Sólidos Sedimentables (mL L^{-1})	0.1	0.1	1.1	0.6	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	3.5	2.3	0.8
Profundidad (cm)	110.0	110.0	100.0	70.0	70.0	88.0	130.0	140.0	95.0	85.0	35.0	80.0
Transparencia (cm)	65.0	70.0	68.0	50.0	53.0	65.0	25.0	27.0	20.0	60.0	35.0	45.0
Color (UC)	500	400	500	500	500	500	400	500	500	25	25	30
Grasas y Aceites (mg L^{-1})	0.7	0.6351	0.725	0.6871	0.4569	0.369	0.482	0.2008	0.375	0.2534	0.3845	1.716
Fenoles (mg L^{-1})	11.87	22.24	32.04	26.44	27.56	ND	ND	8.29	ND	11.117	8.73	5.21
SAAM (mg L^{-1})	2.75	3.0	2.0	0.6	ND	2.0	0.6	0.01	1.2	2.75	2.0	ND
DBO ₅ (mg L^{-1})	143.03	175.20	143.56	90.32	142.52	146.90	297.06	221.56	250.32	545.09	430.18	234.07
DQO (mg L^{-1})	151.9	230.03	177.95	160.59	273.43	169.93	334.2	264.75	273.43	581.59	447.04	277.77
Coliformes Totales (NMP 100 mL ⁻¹)	11,000	280.0	110.0	30.0	110.0	1,200	280.0	280.0	110.0	1,200	4,600	11,000
Coliformes Fecales (NMP 100 mL ⁻¹)	11,000	280.0	110.0	30.0	110.0	1,200	280.0	280.0	110.0	1,200	4,600	11,000
Huevos de Helminto (N° huevos L ⁻¹)	5.0	1.0	2.0	3.0	2.0	4.0	3.0	6.0	3.0	2.0	4.0	2.0
Fosfatos (mg L^{-1})	0.063	0.047	0.042	0.065	0.068	0.065	0.094	0.091	0.126	0.056	0.077	0.44
Nitratos (mg L^{-1})	0.827	0.836	0.837	0.835	0.835	0.833	0.964	0.841	0.842	0.845	0.835	0.859

- = No Determinado. ND=No Detectado

Metales pesados	CUADRO 22. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL SUR, "CHICONAHUAPAN"													
	MARZO (2004)		JUNIO (2004)			JULIO (2004)			SEPTIEMBRE (2004)					
No. de sitio	4	5	25	26	27	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Cr ⁶⁺ (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu (mg L ⁻¹)	ND	ND	0.0009	0.0009	0.0009	0.0017	ND	ND	0.05	0.013	0.013	0.012	0.0139	0.011
Zn (mg L ⁻¹)	0.012	0.0019	0.008	0.006	0.009	0.1	0.005	ND	0.087	0.064	0.1472	0.0833	0.1527	0.1902
Pb (mg L ⁻¹)	0.016	0.016	0.0086	ND	ND	0.011	0.006	ND	ND	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Fe (mg L ⁻¹)	0.290	0.020	0.075	0.116	0.096	ND	ND	ND	0.08	0.122	0.098	0.084	0.119	0.113
Cd (mg L ⁻¹)	0.0009	ND	ND	0.00072	0.00072	0.0008	0.0024	0.0024	0.004	0.0048	0.0064	0.0064	0.0072	0.008

Metales pesados	CUADRO 23. CALIDAD DEL AGUA HUMEDAL SUR, "CHICONAHUAPAN"												
	OCTUBRE (2004)												
No. de sitio	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	
Cr ⁶⁺ (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Cu (mg L ⁻¹)	0.006	0.008	0.006	0.004	0.004	ND	0.002	0.006	0.006	0.006	0.008	0.008	
Zn (mg L ⁻¹)	0.05	0.05	0.042	0.057	ND	ND	0.171	0.028	0.028	0.057	0.05	0.05	
Pb (mg L ⁻¹)	0.004	0.008	0.006	0.004	0.004	ND	0.002	0.006	0.006	0.006	0.008	0.008	
Fe (mg L ⁻¹)	0.026	0.079	0.06	0.055	0.04	ND	0.034	0.071	0.087	0.201	0.301	0.087	
Cd (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

ND = No detectado

8.3 Pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida

De los sitios de monitoreo seleccionamos los de mayor influencia a los humedales para realizar las pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida y las coordenadas son las siguientes:

Cuadro 24. Sitios georeferenciados para realizar las pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida.

Muestra	Altitud (msnm)	Coord. Norte (UTM)	Coord. Este (UTM)
1N	2582	2 140 938	446 762
2N	2584	2 140 315	445 755
3N	2584	2 138 914	447 220
1S	2579	2 117 188	445 494
2S	2602	2 116 115	446 488
3S	2572	2 116 622	447 347
4S	2575	2 117 062	448 243

Cuadro 25. Resultados del análisis de biodegradabilidad aeróbica rápida.

HUMEDAL	pH					Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)					Carbono Orgánico Total (mg L ⁻¹)				
	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días
1 N	6.15	6.44	6.39	6.49	6.5	3.3	0.7	0.5	0.5	0.3	38.64	23.18	16.23	13.79	9.73
1R N	6.41	6.73	6.82	6.74	6.69	2.5	0.6	0.4	0.24	0.11	35.13	19.43	14.57	7.77	3.88
2 N	3.64	5.29	4.95	4.77	4.81	3.1	0.5	0.5	0.4	0.2	73.92	42.35	25.41	16.94	7.34
2R N	4.82	5.4	5.42	4.84	4.77	1.7	0.8	0.6	0.3	0.2	70.13	40.08	24.04	16.02	6.01
3 N	5.9	5.96	5.94	5.67	5.6	1.2	0.9	0.5	0.3	0.1	31.94	17.16	12.87	10.29	2.57
3R N	3.56	4.45	4.47	3.71	3.72	3.0	0.6	0.6	0.45	0.2	34.18	21.50	3.22	2.17	1.07
1 S	7.08	7.23	7.11	6.89	6.85	1.6	0.7	0.6	0.4	0.2	25.40	15.24	13.25	8.35	4.09
1R S	5.07	5.94	5.94	6.0	6.03	1.5	0.5	0.4	0.25	0.1	24.90	19.92	13.54	10.29	4.94
2 S	5.56	5.56	5.44	3.74	3.74	1.4	0.6	0.4	0.3	0.1	30.33	15.77	10.72	7.07	3.39
2R S	5.3	5.65	5.75	5.31	5.25	0.7	0.6	0.6	0.5	0.1	28.14	25.88	24.07	22.63	4.33
3 S	6.06	6.07	5.75	5.43	5.4	0.6	0.45	0.45	0.33	0.21	19.22	16.53	15.87	12.53	7.64
3R S	6.51	6.74	6.68	6.62	6.6	1.0	0.75	0.7	0.3	0.2	20.13	15.50	14.42	6.63	5.51
4 S	4.15	4.74	4.79	4.63	4.62	4.9	1.5	1.5	0.9	0.5	34.17	14.01	12.47	7.98	4.62
4R S	6.74	6.65	6.14	5.86	5.79	5.1	1.0	0.7	0.4	0.2	36.20	10.86	7.60	4.25	3.70

N = norte, S = sur, R = repetición

Cuadro 26. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 1 NORTE (1N)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	6.15	6.44	6.39	6.49	6.5	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	3.3	0.7	0.5	0.5	0.3	90.91
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	3.3	0.7	0.5	0.5	0.3	74.81

Cuadro 27. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 1N _(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	6.41	6.73	6.82	6.74	6.69	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	2.5	0.6	0.4	0.24	0.11	95.6
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	35.13	19.43	14.57	7.77	3.88	88.94

(R) = repetición

Cuadro 28. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 2 NORTE (2N)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	3.64	5.29	4.95	4.77	4.81	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	3.1	0.5	0.5	0.4	0.2	93.55
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	73.92	42.35	25.41	16.94	7.34	90.07

Cuadro 29. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 2N_(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	4.82	5.4	5.42	4.84	4.77	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	1.7	0.8	0.6	0.3	0.2	88.24
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	70.13	40.08	24.04	16.02	6.01	91.43

(R) = repetición

Cuadro 30. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 3 NORTE (3N)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	5.9	5.96	5.94	5.67	5.6	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	1.2	0.9	0.5	0.3	0.1	91.67
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	31.94	17.16	12.87	10.29	2.57	91.94

Cuadro 31. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 3N_(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	3.56	4.45	4.47	3.71	3.72	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	3.0	0.6	0.6	0.45	0.2	93.34
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	34.18	21.50	3.22	2.17	1.07	96.87

(R) = repetición

Cuadro 32. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 1 SUR (1S)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	7.08	7.23	7.11	6.89	6.85	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	1.6	0.7	0.6	0.4	0.2	93.34
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	25.40	15.24	13.25	8.35	4.09	83.9

Cuadro 33. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 1S_(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	5.07	5.94	5.94	6.0	6.03	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	1.5	0.5	0.4	0.25	0.1	93.34
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	24.90	19.92	13.54	10.29	4.94	80.17

(R) = repetición

Cuadro 34. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 2 SUR (2S)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	5.56	5.56	5.44	3.74	3.74	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	1.4	0.6	0.4	0.3	0.1	99.67
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	30.33	15.77	10.72	7.07	3.39	88.82

Cuadro 35. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 2S _(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	5.3	5.65	5.75	5.31	5.25	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	0.7	0.6	0.6	0.5	0.1	85.71
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	28.14	25.88	24.07	22.63	4.33	84.61

(R) = repetición

Cuadro 36. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 3 SUR (3S)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	6.06	6.07	5.75	5.43	5.4	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	0.6	0.45	0.45	0.33	0.21	65
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	19.22	16.53	15.87	12.53	7.64	60.24

Cuadro 37. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 3S_(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	6.51	6.74	6.68	6.62	6.6	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	1.0	0.75	0.7	0.3	0.2	80
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	20.13	15.50	14.42	6.63	5.51	72.62

(R) = repetición

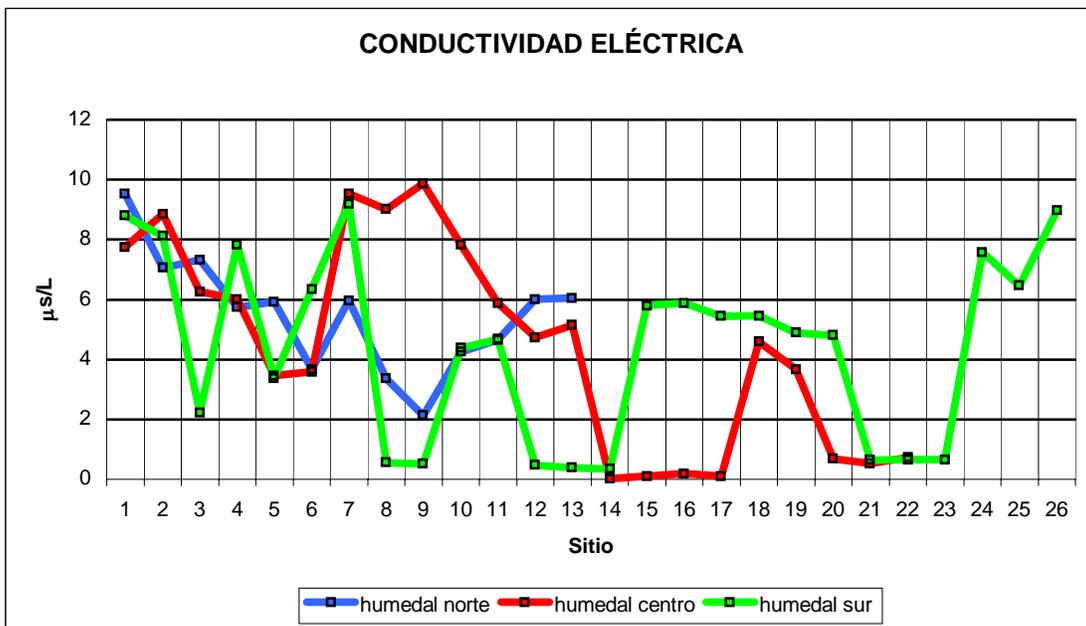
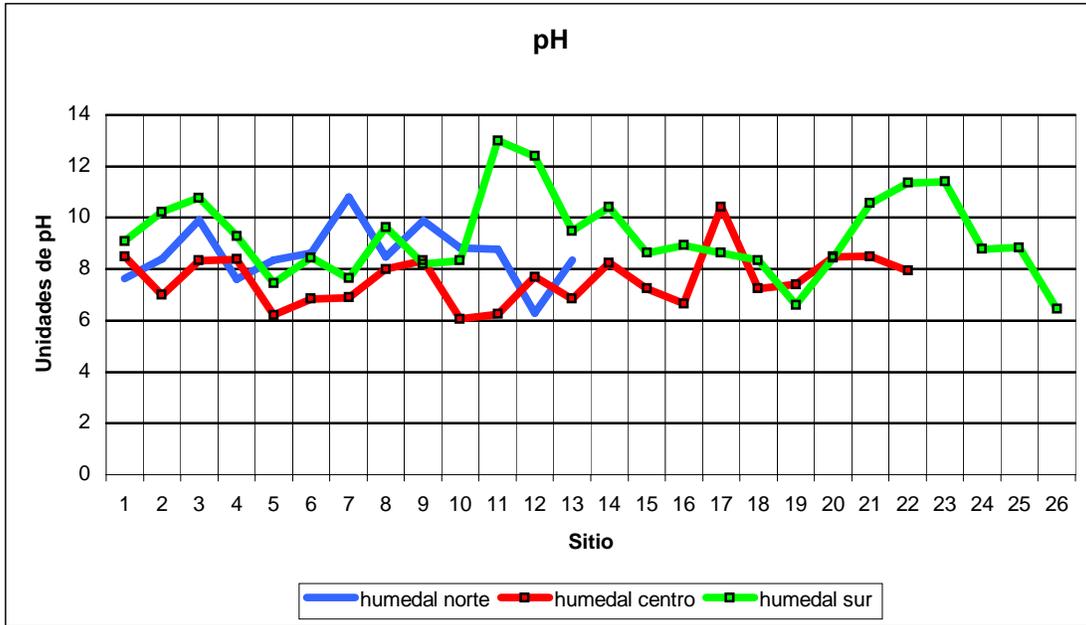
Cuadro 38. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 4 SUR (4S)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	4.15	4.74	4.79	4.63	4.62	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	4.9	1.5	1.5	0.9	0.5	89.79
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	34.17	14.01	12.47	7.98	4.62	86.47

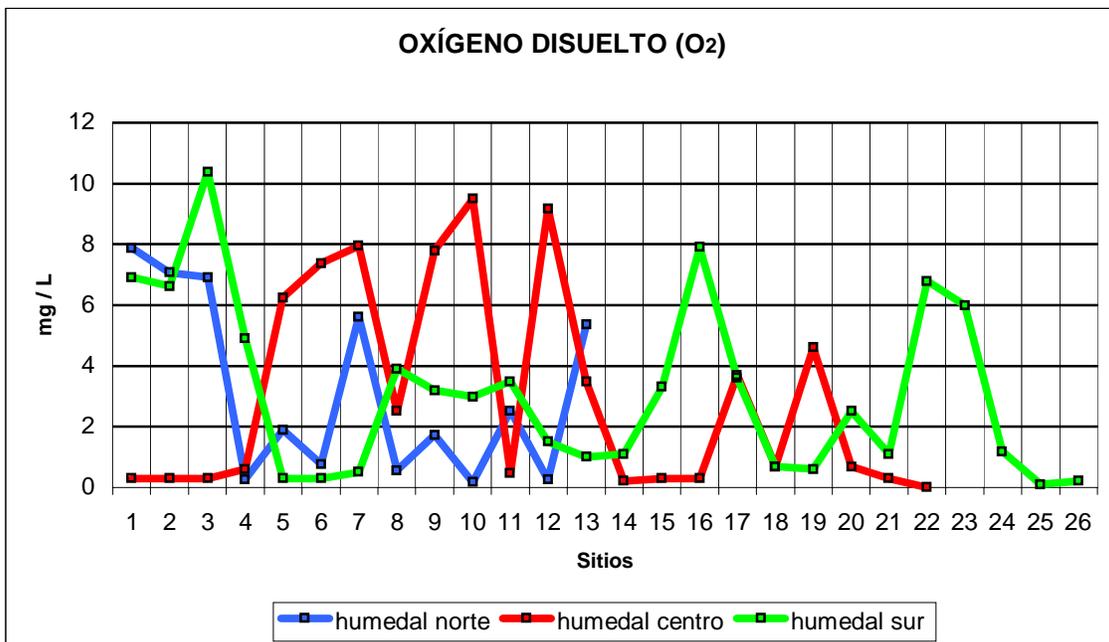
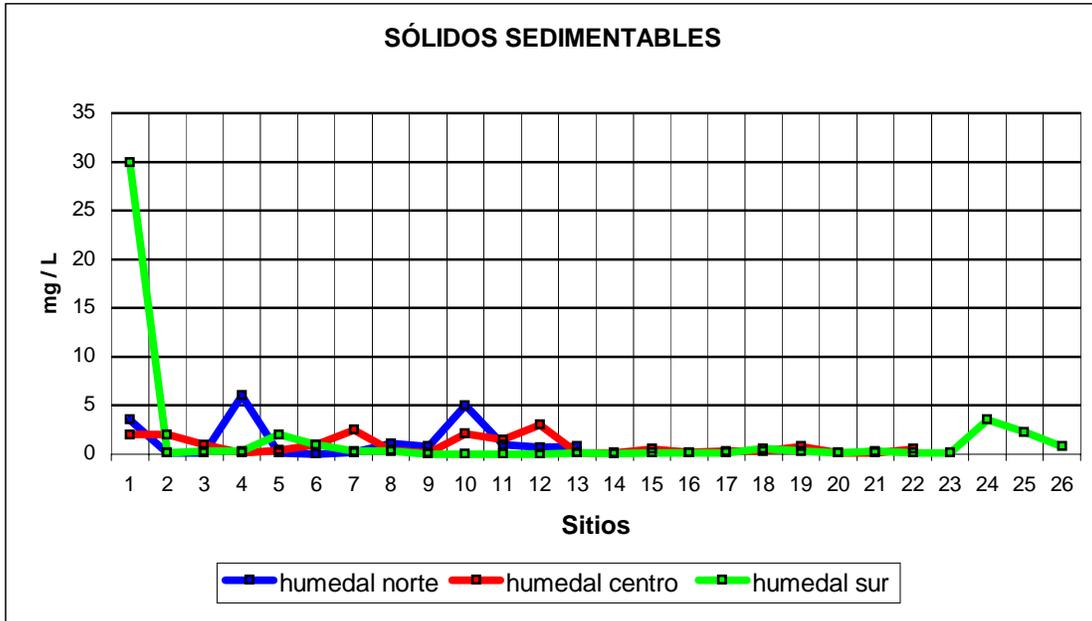
Cuadro 39. Evolución del consumo de oxígeno MUESTRA 4S_(R)						
Parámetro	Inicial	7 días	14 días	21 días	28 días	% Remoción
pH	6.74	6.65	6.14	5.86	5.79	
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	5.1	1.0	0.7	0.4	0.2	96.07
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	36.20	10.86	7.60	4.25	3.70	89.77

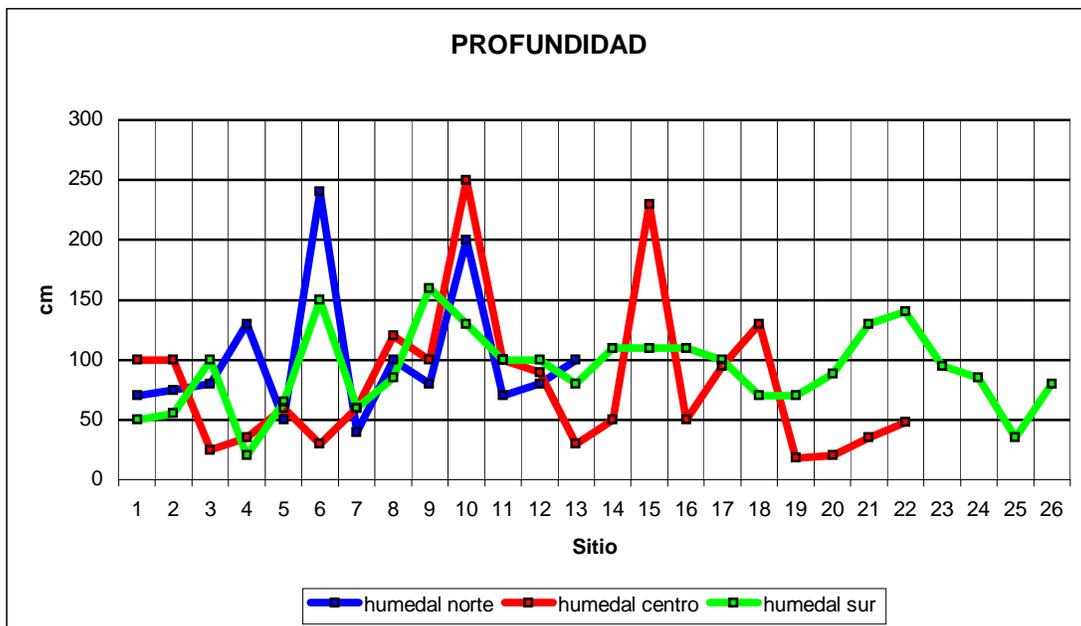
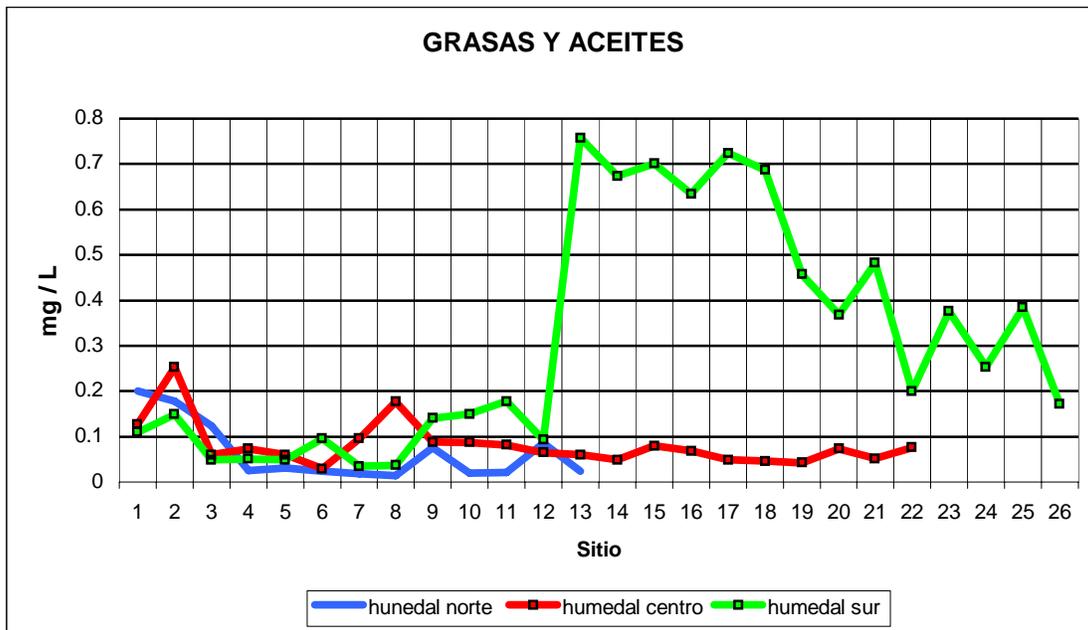
(R) = repetición

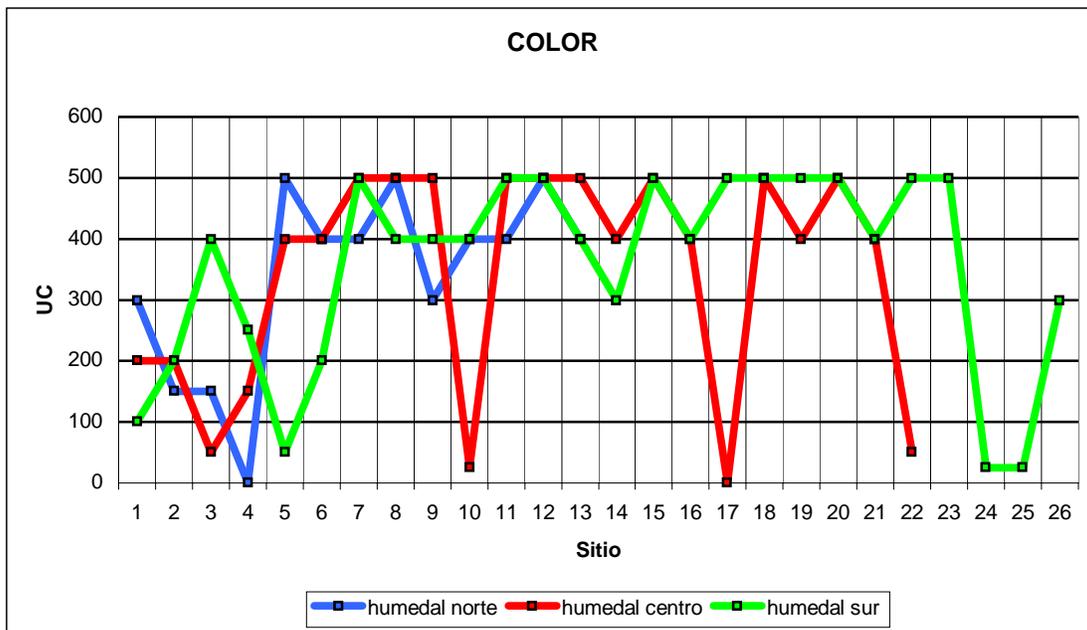
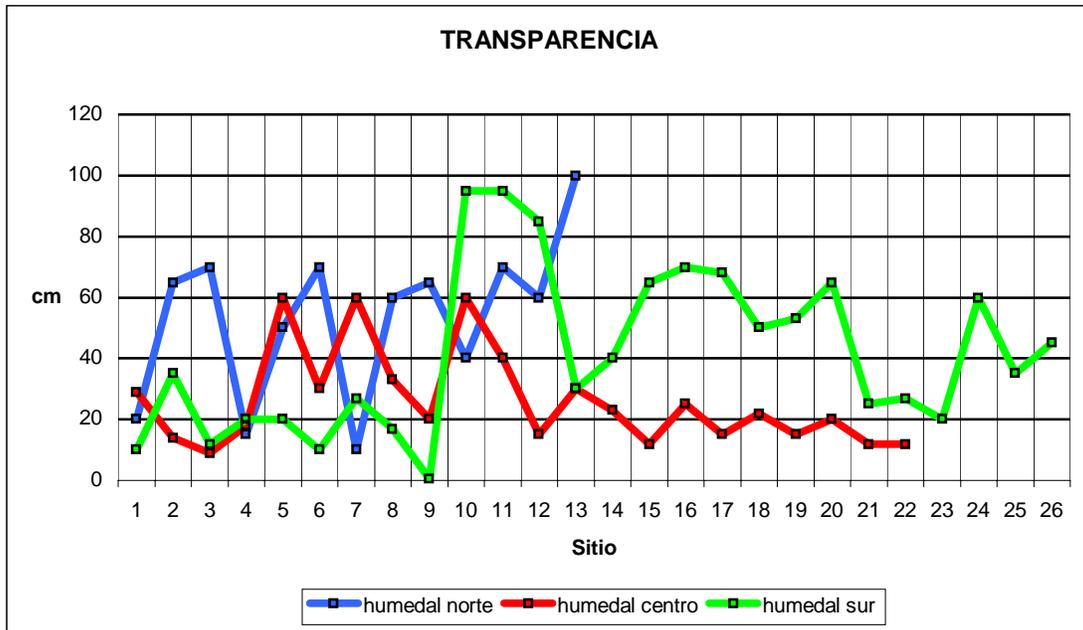
8.4 Gráficas de resultados

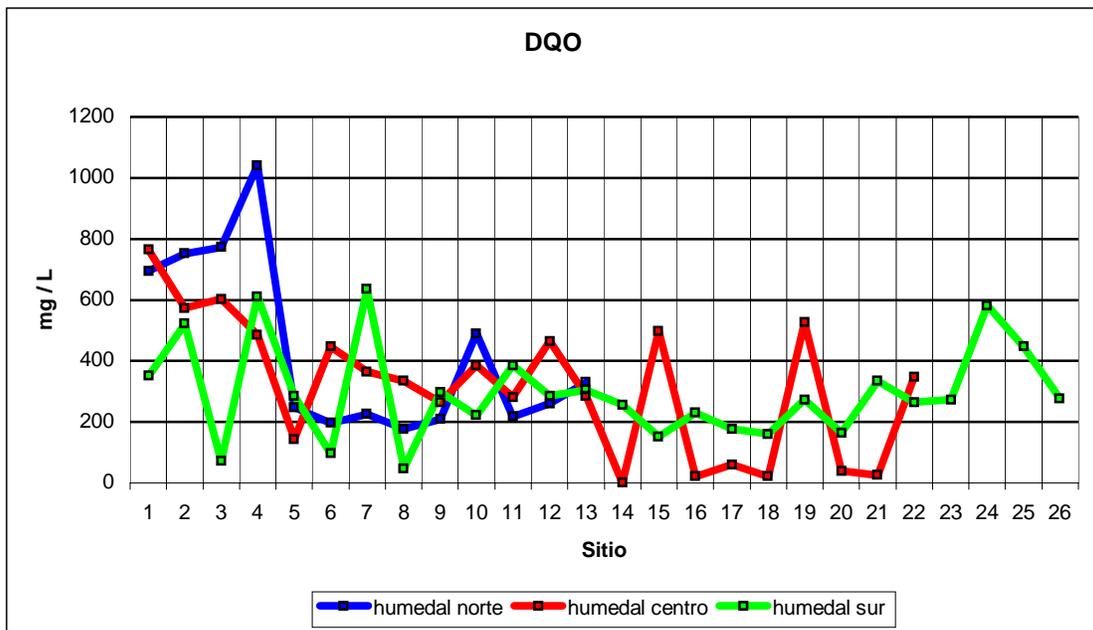
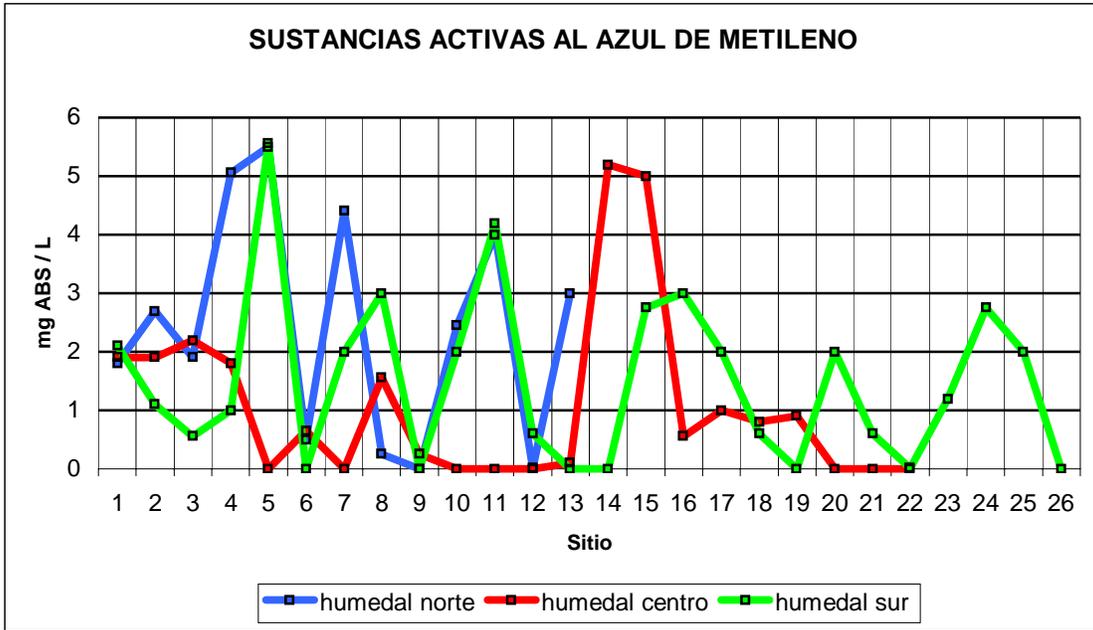
8.4.1 Calidad del agua:

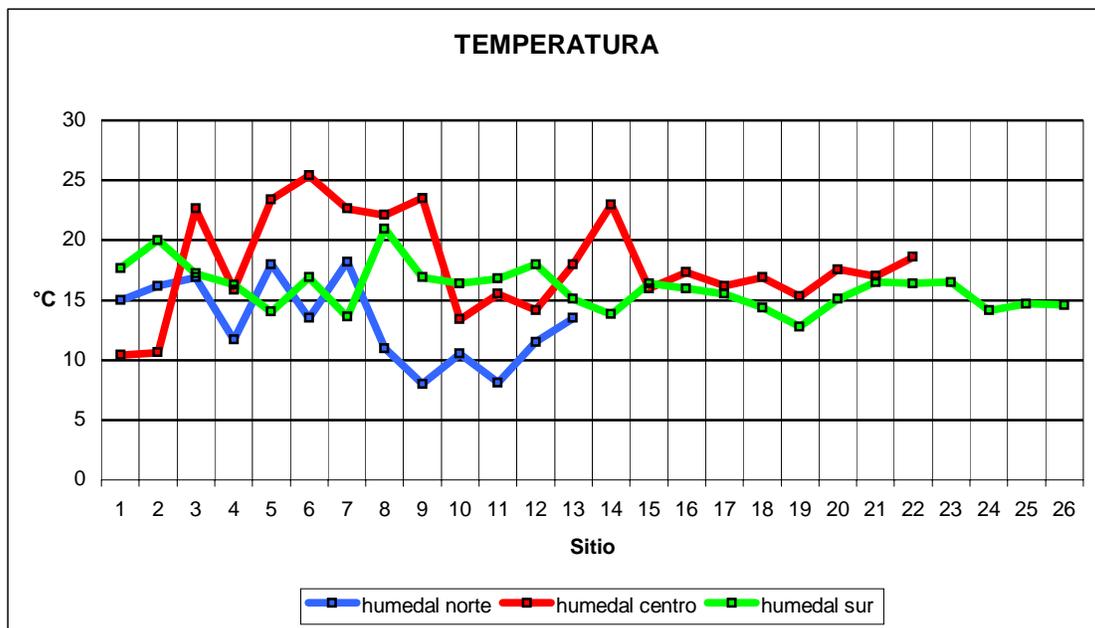
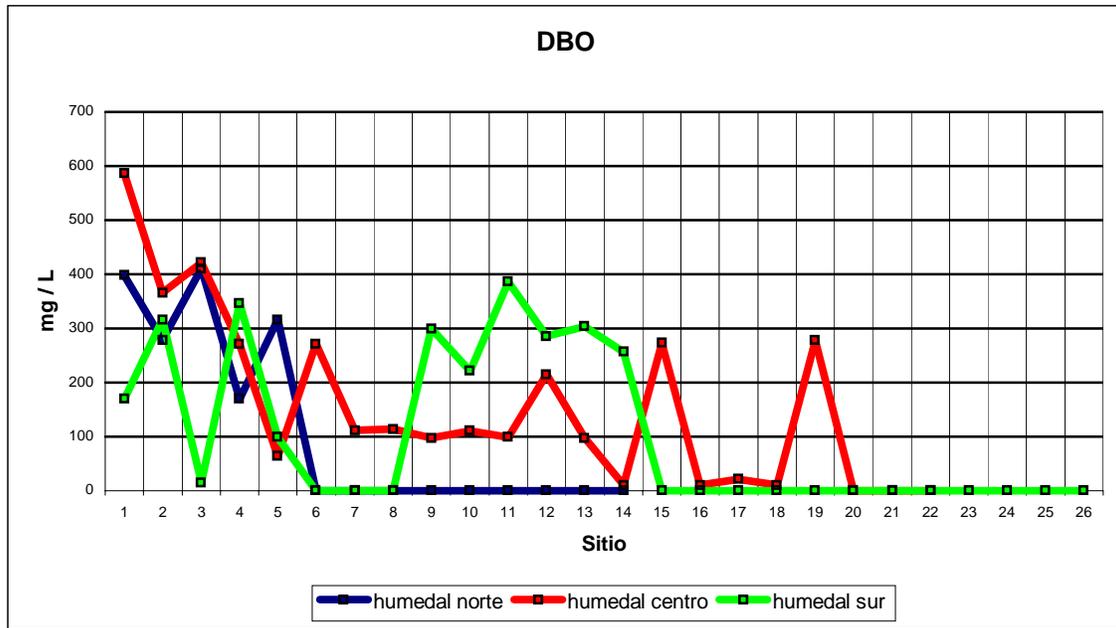


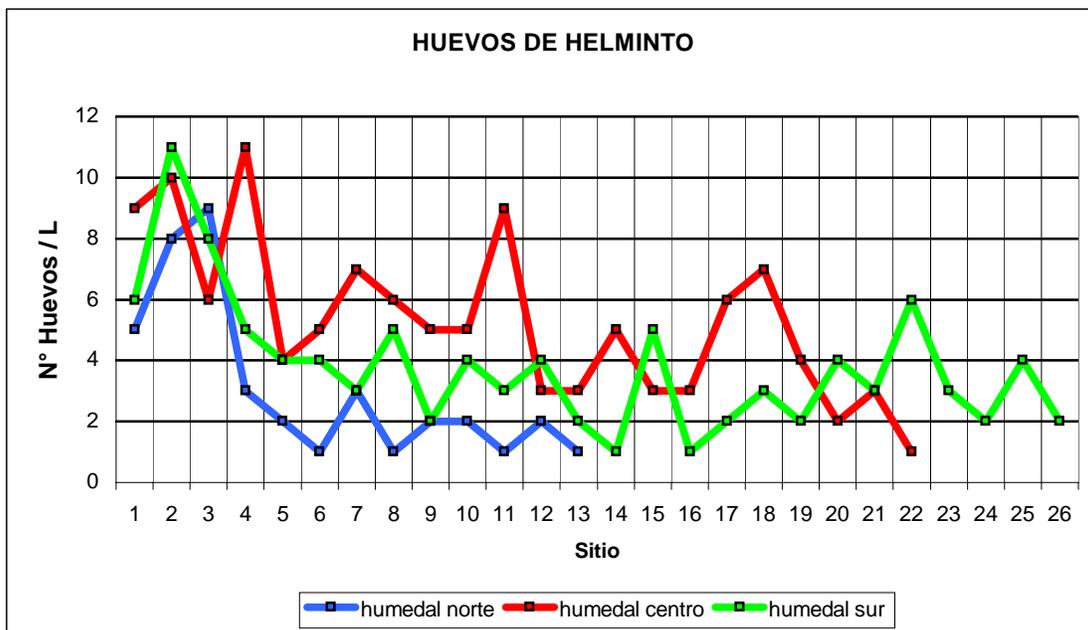
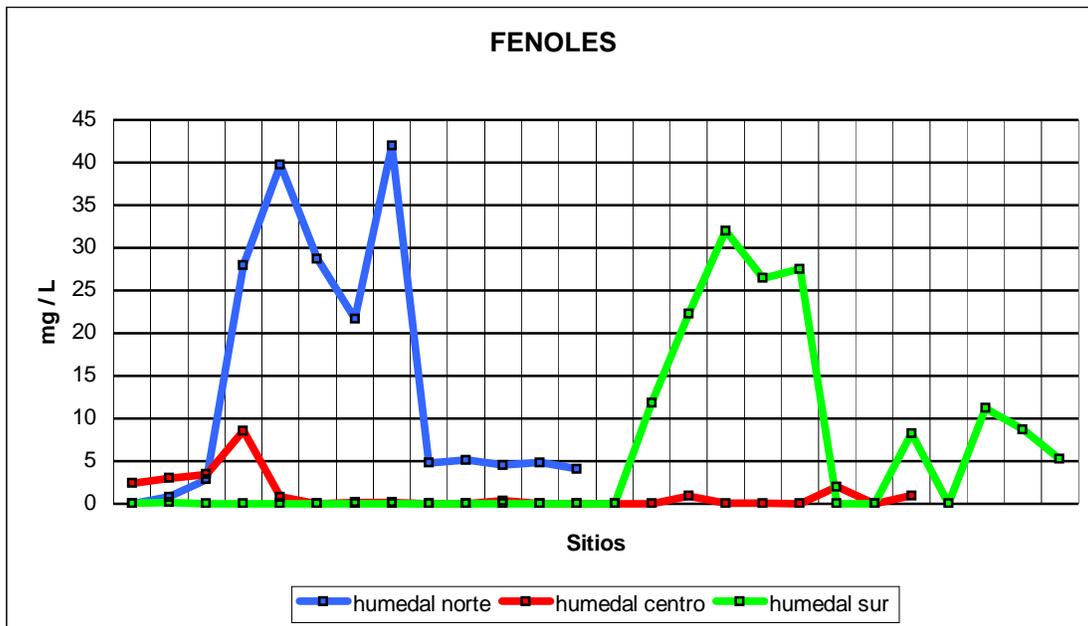


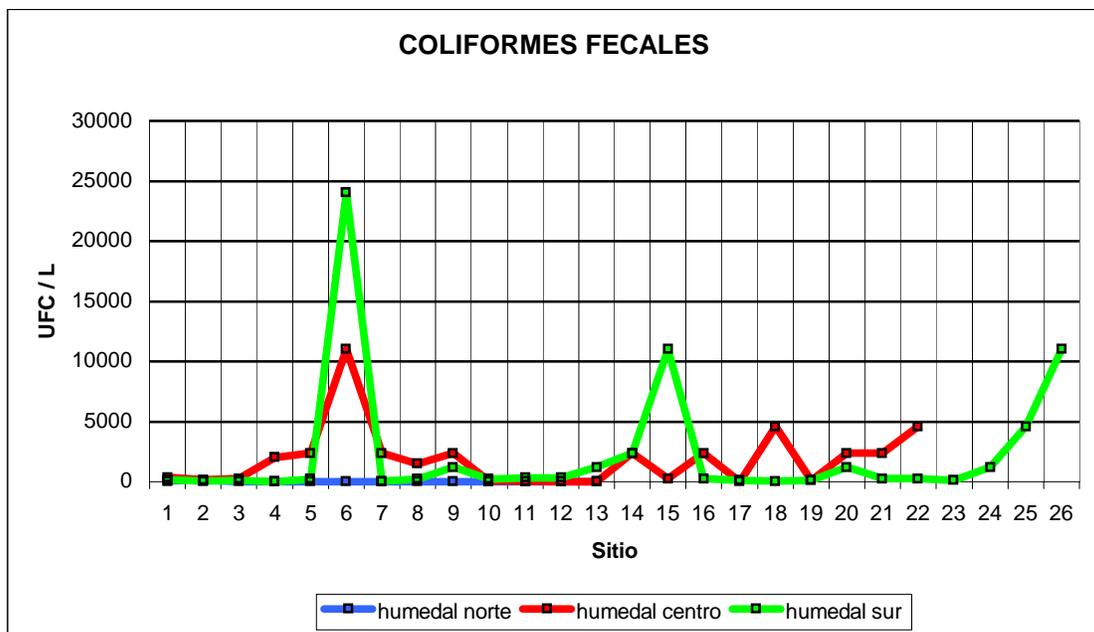
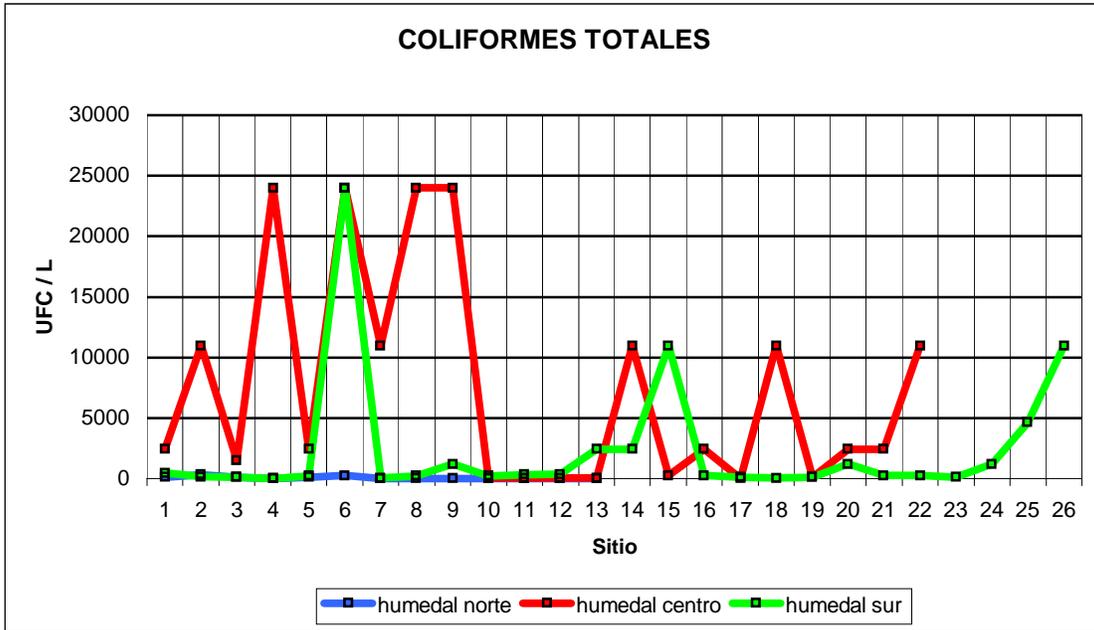


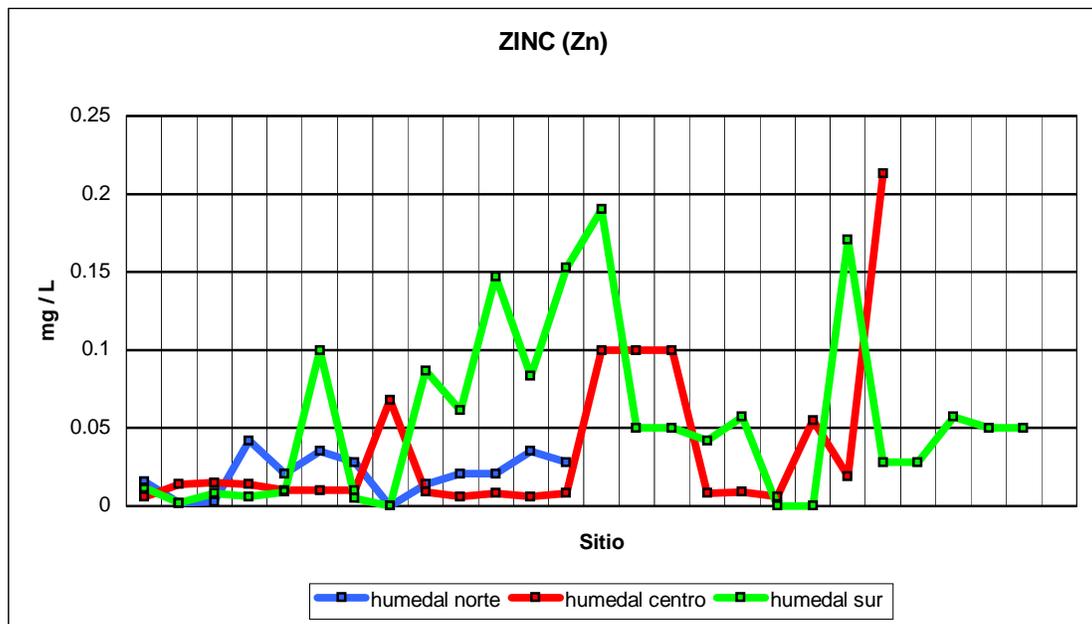
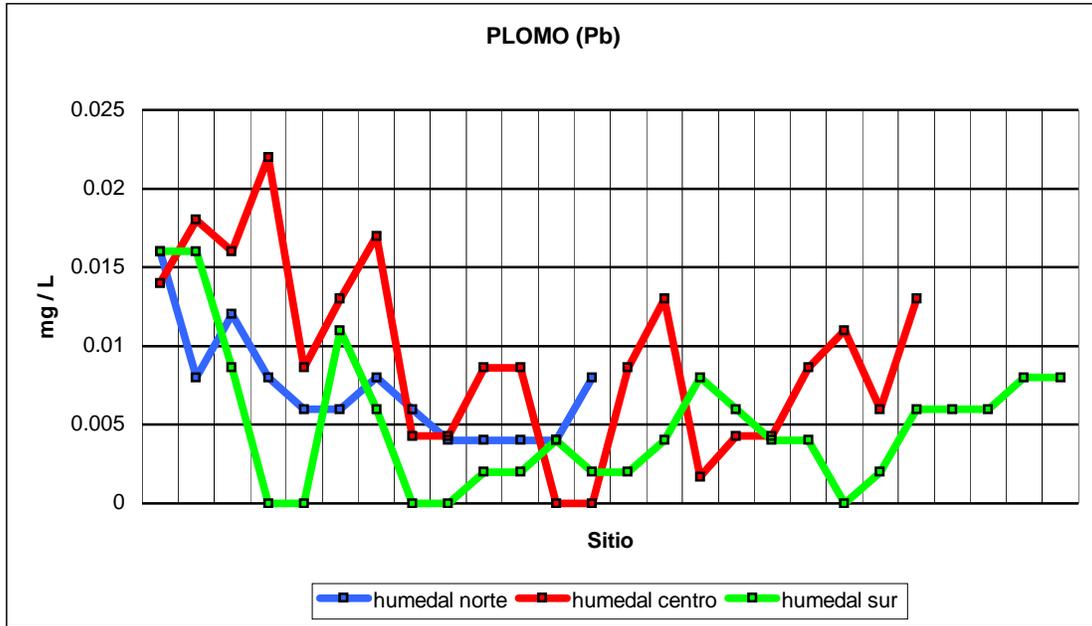


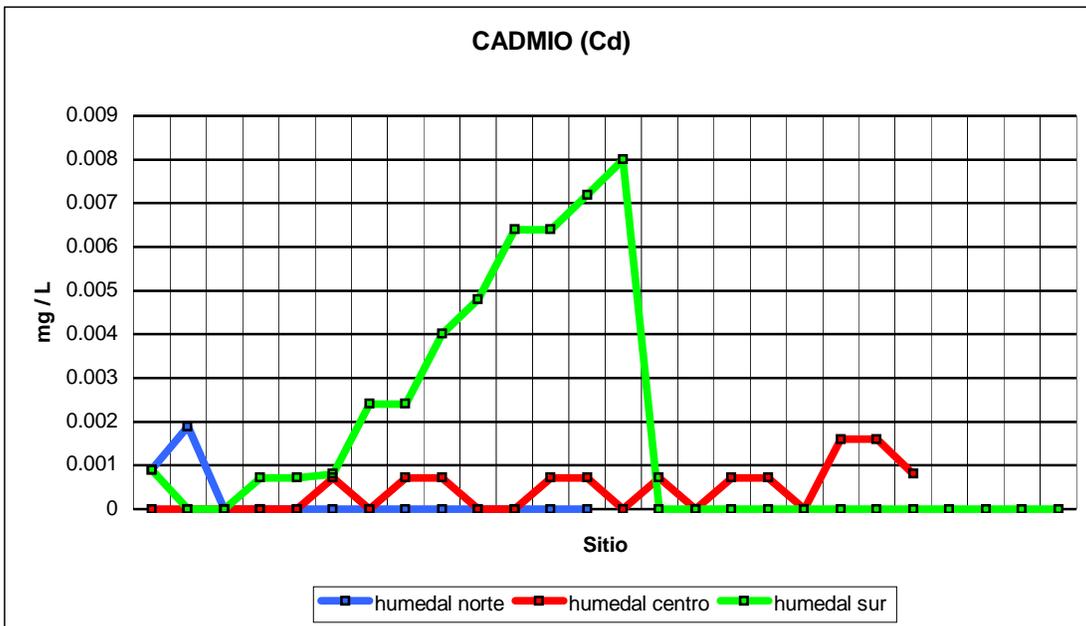
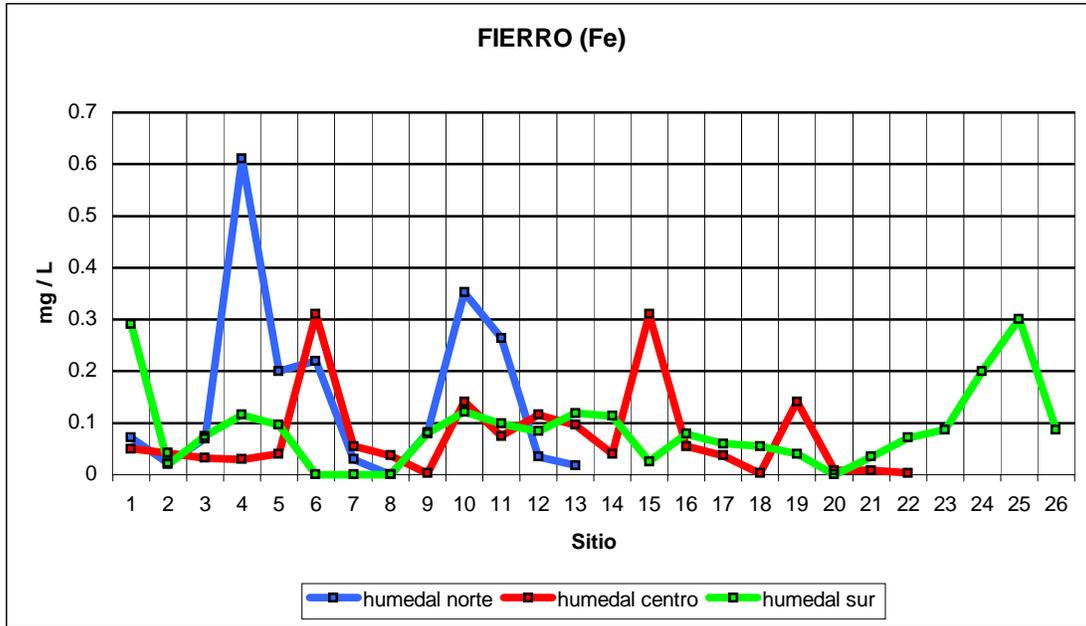


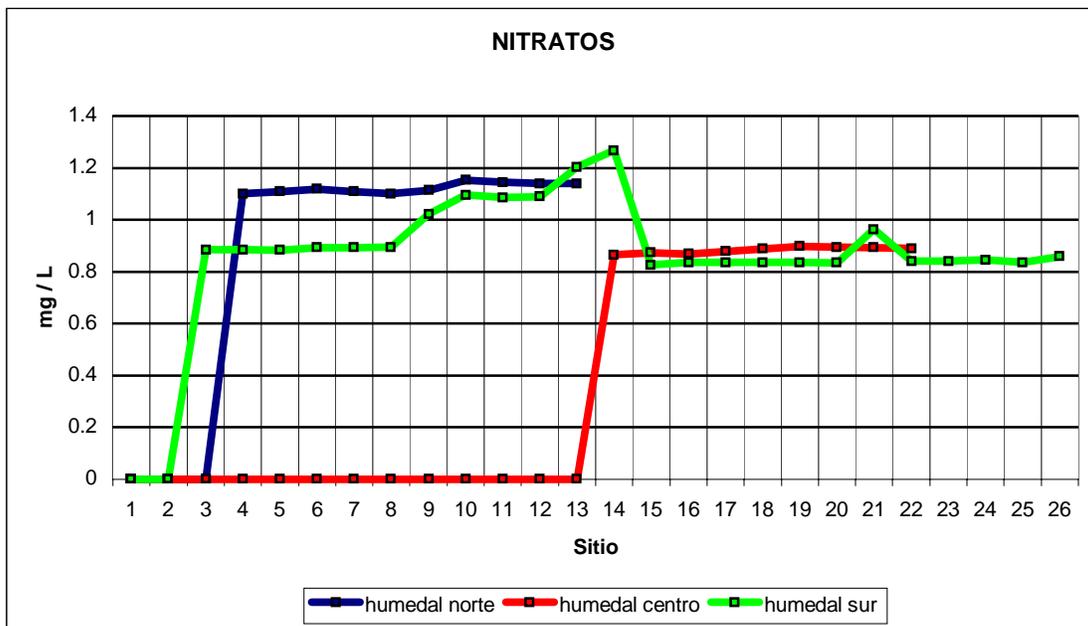
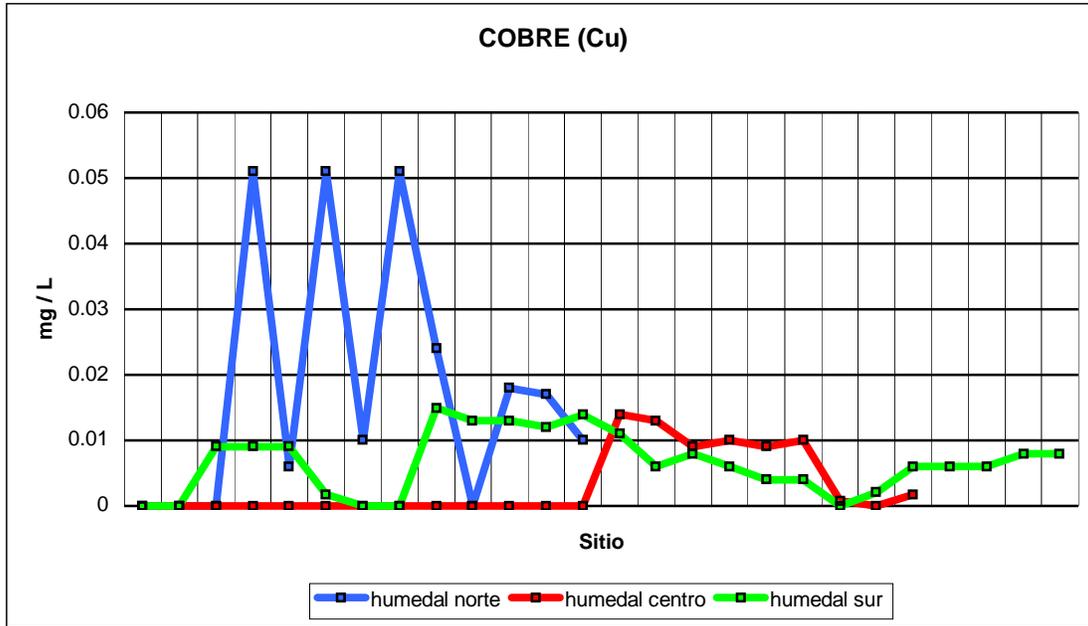


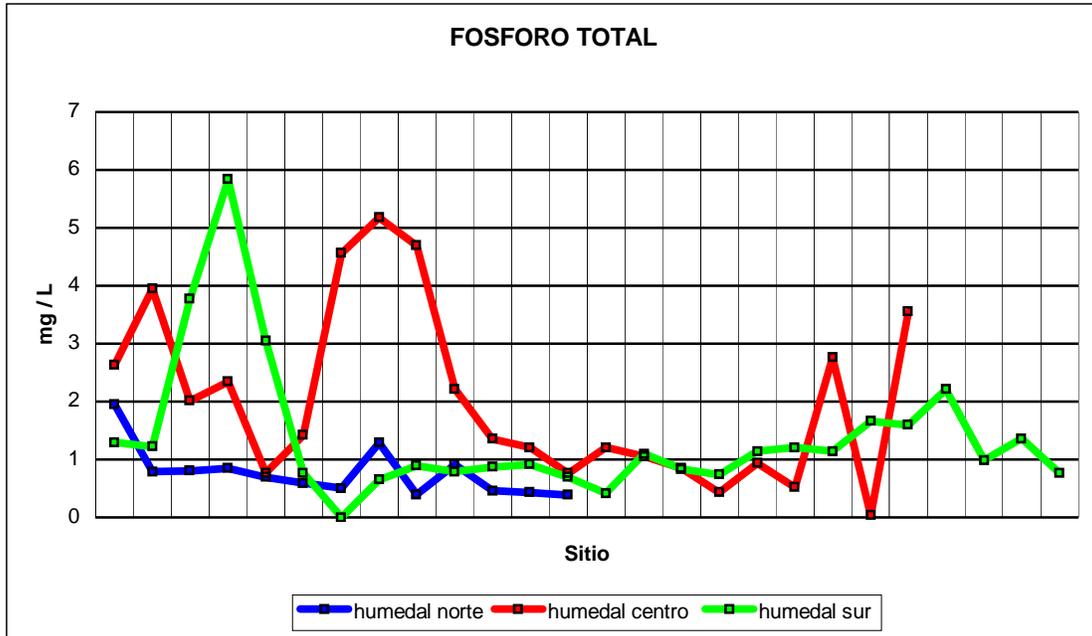




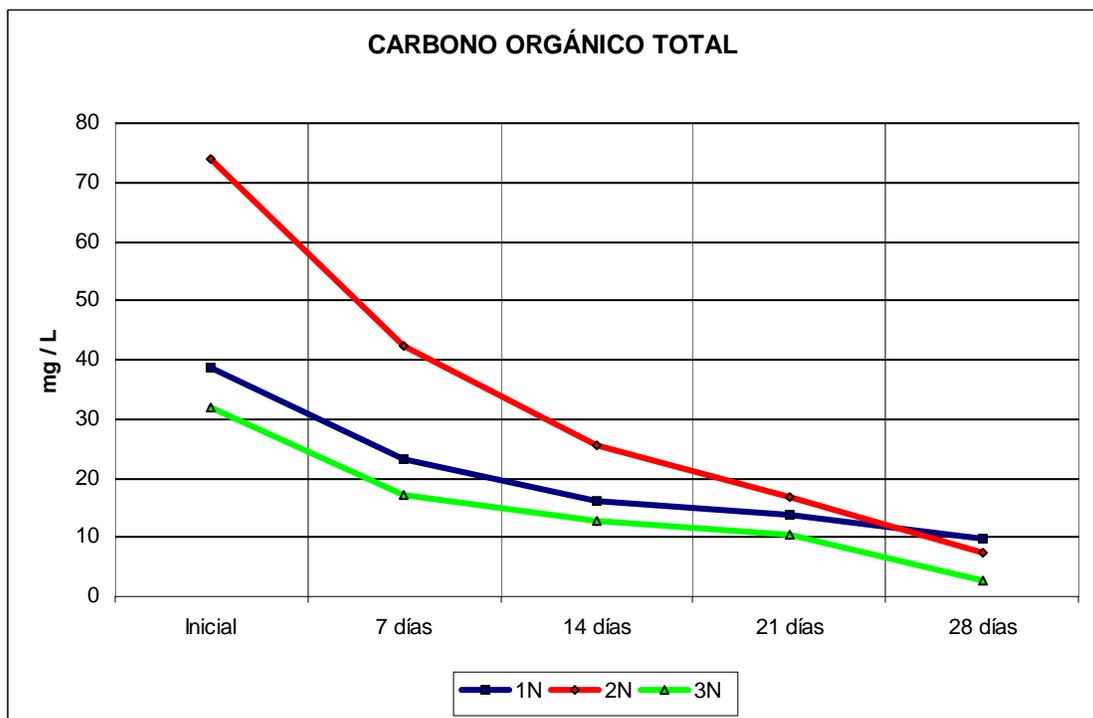
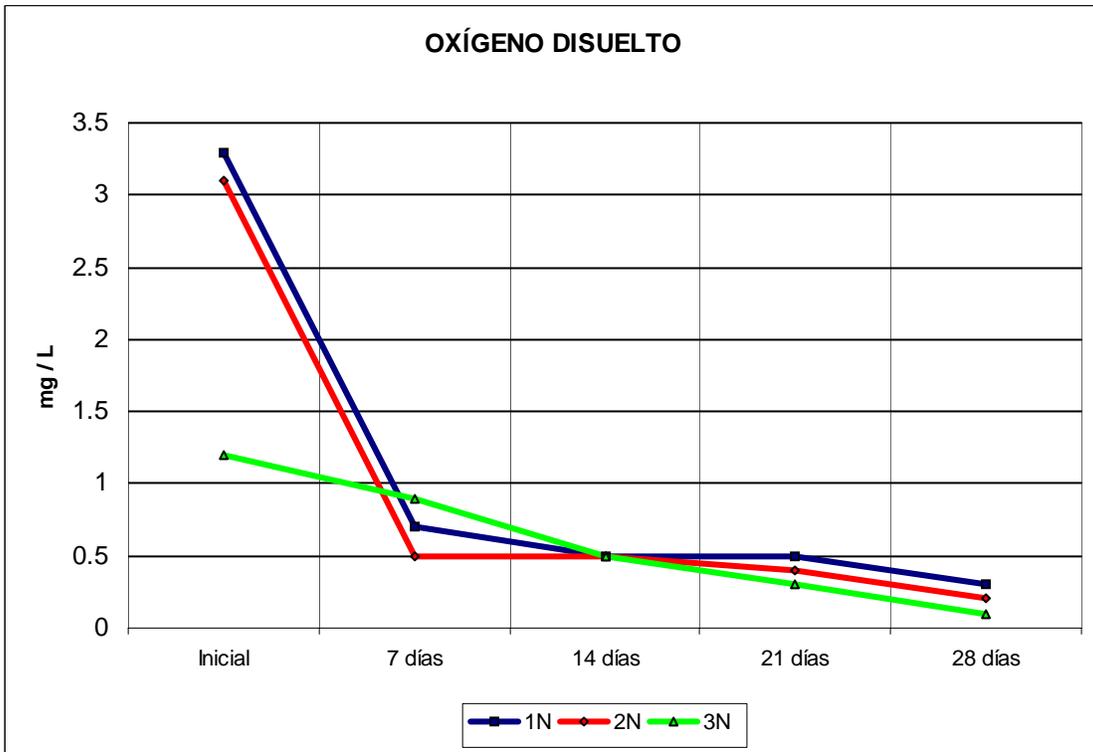


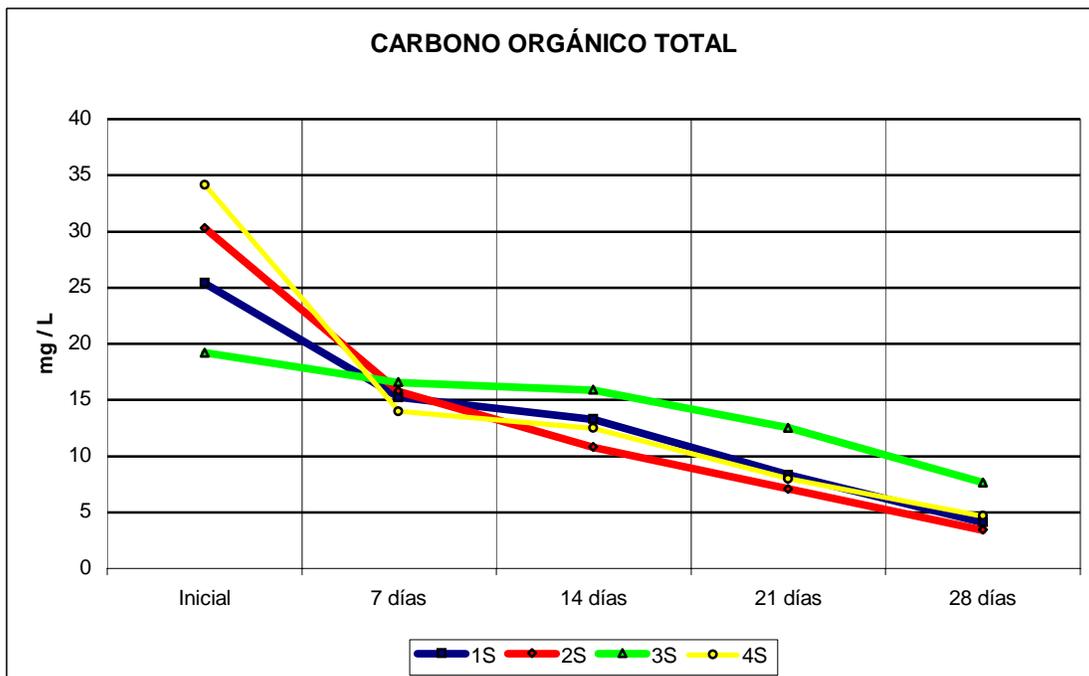
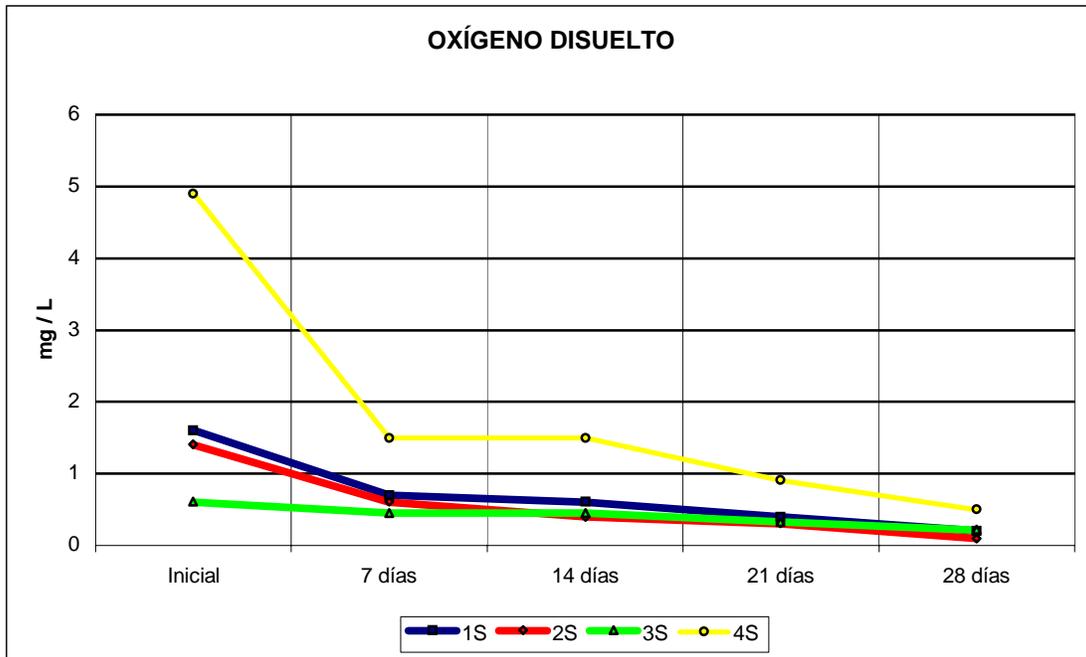






8.4.2 Biodegradabilidad aeróbica rápida:





9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se recolectaron muestras en 61 sitios georeferenciados, distribuidos en los humedales de la siguiente manera: humedal del norte “Chignahuapan”, 13 sitios de muestreo; humedal centro “Chimaloapan”, 22 sitios de muestreo y en el humedal sur “Chiconahuapan”, 26 sitios de muestreo.

pH

El pH controla diferentes reacciones químicas, la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH, entre 6.0 y 8.0 (Tebbutt, 2002).

El pH de los cuerpo de agua y el agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. En las descargas industriales es posible encontrar pH ácido o básico, debido al uso de reactivos químicos (Jiménez, 2002).

El humedal del norte “Chignahuapan” fue monitoreado en marzo y noviembre y no se presentaron lluvias; para marzo, los valores encontrados en el intervalo de 7.64 a 9.10 indican mediana capacidad de neutralidad. En noviembre el comportamiento de los valores fue similar de 6.29 a 8.9 unidades

En el humedal del centro “Chimaloapan” ya con algunas lluvias presentes en el mes de abril, se obtuvo un valor muy cercano a 6.99, el resto de los valores se encuentran por arriba de 8.0, siendo el más alto de 8.5. En mayo, el intervalo fue de 6.07 a 8.33, siendo más los valores que están por debajo de 7.0. En junio el intervalo fue de 6.66 a 8.42, siendo este último el más alto en este mes. Para julio los valores se encontraron cercanos a 8.0.

En junio y julio las lluvias fueron abundantes, el factor de dilución favorece los valores que se encuentran por arriba de 7.0 El humedal es abastecido por descargas domésticas e industriales durante todo el año.

En el humedal del sur “Chiconahuapan”, el monitoreo realizado en marzo arrojó valores de 8.10 a 9.23. En junio los valores oscilaron de 7.46 a 9.13 y en julio de 8.45 a 9.63, tienden a ser ligeramente alcalinos; julio fue el mes con mayor precipitación del año. En septiembre el intervalo osciló de 8.19 a 9.23.

Los valores de pH tendieron hacia la alcalinidad debido al factor de dilución. En octubre el muestreo se dividió en dos zonas, colectando las seis primeras muestras en la parte central del humedal, presentaron un intervalo de 6.62 a 8.92, mientras que el resto fueron colectadas en la parte sur (muy cercana a las márgenes), teniendo un intervalo de 6.45 a 9.55 unidades.

En APHA (1992), reportan que las aguas naturales tienen normalmente valores de pH en el intervalo de 4.0 a 9.0 y la mayoría de los resultados se encontraron en la escala ligeramente alcalina. En el humedal del norte, en marzo sólo un valor se encontró por arriba de este intervalo (9.1). En el humedal centro, durante los meses de muestreo ninguno de los valores se encontró por arriba de 8.5, por lo que están dentro del límite. En el humedal sur, en marzo, uno de los dos valores, 9.23 se encontró ligeramente por arriba del límite; en junio el valor fue de 9.13 y en julio de 9.63, ambos valores estuvieron por arriba del límite, es decir son alcalinos. En septiembre los valores se encontraron por arriba de 8.0 algunos fueron muy elevados, de 9.23, 9.5 y 10.41. En octubre se obtuvo el mismo comportamiento que en el mes anterior, con valores de 9.55, 9.35 y 9.4, además de obtener dos valores por debajo de 7.0 (6.62 y 6.45).

De acuerdo a los valores de pH obtenidos, los humedales presentaron dos tendencias y están en función de la temporada del año; hacia la alcalinidad o hacia la acidez. Con los valores encontrados podemos concluir que ante un vertimiento

de materiales ácidos o acumulación importante de materia orgánica con una elevada tasa de descomposición, la capacidad amortiguadora ante la presencia de materiales ácidos, es favorable. Con respecto a la vida acuática, el intervalo está comprendido entre 5.0 y 9.0, para la mayoría de las especies el pH altamente recomendable se sitúa entre 6 y 7.2. Por tanto el sistema de humedales presenta restricciones para un desarrollo potencial de algunas especies acuáticas.

Conductividad eléctrica

La conductividad está relacionada con la concentración de sustancias disueltas y con su naturaleza, además de variar en función de la temperatura (la conductividad aumenta 1.9 μS por 100°C aproximadamente) y nos permite evaluar de una forma rápida la mineralización global del agua. Las sales son buenas conductoras y se debe considerar que la materia orgánica y coloidal tiene poca conductividad. Al medir la conductividad en aguas residuales que puedan ser vertidas en cuerpos de agua nos dan una idea sobre la composición de ésta (Rodier, 1990). La medición de la conductividad eléctrica es un indicador rápido de contaminación en cuerpos de agua.

Los valores encontrados en el humedal norte “Chignahuapan”, para marzo fueron de 9.51, 7.05 y 7.32 $\mu\text{S L}^{-1}$. En noviembre, se encontraron en un intervalo de 2.12 a 6.06 $\mu\text{S L}^{-1}$.

En el humedal del centro “Chimaloapan”, en el primer muestreo realizado en abril, los valores oscilaron de 6.01 a 8.85 $\mu\text{S L}^{-1}$, en mayo se encontraban entre 3.47 a 9.53 $\mu\text{S L}^{-1}$. Durante junio los valores fueron de 6.66 a 10.42 $\mu\text{S L}^{-1}$ y en julio, los valores obtenidos fueron 8.48, 8.5 y 7.93 $\mu\text{S L}^{-1}$.

En el humedal sur “Chiconahuapan”, en marzo los valores obtenidos fueron 8.11 y 8.8 $\mu\text{S L}^{-1}$, en junio de 10.4, 4.9 y 0.3 $\mu\text{S L}^{-1}$, en julio de 6.34, 9.12 y 0.55 $\mu\text{S L}^{-1}$, en

septiembre estuvo entre 0.35 a 4.67 $\mu\text{S L}^{-1}$. En el último muestreo realizado en octubre, los valores fueron de 0.64 a 8.97 $\mu\text{S L}^{-1}$.

Jiménez (2002), menciona que la conductividad promedio del agua en México, es de 300 a 1000 $\mu\text{hos cm}^{-1}$; cada μS equivale a 10 $\mu\text{hos cm}^{-1}$, si nuestros valores fueran cambiados a esta unidad, tendríamos que en el humedal norte "Chignahuapan", el intervalo sería de 21.2 a 95.1 $\mu\text{hos cm}^{-1}$; en el humedal centro "Chimaloapan", es de 34.7 a 95.3 $\mu\text{hos cm}^{-1}$, en el humedal sur "Chiconahuapan", va de 3.0 a 104.0 $\mu\text{hos cm}^{-1}$. Por lo tanto, de acuerdo al promedio de conductividad del agua en México, ninguno de estos lo rebasa.

Este parámetro es importante evaluarlo para este tipo de humedales, ya que nos permitirá descubrir las variaciones de composición que pueden sobrevenir debido a las infiltraciones de aguas superficiales de mineralizaciones diferentes y a menudo contaminadas, como es nuestro caso.

De acuerdo a Rodier (1990) cuando una conductividad es $< 100 \mu\text{S cm}^{-1}$, la mineralización en el agua es muy débil, por lo que las aguas de los humedales se consideran con un estado de mineralización débil y aunado con los otros parámetros, podrían usarse con restricción para riego.

Sólidos sedimentables

La presencia de sólidos sedimentables debe evaluarse permanentemente ya que si se retienen en las márgenes de los humedales, atrapan otro tipo de sólidos y materia orgánica o bien, los de gran tamaño se depositan en el fondo acelerando el proceso de eutroficación del sistema, los sólidos sedimentables son los principales contribuyentes en el proceso de envejecimiento de un cuerpo de agua o bien al sedimentarse forman una capa sobre el lecho del humedal, en el que es muy difícil la penetración de oxígeno disuelto, por lo que se crea en el fondo una capa anaeróbica.

Los sólidos presentes en el agua pueden ser de tres tipos: los sólidos minerales, formados por carbonatos alcalinotérreos (Ca y Mg) y por carbonato de hierro más o menos hidratado. Estos se encuentran disueltos en estado de bicarbonatos y se pueden precipitar si hay generación de anhídrido carbónico. También se encuentran materiales silíceos o arcillosos, que provienen de terrenos que han atravesado el agua y son arrastrados mecánicamente.

Sólidos de tipo vegetal; son elementos mezclados con el agua o por organismos que viven en ella, como son restos de semillas y plantas, así como desechos domésticos o industriales. Entre los organismos vegetales que viven en el agua, encontramos hongos y algas, que son verdes, blancos o con colores oscuros.

Sólidos de tipo animal, en el agua se pueden encontrar fibras musculares, células epiteliales, fragmentos de insectos, huevos de parásito, etc. Pero además de estos elementos transportados, existen organismos vivientes como rizópodos, infusorios, ciliados, rotíferos, etc. (Rodier, 1990).

En el sistema de humedales, los sólidos en sus diferentes formas están en función de la naturaleza de los terrenos atravesados, de la estación del año, de la pluviometría, de los trabajos de labor aledaños y los vertidos que reciben.

En el humedal norte "Chignahuapan", los valores registrados en marzo fueron de 3.5, 0.1 y $<0.1 \text{ mL L}^{-1}$. En noviembre, los valores se encontraron en un intervalo de 0.0 a 6.0 mL L^{-1} .

Para el humedal del centro "Chimaloapan", en el muestreo de abril, los valores fueron de 0.1 a 2 mL L^{-1} , en mayo entre 0.1 a 2.5 mL L^{-1} . En junio de 0.1 a 0.8 mL L^{-1} y en julio de 0.1 a 0.5 mL L^{-1} .

Para el humedal sur "Chiconahuapan", en marzo los valores obtenidos fueron 3.0 y 0.1 mL L^{-1} , en junio de 0.3 a 2.0 mL L^{-1} , en julio de 0.3 a 1.0 mL L^{-1} , en

septiembre de 0.0 a 0.5 mL L⁻¹. En el último muestreo realizado en octubre los valores oscilaron de 0.1 a 3.5 mL L⁻¹.

Para los tres polígonos, este parámetro se encontró en algunos mililitros, lo que no ocasiona problemas mayores, no es un parámetro que esté impidiendo la penetración de la luz o disminuyendo la cantidad de oxígeno o bien, limitando el desarrollo de la vida acuática.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible establecido para sólidos sedimentables en humedales naturales en un promedio mensual es de 1.0 mL L⁻¹. En el humedal norte "Chignahuapan", en marzo un valor rebasó este límite, que es de 3.5 mL L⁻¹, en noviembre son tres los valores que lo sobrepasaron y son: 6.0, 1.1 y 5.0 mL L⁻¹. El resto de estos valores para este humedal se encontraron dentro del límite establecido.

En el humedal centro "Chimaloapan", en abril encontramos dos valores elevados, ambos de 2.0 mL L⁻¹; en mayo son cuatro los valores que rebasaron, en junio y julio los valores se mantienen dentro del límite; en estos dos meses se registraron los valores más bajos durante el monitoreo.

Para el humedal sur "Chiconahuapan", en marzo un valor rebasó el límite y es de 3.0 mL L⁻¹; en junio hubo un valor de 2.0 mL L⁻¹; en julio y septiembre ningún valor rebasó los límites y en octubre existen tres valores que rebasaron los límites máximos permisibles y fueron: 1.1, 3.5 y 2.3 mL L⁻¹. En este humedal en diferentes muestras no se visualizaron sólidos.

Los valores encontrados en los tres humedales indican que el proceso de envejecimiento por presencia de sólidos sedimentables aún está lejos. En algunos sitios de muestreo donde los valores llegaron a 3.5 mL L⁻¹, el agotamiento de oxígeno se ve favorecido. Así mismo no son un factor importante de soporte para los iones, las moléculas y los agentes biológicos. Los peces que habitan estos

sistemas no tienen problemas por contaminación de branquias debido a las presencia de sólidos de esta naturaleza.

Oxígeno disuelto (O₂)

La solubilidad del oxígeno depende de la temperatura, la presión atmosférica y la salinidad. Además, está en función del origen del agua, las aguas superficiales pueden contener cantidades próximas a la saturación. Las variaciones en los valores de la concentración de oxígeno pueden estar en función de la presencia de vegetales, materias orgánicas oxidables, organismos y gérmenes aerobios, así como la perturbación de los cambios atmosféricos en la interfaz (presencia de grasas, hidrocarburos, detergentes, etc.). cuando la temperatura se eleva, la concentración de oxígeno disminuye por su poca solubilidad, pero también por el consumo de seres vivos y bacterias que se multiplican, esto puede ocasionar olores desagradables (Rodier, 1990).

La determinación de oxígeno disuelto es importante en el control de la calidad del agua, ya que, el efecto de una descarga de desechos en los humedales determinara el balance de oxígeno, generalmente una masa de agua se considera contaminada cuando la concentración de oxígeno disuelto desciende del nivel necesario para mantener una biota normal, aproximadamente de 4 a 5 mg L⁻¹.

En el humedal norte "Chignahuapan", los valores registrados para marzo fueron de 7.88, 7.05 y 6.91 mg L⁻¹ . En noviembre, de 0.17 a 5.63 mg L⁻¹.

Para el humedal "Chimaloapan", en abril, los valores oscilaron entre 0.3 y 0.6 mg L⁻¹, en mayo entre 0.47 a 9.5 mg L⁻¹. Durante junio oscilaron de 0.2 a 4.5 mg L⁻¹ y en julio fueron de 0.0 a 0.7 mg L⁻¹.

En el humedal “Chiconahuapan”, en marzo los valores obtenidos fueron 6.91 y 6.635 mg L⁻¹, en junio de 0.3 a 10.4 mg L⁻¹, en julio de 0.3 a 3.9 mg L⁻¹, en septiembre de 0.0 a 3.5 mg L⁻¹; en octubre estuvieron entre 0.1 y 7.9 mg L⁻¹ .

De acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 el límite máximo permisible para este parámetro que consignan los criterios ecológicos de la calidad del agua es de 5.0 mg L⁻¹. En el humedal norte “Chignahuapan”, en marzo ningún valor se encontró abajo del límite, en noviembre de los diez sitios muestreados, ocho se encontraron abajo del límite.

En el humedal “Chicomaloapan”, en abril todos los valores se encontraron por debajo del límite, tres de ellos fueron de 0.3 mg L⁻¹ y uno de 0.6 mg L⁻¹; en mayo solo tres se encontraron por debajo de este límite y son: 2.5, 0.47 y 3.47 mg L⁻¹; en junio y julio todos se encontraron por debajo del límite, el intervalo oscila de 0.0 a 4.5 mg L⁻¹.

En el humedal del sur “Chiconahuapan”, en marzo los niveles de oxígeno son óptimos al cuerpo de agua; en junio dos de los valores son bajos, 4.9 y 0.3 mg L⁻¹; en julio todos los valores disminuyeron considerablemente de 0.3 a 3.9 mg L⁻¹. En septiembre se encontraron en el intervalo de 1.0 a 3.5 mg L⁻¹ y en octubre nueve de los doce valores están por debajo del límite.

Los valores encontrados indican que hay presencia de contaminantes oxidables, sin embargo, el sistema aún tiene una capacidad regular de autodepuración.

El comportamiento del oxígeno está ligado a la temperatura promedio que se está presentando en los humedales, generando una disminución dando lugar a una concentración de contaminantes que demandan oxígeno para su degradación, en parte son residuos orgánicos provenientes de descargas domésticas, como grasas y aceites, carbohidratos, proteínas, entre otros. Algunos sitios monitoreados del humedal del centro han perdido la capacidad de autodepuración.

Temperatura

La temperatura es muy importante para la solubilidad de sales y gases, en la determinación del pH y de la conductividad eléctrica, el conocimiento del origen del agua y de eventuales mezclas, etc. La temperatura de aguas superficiales está influenciada por la temperatura del aire. Una temperatura menor a 10°C modera las reacciones químicas en los diferentes tratamientos de las aguas. Las variaciones bruscas son ocasionadas por la mezcla de aguas de otro origen. La elevación de la temperatura genera una modificación en la densidad (disminuye cuando aumenta la temperatura), reducción de la viscosidad, aumento de la tensión de vapor saturante de la superficie y una disminución de la solubilidad de los gases. Así también, puede tener acciones benéficas, favorece la autodepuración y aumenta la velocidad de la sedimentación, acelera las reacciones químicas y bioquímicas, las cuales tienen un consumo de oxígeno, lo cual hace que disminuya el oxígeno disuelto y contrariamente aparezca ácido sulfhídrico, metano y cadenas parcialmente oxidadas, produciendo olores y sabores desagradables (Rodier, 1990).

En el humedal norte “Chignahuapan”, los valores registrados en marzo fueron de 15.0, 16.2 y 16.9°C. En noviembre de 8.0 a 18.0°C.

En el humedal del centro “Chimaloapan”, en abril, los valores variaron de 10.4 a 22.6°C, en mayo se encontraron entre 14.2 y 25.4°C. En junio entre 16.0 a 17.4°C y en julio de 17.6, 17.0 y 18.6°C.

En el humedal del sur “Chiconahuapan”, en marzo los valores fueron de 17.7 a 20.0°C, en junio de 14.0 a 17.2°C, en julio de 13.6 a 21.0°C, en septiembre el intervalo estuvo entre 13.8 y 18.0°C y en octubre de 12.8 a 16.5°C.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 el límite de temperatura es de 40°C para humedales naturales. En ninguno de los tres humedales analizados se

rebasa el límite máximo permisible establecido por dicha norma, lo cual nos indica que la temperatura registrada es adecuada.

Se consideró importante la determinación de la temperatura ya que influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los humedales, como pueden ser la estratificación térmica, disminución de la solubilidad de los gases, aceleración de reacciones químicas y afectar la tolerancia de los microorganismos acelerando o disminuyendo su metabolismo. En general los valores de temperatura encontrados para los tres polígonos, indican que este parámetro no está determinando los olores desagradables y los procesos anaerobios.

Profundidad y transparencia

La profundidad y transparencia nos indican de manera indirecta, que tanto se absorbe o se dispersa la luz por la materia suspendida en el agua. La acción fotosintética presenta grandes variaciones, dependiendo de la contaminación del cause, velocidad de la corriente, profundidad, temperatura y el contenido de nutrientes e insolación.

En el humedal “Chignahuapan”, los valores de profundidad registrados en marzo fueron de 70, 75 y 80 cm, en cuanto a transparencia tenemos valores de 20, 65 y 70 cm. En noviembre el intervalo fue de 40 a 200 cm y la transparencia de 15 a 100 cm.

En el humedal “Chimaloapan”, en abril, los valores de profundidad fueron de 29 a 100 cm y la transparencia de 9 a 29 cm; en mayo la profundidad se encontró entre 30 a 250 cm y la transparencia entre 7 a 50 cm. En junio los valores de profundidad estuvieron entre 0.0 a 230 cm, la transparencia entre 0.0 a 23 cm y en julio los valores fueron de 20 a 48 cm y la transparencia de 12 a 20 cm.

En el humedal “Chiconahuapan”, para marzo los valores de profundidad se encontraron de 50 a 55 cm y la transparencia de 10 a 35 cm; en junio de 20 a 100

cm y la transparencia de 12 a 20 cm; en julio de 60 a 150 cm y la transparencia de 10 a 27 cm; en septiembre el intervalo de profundidad estuvo entre 80 y 160 cm y la transparencia de 30 a 95 cm. En octubre la profundidad estuvo entre 35 y 140 cm y la transparencia de 20 a 70 cm.

Los valores encontrados en la mayoría de los sitios de las tres poligonales indican hay dificultad parcial para la penetración de la luz a través de la columna de agua y por tanto casi no hay interferencia con la fotosíntesis.

Color

El color proviene generalmente de la materia en suspensión y en solución. En función de la turbidez es importante la presencia del plancton, de materiales en solución (ácidos húmicos, hierro, manganeso, vertidos industriales), podrá virar al verde, amarillo o pardo. Aunque el agua colorida puede que no sea perjudicial, presentará ciertos inconvenientes y será sospechosa para el consumidor. Independientemente de los problemas estéticos, las sustancias que provocan la coloración del agua pueden ser dadas por los quelatos con los iones metálicos (Rodier, 1990).

Cuando el agua tiene 15 UC verdadero o más no es apta para el consumo humano, además éste incrementa el mal olor y sabor, si están presentes los fenoles en el agua, pueden originar la presencia de iones metálicos como hierro, plancton, algas, etc.

En el humedal norte, para noviembre, los valores se encontraron en un intervalo de 0 a 500 UC.

En el humedal del centro, en abril, van de 50 a 200 UC, en mayo entre 25 a 500 UC. Durante junio estuvieron entre 0 a 500 UC y en julio fueron de 50 a 500 UC.

En el humedal sur, en marzo, los valores fueron de 100 y 200 UC; en junio de 50 a 400 UC; en julio de 200 a 500 UC; en septiembre entre 300 a 500 UC y en octubre entre 25 a 500 UC.

De acuerdo a Rodier (1990) el valor de 10 unidades (escala colorimétrica de platino-cobalto) se consideran como una cifra que es preferible no sobrepasar y valor de 20 unidades se admite como limite superior aceptable. En Jiménez (2002) el valor de 15 unidades en la misma escala, es propicio.

En todos los puntos muestreados, para los tres humedales los valores encontrados estuvieron por arriba de 10-20 UC, ya que presentan un mínimo de 50 unidades de color.

Los valores de color registrados en los humedales nos indican que existe materia en suspensión que proviene de los suelos erosionados y del aporte de descargas de tipo domestico principalmente, por lo tanto hay que realizar actividades de control de erosión en áreas forestales cercanas.

Grasas y aceites

El uso de materias grasas de origen vegetal y animal, asociados al desarrollo considerable del uso industrial de las grasas y aceites de origen mineral, conducen a contaminación permanente, generalmente a niveles pequeños, que viene algunas veces a añadirse a la contaminación masiva proveniente de los vertidos accidentales. La mayoría de estos productos son insolubles en el agua, pero pueden existir en forma emulsificada o saponificada. Su mezcla con los hidrocarburos, da un aspecto irisado al agua, así como un sabor y un olor particular (Rodier, 1990).

Si las grasas y aceites se presentan en grandes cantidades pueden interferir en los procesos biológicos aerobios y anaerobios, originando una reducción de la capacidad de reareación al formar películas en la superficie que impiden el

contacto aire-agua y crean una demanda importante de oxígeno para su degradación. Las grasas muchas veces quedan retenidas por las plantas y algas en el propio sistema ocasionando una mayor acumulación de sedimentos.

En el humedal “Chignahuapan”, los valores para el mes de marzo fueron de 0.201, 0.1784 y 0.1228 mg L⁻¹. En noviembre, los valores se encontraron en un intervalo de 0.0147 a 0.08547 mg L⁻¹.

En el humedal “Chimaloapan”, en abril, fueron de 0.0605 a 0.2523 mg L⁻¹, en mayo se encontraron entre 0.0294 a 0.1765 mg L⁻¹. Durante junio fueron de 0.042 a 0.0795 mg L⁻¹ y en julio de 0.05163 a 0.0756 mg L⁻¹.

En el humedal “Chiconahuapan”, para marzo los valores obtenidos fueron 0.1086 y 0.1489 mg L⁻¹, en junio de 0.0485 a 0.0503 mg L⁻¹, en julio de 0.03468 a 0.0949 mg L⁻¹, en septiembre entre 0.0931 a 0.7585 mg L⁻¹ y en octubre entre 0.2008 a 1.716 mg L⁻¹.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece el límite máximo permisible de grasas y aceites es de 15 mg L⁻¹ en humedales naturales, encontramos que en los tres humedales ninguno rebasa dicho limite, ya que los valores se encontraron por debajo de 1 mg L⁻¹.

El contenido encontrado en las tres poligonales excepto en sitios muy localizados, indican que en el sistema casi no hay ácidos grasos libres y por tanto los disolventes orgánicos que son algunas veces sus asociados como el tetracloruro de carbono, tricloroetileno o cloformo no pueden perturbar significativamente la depuración biológica y de los fangos en sitios localizados.

Fenoles

La presencia de los fenoles en el agua se debe frecuentemente a la contaminación industrial (fabricas químicas, industria papelera y petroquímica). Estos productos se oxidan difícilmente, se adsorben poco y filtran fácilmente. La descomposición de los productos vegetales como lignina, así como las aguas residuales industriales de celulosa pueden conducir a la emisión de productos fenólicos. En México su uso no está autorizado como plaguicida.

En el humedal norte, los valores registrados en marzo fueron de N.D., 0.80 y 2.80 mg L⁻¹. En noviembre, se encontraron en un intervalo de 4.08 a 42.01 mg L⁻¹.

En el humedal del centro, en abril, los valores fueron de 2.4 a 8.6 mg L⁻¹, en mayo entre 0.0 a 0.18 mg L⁻¹. Durante junio estuvieron entre N.D. a 0.86 mg L⁻¹ y en julio fueron de N.D. a 2.0 mg L⁻¹.

En el humedal sur, en marzo los valores obtenidos fueron 0.05 y 0.12 mg L⁻¹, en junio, julio y septiembre no se detectaron. En octubre los valores estuvieron entre N.D. a 32.04 mg L⁻¹.

La NOM-003-SEMARNAT-1997, establece los criterios ecológicos de calidad del agua y menciona que el límite máximo permisible para fenoles es de 0.1 mg L⁻¹.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el humedal norte, encontramos que en marzo dos valores rebasaron dicho límite, los cuales fueron de 0.80 y 2.80 mg L⁻¹, lo mismo ocurrió en el mes de noviembre, ya que todos los valores rebasaron dicho límite, con un intervalo de 4.08 a 39.77 mg L⁻¹.

En el humedal "Chimaloapan", en abril encontramos que todos los valores se encontraron entre 2.4 a 8.6 mg L⁻¹; de los nueve sitios monitoreados en mayo, cuatro de ellos lo rebasaron, siendo su intervalo entre 0.18 a 0.4 mg L⁻¹. En junio

solo un valor, de 0.86 mg L^{-1} , rebasó dicho límite. En julio dos valores excedieron entre 1.0 y 2.0 mg L^{-1} . En este humedal, en nueve sitios no se detectaron fenoles. Con excepción de abril, el resto de los valores fueron bajos.

En el humedal “Chiconahuapan”, en marzo un punto rebasó dicho límite, con un valor de 0.12 mg L^{-1} ; en junio, julio y septiembre los valores fueron de 0.0 mg L^{-1} . En octubre, nueve de los doce puntos muestreados, rebasaron el límite máximo permisible, con valores entre 5.21 a 32.04 mg L^{-1} . En los humedales norte y sur, su presencia fue mayor.

La presencia de fenoles en las diferentes poligonales pueden ser producto de la degradación de pesticidas, funguicidas o herbicidas, por descargas industriales o bien, puede tratarse de contaminación humana. La cantidad de los derivados hidroxilados vertidos diariamente por el organismo humano (transformación de los triptófanos en indosilos en procesos de desintoxicación) se evalúan en 200 a 300 mg (Rodier, 1990). Estos fenoles evolucionan con bastante rapidez bajo la acción bacteriana y en ausencia de toda contaminación industrial, situación que no se presenta en el polígono sur.

Sustancias activas al azul de metileno

El término detergente designa todas las sustancias que poseen las propiedades de limpieza, son productos complejos que contienen uno o varios agentes activos de superficie y compuestos minerales (carbonatos, fosfatos, polifosfatos y perboratos), frecuentemente asociados a los materiales orgánicos mejorantes (carboximetil-celulosa, alkanolamidas), a las enzimas hidroxilantes y a los secuestrantes (derivados del ácido etilendiamino-tetracético y del ácido nitrilo acético).

En el humedal “Chignahuapan”, los valores encontrados para marzo fueron de 2.1 , 2.9 y 2.3 mg L^{-1} . En noviembre de ND a 5.05 mg L^{-1} .

En el humedal “Chimaloapan”, en abril, de 1.8 a 2.2 mg L⁻¹, en mayo de 0.0 a 1.55 mg L⁻¹. Durante junio entre 0.8 a 5.2 mg L⁻¹ y en julio no se detectaron.

En el humedal “Chiconahuapan”, en marzo los valores obtenidos fueron 2.4 y 1.10 mg L⁻¹, en junio de 0.55 a 5.55 mg L⁻¹, en julio de ND a 3.0 mg L⁻¹, en septiembre de ND a 4.2 mg L⁻¹ y octubre estuvieron entre ND a 2.75 mg L⁻¹.

En la NOM-003-SEMARNAT-1997, los criterios ecológicos del agua, indican que el límite máximo permisible para las SAAM es de 0.1 mg L⁻¹, comparado con los resultados obtenidos en el mes de marzo para el humedal “Chignahuapan”, todos los valores rebasaron dicho límite, ya que oscilaron entre 2.1 y 2.9 mg L⁻¹. En el mes de noviembre, ocho de los diez sitios monitoreados rebasaron el límite, ya que se encontraron entre 0.25 a 5.5 mg L⁻¹.

En el humedal “Chimaloapan”, en abril los valores se encontraron por encima del LMP, ya que su intervalo estuvo entre 1.8 a 2.2 mg L⁻¹. En mayo, seis de los nueve sitios tuvieron un valor de ND a 0.1 mg L⁻¹, los cuales estuvieron dentro del límite, en cambio hay tres valores que lo rebasaron 0.65, 1.55 y 0.25 mg L⁻¹. En junio, todos los valores obtenidos estuvieron por arriba del límite, su intervalo estaba entre los 0.8 a 5.2 mg L⁻¹. En julio no se detectaron.

En el humedal “Chiconahuapan”, en marzo y julio todos los valores rebasaron el LMP, ya que el intervalo osciló de 0.55 a 5.55 mg L⁻¹. En julio, dos valores fueron elevados entre 2.0 y 3.0 mg L⁻¹. En septiembre, de los seis valores, tres lo rebasaron, entre 0.6 y 4.2 mg L⁻¹, en los tres restantes no se detectaron SAAM. En octubre, nueve de los doce puntos lo rebasaron, valores entre 0.6 a 2.75 mg L⁻¹.

Las sustancias activas al azul de metileno incorporadas a las corrientes adyacentes y a los humedales son aportadas principalmente por las descargas de agua residual doméstica y en menor proporción por las descargas industriales, fue importante evaluar este parámetro ya que las grasas en presencia de sales

alcalinas forman glicerinas y ácidos grasos que al reaccionar con los álcalis forman los jabones; estas sustancias contribuyen al problema de la formación de espumas mismas que impiden el contacto aire agua y por lo tanto no hay una buena oxigenación, en consecuencia facilita la disolución de sustancias que anteriormente no eran tan solubles, de esta forma se aumenta la sensibilidad de un cuerpo receptor a ser contaminado. De los tres polígonos el del centro, presenta el problema descrito.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Los fenómenos de autodepuración en las aguas superficiales, resultan de la degradación de las cargas orgánicas contaminantes bajo la acción de microorganismos. De ello resulta un consumo de oxígeno que se expresa por la demanda bioquímica. La degradación de los componentes glucídicos, lípidicos y proteicos de las materias orgánicas se traduce, en un primer paso por una descomposición de las cadenas carbonadas.

El proceso de descomposición inicia inmediatamente y se mantiene durante aproximadamente 20 días a la temperatura de 20°C; en cambio, el principio de la transformación de la materia nitrogenada no aparece, solamente después de 10 días y requiere muchos más tiempo. En estas condiciones, se ha fijado convencionalmente expresar la DBO en mg de oxígeno consumido durante 5 días a 20°C (Rodier, 1990).

En el humedal norte, los valores registrados en marzo fueron de 397.45, 279.13 y 411.03 mg O₂ L⁻¹.

En el humedal del centro, en abril, los valores fueron de 20.05 a 586.23 mg O₂ L⁻¹, en mayo entre 112.05 y 497.77 mg O₂ L⁻¹ y en junio entre 111.09 y 811.07 mg O₂ L⁻¹.

En el humedal sur, en marzo los valores obtenidos fueron 169.73 y 316.71 mg O₂ L⁻¹, en junio de 99.07 a 347.31 mg O₂ L⁻¹, en septiembre de 221.35 a 386.28 mg O₂ L⁻¹, en octubre estuvieron entre 90.32 y 545.09 mg O₂ L⁻¹.

En la NOM-001-SEMARNAT-1996 el límite máximo permisible para humedales naturales es de 75 mg O₂ L⁻¹; en el humedal norte en el mes de marzo los valores fueron de 397.45, 279.13 y 411.03 mg O₂ L⁻¹.

En el humedal del centro, todos los valores en abril se encontraron por arriba del límite, con un intervalo de 270.05 a 586.23 mg O₂ L⁻¹; en mayo ocho de los nueve puntos lo rebasaron en el intervalo de 97.43 a 271.65 mg O₂ L⁻¹, solo uno fue de 63.69 mg O₂ L⁻¹, en junio dos valores lo rebasaron y son 273.48 y 278.07 mg O₂ L⁻¹.

En el humedal del sur, en marzo, ambos valores rebasaron el límite máximo permisible, fueron de 169.73 y 316.71 mg O₂ L⁻¹, en junio dos de tres sitios lo rebasaron, los valores de 347.31 y 99.07 mg O₂ L⁻¹. En septiembre todos los valores lo rebasaron, con un intervalo de 221.35 a 386.28 mg O₂ L⁻¹.

Este parámetro en particular es muy importante para conocer el origen de los materiales ya sea de tipo orgánico o inorgánico, los valores encontrados para las tres poligonales rebasaron los 200 a 300 mg O₂ L⁻¹, indicando que hay una presencia de aguas residuales domésticas e industriales, predominando la presencia de materiales orgánicos.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La diferencia de los resultados obtenidos para la DQO y la DBO constituyen una indicación de la importancia de la materia contaminantes poco o nada biodegradables (Rodier, 1991).

En el humedal “Chignahuapan”, los valores registrados en marzo fueron de 694.44, 750.85 y 772.55 mg O₂ L⁻¹. En noviembre, los valores se encontraron en un intervalo de 177.95 a 841.66 mg O₂ L⁻¹.

En el humedal “Chimaloapan”, en abril, los valores fueron de 572.9 a 763.87 mg O₂ L⁻¹, en mayo, entre 443.22 y 886.45 mg O₂ L⁻¹. Durante junio estuvieron entre 217.71 y 921.7 mg O₂ L⁻¹ y en julio fueron de 847.22 a 939.06 mg O₂ L⁻¹.

En el humedal “Chiconahuapan”, en marzo los valores obtenidos fueron 251.55 y 320.82 mg O₂ L⁻¹, en junio de 286.45 a 370.12 mg O₂ L⁻¹, en julio de 95.48 a 233.68 mg O₂ L⁻¹, en septiembre de 186.28 a 256.07 mg O₂ L⁻¹ y en octubre entre 151.9 y 581.54 mg O₂ L⁻¹.

De acuerdo a Metcalf y Eddy (1991), consideran que 250 mg O₂ L⁻¹ es una concentración débil; de 500 mg O₂ L⁻¹ es una concentración media y de 1000 mg O₂ L⁻¹ es una concentración fuerte.

En el humedal norte, en marzo los valores encontrados indican una concentración fuerte. En noviembre, seis valores presentan una concentración débil; tres, una concentración media y uno, concentración fuerte de 1041.66 mg O₂ L⁻¹.

En humedal centro, en abril todos tuvieron una concentración media, mientras que en mayo ocho puntos presentaron una concentración media y un sitio una concentración débil. En junio, tres tuvieron una concentración débil, dos una concentración fuerte. En julio, dos tuvieron una concentración débil y un sitio, una concentración media.

En el humedal sur, en marzo ambos tuvieron una concentración media; en julio, dos sitios presentaron concentraciones débiles y otro sitio tuvo una concentración fuerte. En septiembre, cinco sitios tuvieron una concentración media y un sitio, la

presentó débil. En octubre, cinco sitios presentaron concentraciones débiles, seis sitios concentración media y un sitio una concentración fuerte.

Los valores reportados para los polígonos centro y norte indican contaminación del sistema, es decir, están ingresando al humedal cantidades importantes de materia orgánica, que se están estabilizando lentamente debido a que el agua se desoxigenada lentamente y en determinados sitios, principalmente en el humedal del centro da lugar a condiciones anaerobias.

Los valores de DQO se incrementaron especialmente en la época de sequía propiciando una concentración de los desechos tanto inorgánicos como orgánicos. Los valores cercanos a los 500 mg O₂ L⁻¹ son valores característicos para sistemas afectados por descargas industriales.

Coliformes totales y fecales

Los organismos coliformes no son en si mismos perjudiciales, son importantes para la degradación de la materia orgánica.

En el humedal norte, los valores registrados en marzo fueron de 120, 300 y 80 NMP 100 mL⁻¹. En noviembre, de 0.0 a 240 NMP 100 mL⁻¹.

En el humedal del centro, en abril los valores fueron de 1,500 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹, en mayo entre 30 a 24,000 NMP 100 mL⁻¹. Durante junio los valores estuvieron entre 0.0 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹. En julio fueron de 2,400 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹.

En el humedal sur, para marzo los valores fueron de 450 y 160 NMP 100 mL⁻¹, en junio los valores estuvieron de 0.0 a 200 NMP 100 mL⁻¹, en julio el intervalo fue de 74 a 24,000 NMP 100 mL⁻¹ y en septiembre de 230 a 2,400 NMP 100 mL⁻¹. En octubre los valores estuvieron entre 30 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹.

En el humedal norte, los valores de coliformes fecales registrados en marzo fueron de 60, 180 y 0.0 NMP 100 mL⁻¹, en noviembre, de 0.0 a 14 NMP 100 mL⁻¹.

En el humedal del centro los valores de coliformes fecales en abril fueron de 180 a 2,000 NMP 100 mL⁻¹, en mayo se encontraron entre 0.0 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹, durante junio de 0.0 a 4,600 NMP 100 mL⁻¹ y en julio de 0.0 a 2,400 a 4,600 NMP 100 mL⁻¹.

En el humedal sur los valores de coliformes fecales fueron, para marzo fueron 180 y 30 NMP 100 mL⁻¹, en junio de 0.0 a 200 NMP 100 mL⁻¹, en julio de 70 a 24,000 NMP 100 mL⁻¹, en septiembre de 230 a 2,400 NMP 100 mL⁻¹ y en octubre entre 30 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹.

En la NOM-003-SEMARNAT-1997 en los criterios ecológicos de la calidad del agua, se establece que el límite máximo permisible es de 400 NMP 100 mL⁻¹. En el humedal norte, en marzo y noviembre ningún valor rebasó dicho límite.

En el humedal centro, en abril sólo un sitio rebasó el límite máximo permisible con 2,000 NMP 100 mL⁻¹. En mayo, cinco sitios rebasaron el límite, con un intervalo de 2,400 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹. En junio, tres sitios rebasaron el límite, el intervalo fue de 2,400 a 4,600 NMP 100 mL⁻¹ y en julio, todos los sitios lo rebasaron, el intervalo fue de 2,400 a 4,600 NMP 100 mL⁻¹.

En el humedal sur, en los meses de marzo y junio ningún sitio rebasó dicho límite; en julio un sitio rebasó con 24,000 NMP 100 mL⁻¹. En septiembre, tres sitios lo rebasaron con un intervalo de 1,200 a 2,400 NMP 100 mL⁻¹. En octubre, cinco sitios rebasaron el límite, de 1,200 a 11,000 NMP 100 mL⁻¹.

Los coliformes son microorganismos indicadores porque su presencia revela contaminación del agua con heces fecales y por lo tanto la posible existencia de

patógenos teniendo en cuenta que la población de microorganismos patógenos en las aguas residuales es pequeña y difícil de localizar.

Los valores encontrados en los polígonos centro y norte revelan contaminación del agua con heces fecales y por lo tanto la existencia de patógenos.

Huevos de helminto

Para comprender el papel que desempeñan las aguas residuales en la transmisión de los helmintos, se debe considerar primero, la manera en que estos se diseminan y como sobreviven, ya que en muchos casos no incluye la ruta fecal.

En el humedal norte “Chignahuapan”, en marzo el número de huevos de helmintos fue de 5, 8 y 9 HH L⁻¹. En noviembre, se encontraron de 1 a 3 HH L⁻¹.

En el humedal del centro “Chimaloapan”, en abril, el intervalo fue de 6 a 11 HH L⁻¹, en mayo se encontró entre 3 y 11 HH L⁻¹, durante junio el intervalo estuvo entre 3 y 7 HH L⁻¹ y en julio se cuantificó de 1 a 3 HH L⁻¹.

En el humedal sur “Chiconahuapan”, en marzo el número de huevos fue de 6 y 11 HH L⁻¹, en junio de 4 a 8 HH L⁻¹, en julio de 3 a 5 HH L⁻¹ y en septiembre de 1 a 4 HH L⁻¹, en octubre de 1 a 6 HH L⁻¹.

De acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los criterios ecológicos de calidad del agua, el límite máximo permisible para huevos de helminto es de ≤ 1 HH L⁻¹.

En el humedal norte “Chignahuapan”, en marzo el número de huevos obtenidos lo rebasan, con valores de 5 a 9 HH L⁻¹; en noviembre seis valores lo rebasan, de 2 a 3 HH L⁻¹.

En el humedal centro “Chimaloapan”, en los meses de abril y mayo, el número de huevos rebasaron dicho límite, con valores que oscilan entre 3 y 11 HH L⁻¹. En junio todos los valores lo rebasaron, con un intervalo de 3 a 7 HH L⁻¹. En julio, dos de tres sitios rebasaron el límite, entre 2 y 3 HH L⁻¹.

En el humedal sur “Chiconahuapan”, en los meses de marzo, junio y julio rebasaron el límite y el intervalo fue de 3 a 11 HH L⁻¹. En septiembre, cinco sitios rebasan el límite con un intervalo de 2 a 4 HH L⁻¹. En el mes de octubre, once de los sitios muestreados rebasaron el límite con un intervalo de 2 a 6 HH L⁻¹.

La cantidad de huevos de helminto encontrados son muy elevados esto refleja el crecimiento urbano que está dado en la zona e indica que no existen condiciones sanitarias adecuadas, así como el manejo y control, principalmente del ganado bovino.

Para riesgo irrestricto, el número de huevos de helminto rebasa el límite máximo permisible para uso agrícola, el número mínimo se encuentra en los umbrales pero el máximo si sobrepasa en mucho lo establecido. Los tres humedales presentan un riesgo sanitario.

Nitratos

Los nitratos pueden provenir en particular de las colectividades y ocasionalmente de las aguas residuales de ciertas industrias, de las ganaderías. Las aguas de lluvia pueden contener nitratos provenientes del óxido de nitrógeno y del amoníaco presentes en la atmósfera (Rodier, 1990).

Su origen principal es a partir de escorrentías, río y cursos de agua de las tierras agrícolas (residuos oxidados de animales). La facilidad de oxidación del nitrógeno reducido a nitrato en materia orgánica descompuesta en el suelo, por medio de aireación y humedad. Un exceso de ión nitrato en el agua de consumo es peligroso para la salud, puede dar lugar a metahemoglobinemia en niños, así

como en adultos una deficiencia enzimática. El agua subterránea no contaminada tiene generalmente niveles de nitrato de 2 mg L^{-1} (Colin, 2001).

En el humedal norte "Chignahuapan", los valores registrados en noviembre fueron de 1.1 a 1.152 mg L^{-1} .

En el humedal del centro "Chimaloapan", en junio los valores estuvieron entre 0.866 y 0.897 mg L^{-1} y en julio fueron de 0.891 a 0.894 mg L^{-1} .

En el humedal sur "Chiconahuapan", en junio los valores estuvieron de 0.883 a 0.886 mg L^{-1} ; en julio de 0.892 a 0.896 mg L^{-1} , en septiembre de 1.22 a 1.267 mg L^{-1} y en octubre estuvieron entre 0.827 y 0.964 mg L^{-1} .

Una concentración elevada de nitratos es muy peligrosa para los rumiantes, el ganado después de beber agua donde proliferan colonias de algas verdiazules. Se ha aislado un polipéptido cítrico con tales características de factor de muerte rápida (Fair, 1989).

Fósforo total

Los fosfatos forman parte de los aniones fácilmente fijados por el suelo, habitualmente su contenido no sobrepasa 1 mg L^{-1} . La mayoría de las aguas que contienen fosfatos se encuentran asociados a los fluoruros (Rodier, 1990).

En el humedal norte "Chignahuapan", los valores registrados en marzo fueron de 1.994 , 0.703 y 0.807 mg L^{-1} . En noviembre, los valores se encontraron en el intervalo de 0.382 a $1,291 \text{ mg L}^{-1}$.

En el humedal del centro "Chimaloapan", en abril el intervalo fue de 2.013 a 3.943 mg L^{-1} , en mayo entre 0.756 y 5.181 mg L^{-1} , en junio estuvieron entre 0.425 y 1.211 mg L^{-1} y en julio fueron de 0.036 a 3.552 mg L^{-1} .

En el humedal sur “Chiconahuapan”, en marzo los valores fueron 1.292 y 1.218 mg L⁻¹; en junio estuvieron de 3.059 a 5.836 mg L⁻¹; en julio de 0.0 a 0.771 mg L⁻¹, en septiembre de 0.418 a 0.915 mg L⁻¹ y en octubre los valores estuvieron entre 0.739 y 2.209 mg L⁻¹.

De acuerdo a Metcalf y Eddy (1991), para este parámetro, 4 mg L⁻¹ es una concentración débil; 8 mg L⁻¹ es una concentración media y 15 mg L⁻¹ es una concentración fuerte.

En el humedal norte “Chignahuapan”, en marzo y noviembre los valores presentaron una concentración débil, con un intervalo de 0.382 a 1.994 mg L⁻¹.

En el humedal centro “Chimaloapan”, en abril los valores tuvieron una concentración débil; en mayo, seis sitios presentaron una concentración débil y tres sitios presentaron una concentración media, que osciló entre 4.563, 5.181 y 4.69 mg L⁻¹. En junio y julio, todos los sitios presentaron una concentración débil, con un intervalo de 0.036 a 3.552 mg L⁻¹.

En el humedal sur “Chiconahuapan”, en marzo las concentraciones fueron débiles; en junio dos sitios presentaron concentración débil (3.773 y 3.059 mg L⁻¹) y un sitio tuvo una concentración media (5.836 mg L⁻¹). En julio y septiembre los valores reportaron una concentración débil, con valores que fueron de 0.0 a 0.915 mg L⁻¹. En octubre, todos presentaron una concentración débil, en el intervalo de 0.832 a 2.209 mg L⁻¹.

El fósforo es un nutriente que se requiere para el crecimiento del protoplasma viviente que contiene más o menos 2% de fósforo en peso, base seca. El fósforo puede ser el elemento limitante en el crecimiento de la plantas acuáticas fotosintéticas, dada su escasa concentración. Los organismos utilizan fosfato como nutrientes en el tratamiento de aguas residuales por procesos biológicos (Snoeyink, 1996).

La presencia de un exceso de ión fosfato en aguas naturales tiene un efecto devastador en la ecología acuática debido a la hiperfertilización de la vida vegetal, una de las fuentes mayores de fosfato como contaminante son los detergentes (Baird, 2001).

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes más importantes en el contexto de la eutrofización y ya que unas algas pueden filtrar el nitrógeno atmosférico, se acepta generalmente que el fósforo es el nutriente limitante en el agua (Tebbutt, 2002).

Metales pesados

Algunos metales son necesarios para los seres vivos, pero pueden llegar a ser tóxicos si rebasan ciertas concentraciones, a estos últimos se les llama con frecuencia “metales pesados”. Los metales de mayor importancia en el agua se encuentran en forma iónica y se clasifican en prioritarios y no prioritarios. Los metales que se presentan en forma insoluble son fácilmente eliminados por sedimentación primaria, en cambio, los solubles son difíciles de remover.

La naturaleza posee procesos propios para controlar la presencia de los metales. El principal proceso de remoción es la adsorción, seguida por la volatilización y la bioacumulación. La adsorción se presenta cuando el metal se encuentra en forma soluble y ésta ocurre debido a las diferentes cargas eléctricas entre el metal y la materia orgánica, o bien, cuando el metal se encuentra en forma insoluble y se adsorbe sobre materia orgánica por efecto de la coprecipitación.

Plomo (Pb)

Es un componente menor, pero ampliamente difundido, de la corteza terrestre, donde se presenta en forma de carbonatos, fosfatos, pero principalmente en forma de sulfuros. En las aguas de lluvia y las superficiales pueden contener $5 \mu\text{g L}^{-1}$ aproximadamente (Rodier, 1991).

El contenido de plomo en las aguas superficiales no contaminadas no sobrepasa de $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$ y su presencia en contenidos más elevados, aunque sea solubilizado o fijado por las materias en suspensión, se debe a causas externas.

En ausencia de sulfuros, la solubilidad del plomo en el agua está en función del pH. Un agua cuyo pH próximo a 6.5 con una alcalinidad pequeña ($<30 \text{ mg L}^{-1}$ de HCO_3) puede contener 40 centenares de microorganismos, mientras que para el agua cuya alcalinidad sobrepase de 60 mg L^{-1} de HCO_3 con un pH próximo a 8, la concentración de plomo disuelto no sobrepasará de $10 \mu\text{g L}^{-1}$.

Es susceptible de acumularse en el organismo; el peligro no es solamente debido a la adsorción de una dosis tóxica, si no a una acumulación de dosis consideradas no tóxicas. Se fija sobre el esqueleto, donde encuentra una dependencia con el metabolismo cálcico, además de existir una eliminación biológica en la heces.

La vida acuática puede perturbarse a partir de 0.1 mg L^{-1} . Los efectos tóxicos pueden manifestarse en los peces a partir de 1 mg L^{-1} . No obstante, la acción tóxica es variable según la especie y el grado de mineralización del agua.

En el humedal norte "Chignahuapan", en marzo se obtuvo un intervalo de 0.008 a 0.016 mg L^{-1} y en noviembre el intervalo estuvo entre 0.004 a 0.008 mg L^{-1} .

En el humedal centro, en abril los valores estuvieron entre 0.014 a 0.022 mg L^{-1} ; en mayo en algunos sitios no fue detectado, mientras que el intervalo fue de 0.0043 a 0.017 mg L^{-1} ; en junio los valores registrados estuvieron en el intervalo de 0.003 a 0.0141 mg L^{-1} y en julio de 0.006 a 0.013 mg L^{-1} .

En el humedal sur, en marzo los valores fueron de 0.016 mg L^{-1} ; en junio de 0.0086 mg L^{-1} ; en julio de 0.011, 0.006 mg L^{-1} , en septiembre el intervalo fue de 0.002 a 0.004 mg L^{-1} y en octubre se encontraron valores de 0.002 y 0.008 mg L^{-1} .

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible de plomo en humedales naturales es de 0.2 mg L^{-1} en su promedio mensual, por lo que ninguno de los resultados registrados en los tres humedales rebasan dicho límite, pero dichas fracciones no deberían de estar presentes, ya que es un elemento no esencial.

Zinc (Zn)

Este metal puede encontrarse en las aguas de distribución en contenidos que sobrepasan $5 \mu\text{g L}^{-1}$, que proviene generalmente de las tuberías de latón y hierro galvanizado, atacadas por aguas agresivas o ricas en cloruros y sulfatos. Para cantidades relativamente pequeñas (2 mg L^{-1}), el zinc puede dar al agua una opalescencia variable con la dureza (Rodier, 1991).

Desde el punto de vista fisiológico, la cantidad de zinc tolerable en el agua queda limitada por el gusto desagradable por las sales de zinc (por encima de 5 a 10 mg L^{-1}). En las aguas residuales de tratamiento de superficie, está habitualmente acompañado de plomo y de cadmio. La presencia de estos dos elementos tóxicos conduciría a limitar el contenido de zinc a 1 mg L^{-1} en el agua potable.

Para la vida acuática presenta una cierta toxicidad, en función de la mineralización del agua y de la especie considerada. La toxicidad para los peces se ejerce a partir de algunos miligramos por litro. Para el uso agrícola, el marchitamiento de las plantas puede ocurrir a partir de 5 mg L^{-1} .

En el humedal norte, en el mes de marzo se obtuvo un intervalo de 0.0019 a 0.160 mg L^{-1} y en noviembre entre 0.014 a 0.35 mg L^{-1} .

En el humedal centro, en abril los valores estuvieron entre 0.0059 a 0.015 mg L^{-1} ; en mayo el intervalo fue de 0.006 a 0.068 mg L^{-1} ; en junio entre 0.006 y 0.1 mg L^{-1} y en julio de 0.019 a 0.213 mg L^{-1} .

En el humedal sur, en marzo los valores fueron de 0.012 y 0.019 mg L⁻¹; en junio se encontraron valores de 0.006 a 0.009 mg L⁻¹; en julio de 0.005 a 0.1 mg L⁻¹. En septiembre de 0.064 a 0.1902 mg L⁻¹ y en octubre se encontraron valores de 0.028 y 0.171 mg L⁻¹.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible de zinc en humedales naturales es de 10.0 mg L⁻¹ en su promedio mensual, por lo que ninguno de los resultados registrados en los tres humedales rebasan dicho límite.

Hierro (Fe)

Este metal en estado ferroso es bastante soluble en el agua; precipita debido al desprendimiento del anhídrido carbónico y por oxidación en el aire. Según los casos, podría existir en estado coloidal y en forma de complejos orgánicos o minerales (Rodier, 1991).

Independientemente de un sabor desagradable que puede percibirse a partir de 0.05 mg L⁻¹, el hierro desarrolla en el agua una turbidez rojiza poco atractiva para el consumidor. Los límites adoptados se han reducido para paliar los inconvenientes domésticos y no para evitar accidentes tóxicos, pues las aguas ferruginosas que contienen más de 5 mg L⁻¹ pueden ingerirse sin peligro.

La toxicidad para la vida acuática es difícil de precisar, pues esta en función del estado químico del metal (ferroso o férrico) y de la presencia del precipitado de hidróxido de hierro, que tiende a depositarse en las branquias de los peces y a colmatarlas.

En el humedal norte, en marzo se obtuvo un intervalo de 0.022 a 0.071 mg L⁻¹ y en noviembre entre 0.018 a 0.81 mg L⁻¹.

En el humedal centro, en abril los valores estuvieron entre 0.030 a 0.05 mg L⁻¹; en mayo de 0.003 a 0.31 mg L⁻¹; en junio estuvieron entre 0.003 a 0.141 mg L⁻¹ y en julio de 0.004 a 0.009 mg L⁻¹.

En el humedal sur, en marzo los valores fueron de 0.290 y 0.020 mg L⁻¹; en junio de 0.075 a 0.116 mg L⁻¹. En septiembre de 0.08 a 0.122 mg L⁻¹ y en octubre de 0.026 y 0.301 mg L⁻¹.

De acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997, el límite máximo permisible de hierro en agua dulce es de 1.0 mg L⁻¹, por lo que ninguno de los resultados registrados en los tres humedales rebasan dicho límite.

Cadmio (Cd)

En la naturaleza el Cd se encuentra asociado al zinc y es utilizado para revestimientos electrónicos de los metales, en ciertas aleaciones, para la fabricación de acumuladores, de pinturas y materiales plásticos. Generalmente la concentración en las aguas superficiales no sobrepasa algunos µg L⁻¹ debido a la poca solubilidad del carbonato y del hidróxido al pH habitual del agua. En las aguas superficiales provienen habitualmente de los efluentes de galvanoplastia, o eventualmente, de su disolución a partir de ciertas canalizaciones galvanizadas o de materia plástica. La fuente principal del cadmio en el organismo es de origen alimentario. El cadmio de origen alimentario puede provenir de vasijas barnizadas, así como de utensilios de cocina galvanizados (Rodier, 1991).

Para la vida acuática, en particular para los peces, no parece que haya problemas por de bajo de 1 mg L⁻¹.

En el humedal norte, en marzo los valores obtenidos fueron 0.0009, 0.0019 mg L⁻¹ y no detectado; en noviembre no fue detectado en ninguna sitio de monitoreo.

En el humedal centro, en abril no fue detectado; en mayo y junio el intervalo fue desde no detectado a $0.00072 \text{ mg L}^{-1}$ y en julio el intervalo de 0.0008 a 0.0016 mg L^{-1} .

En el humedal sur, en marzo los valores fueron 0.0009 mg L^{-1} y no detectado; en junio de no detectado a $0.00072 \text{ mg L}^{-1}$; en julio de 0.0008 a 0.0024 mg L^{-1} . En septiembre de 0.004 a 0.0072 mg L^{-1} y en octubre no fue detectado en los diferentes sitios monitoreados.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible de cadmio en humedales naturales es de 0.1 mg L^{-1} en su promedio mensual, por lo que ninguno de los resultados registrados en los tres humedales rebasan dicho límite.

Cobre (Cu)

El sabor metálico y astringente de las sales de cobre aparece en las dosis de 4 a 5 mg L^{-1} . Así pues, conviene evitar una permanencia muy larga del agua en presencia de cobre (Rodier, 1991).

Con excepción de algunas especies, no parece que los contenidos inferiores a 1 mg L^{-1} sea tóxico para los peces. Al contrario, la vida acuática puede perturbarse con dosis inferiores, pero las condiciones de toxicidad varían según las especies y la composición del agua (oxígeno disuelto, anhídrido carbónico, temperatura, calcio, magnesio, etc.).

En el humedal norte, en los meses de marzo y noviembre no fue detectado en ninguno de los sitios monitoreados.

En el humedal centro, en abril y mayo no fue detectado; en junio los valores registrados estuvieron en el intervalo de 0.009 a 0.014 mg L⁻¹ y en julio de 0.0008 mg L⁻¹, no detectado y 0.0017 mg L⁻¹.

En el humedal sur, en marzo no fue detectado; en junio los valores fueron de 0.0009 mg L⁻¹; en julio no se detecto y 0.0017 mg L⁻¹, en septiembre de 0.05 a 0.0139 mg L⁻¹ y en octubre se encontraron valores de 0.002 a 0.008 mg L⁻¹.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible de cobre en humedales naturales es de 4.0 mg L⁻¹ en su promedio mensual, por lo que ninguno de los resultados registrados en los tres humedales rebasan dicho límite, pero sería de suma importancia hacer una evaluación en sedimentos.

Cromo hexavalente (Cr⁶⁺)

En las aguas residuales debido a la oxidación el agua de distribución que contiene generalmente más cromo hexavalente, que está considerado el más tóxico que en estado trivalente. Desde el punto de vista acuático, los organismos inferiores (límite: 0.05 mg L⁻¹ de cromo total) son más sensibles que los peces (límite: 1 mg L⁻¹ de cromo total) (Rodier, 1991).

En ninguno de los sitios monitoreados en los tres humedales fue detectado cromo hexavalente.

De acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997, el límite máximo permisible de cromo hexavalente es de 0.01 mg L⁻¹, en agua dulce por lo que ninguno de los tres humedales indicaron la presencia del elemento.

Biodegradabilidad

Los microorganismos presentes en los cursos de agua y en las estaciones de depuración son susceptibles de degradar a los agentes de superficie pero la biodegradabilidad es muy variable. Los alkilbenceno sulfonatos de cadena ramificada (productos duros), son extremadamente resistentes y no se destruyen prácticamente cuando se diluyen en las aguas de los humedales. Contrariamente los alkilsulfatos y los alkilbencenos sulfonatos de cadena recta (productos espumantes) son sensibles a la degradación biológica; participan en la disminución del oxígeno disuelto en las aguas superficiales según los procesos de la autodepuración (Rodier, 1990).

Biodegradabilidad aeróbica rápida

El consumo de oxígeno disuelto se dio en el intervalo de 65 a 99.67%, lo que indica que el sistema cuenta con baja capacidad para transformar compuestos xenobióticos o bien, facilitar que los ciclos biogeoquímicos sean completos. La tasa de remoción es limitada, el tiempo es un factor que favorece e indica que el proceso de consumo es lento y ello permitirá un manejo adecuado del recurso.

Con respecto al COT, se consumió finalmente en el intervalo de 60.24 a 96.07%, estos valores, nos indican que realizando un manejo adecuado de las ciénegas podemos mantener el recurso en una calidad física, química y biológica aceptable.

Análisis para el manejo y uso racional de los humedales

El uso racional de humedales consiste en un manejo adecuado para que otorgue beneficios a la humanidad de una manera compatible con el mantenimiento de las propiedades naturales del ecosistema.

Los ciclos hidrológicos, de nutrientes y de materia y los flujos de energía de los humedales, son muy importantes para estabilizar las condiciones climáticas locales, en particular la precipitación y la temperatura. La función que desarrolla una zona húmeda particular tiene influencia tanto en el ecosistema local como en uno distante, incluyendo otras zonas húmedas, así como a ecosistemas terrestres y acuáticos.

Después de haber realizado diferentes recorridos durante un año, en las tres poligonales de los humedales del Lerma, podemos describir lo siguiente: el agua fluye naturalmente y existe una estrecha vinculación con los ecosistemas acuáticos permanentes, los temporamientos húmedos y los terrestres adyacentes. Esto determina que sean vulnerables a los impactos negativos de acciones que ocurren fuera de ellos. Entre sus funciones más sobresalientes encontramos restos de plantas y animales que se almacenan creando una fuente importante de materia orgánica y suelo nutritivo, que sirve de alimento a varias especies, formando importantes cadenas alimenticias. Observamos áreas de recarga para el manto freático, lo que nos permite inferir que al infiltrarse la lluvia en el suelo se forman aguas subterráneas y que en zonas cercanas salen a la superficie a través de manantiales. La vegetación controlaba las inundaciones a través de un sistema de drenaje (drenes), que permitieron que el agua de la superficie se escurriera más lento y se distribuyera por el humedal. La vegetación formó una barrera de protección contra los vientos, evitando que llegaran directamente sobre la zona. Es un lugar de anidación y reproducción de muchas especies terrestres y acuáticas, sostén de vida de densas poblaciones de peces y vida silvestre, que se alimentan de sus aguas ricas en nutrientes o de su substrato. Funcionan como

hogar para especies animales y plantas en peligro de extinción. Se práctica la recreación que incluye la caza deportiva, la pesca y la observación de aves.

En los humedales se observaron extensas praderas donde pasta el ganado. Las hojas, los pastos y las vainas se recolectaban como forraje para la venta o bien se usaban como alimento del ganado durante la estación seca. Algunas zonas de inundación están convertidas en zonas de agricultura de temporal que manejada apropiadamente puede traer beneficios considerables a las comunidades rurales. Los humedales los usan como fuentes de agua para el consumo humano directo, para la agricultura, para la cría de animales, y para abastecimiento industrial.

A partir del mes de octubre observamos el inicio de la temporada de arribo de las aves migratorias y su belleza de sus amplios paisajes y la vida silvestre que hay en ellos atraen a muchos turistas, lo que los hace formar un patrimonio natural único al tener una variedad de vida, tanto animal como vegetal, lo que crea una diversidad biológica.

Se observaron zonas donde se produce pérdida de una gran cantidad de vegetación, lo que reduce la capacidad del sistema para soportar a las diferentes poblaciones animales que lo habitan; observamos también erosión de diferentes tipos lo que se traduce en una aportación de material degradado.

Es un hecho ampliamente reconocido que los humedales, lejos de ser como se creía tierras estériles, pueden desempeñar toda una serie de funciones útiles y proporcionar bienes y servicios a los seres humanos. Por tanto es importante integrar los humedales del Lerma en los procesos de planificación de uso del espacio físico, la tierra, los recursos naturales y el ordenamiento del territorio; reconociéndolos como parte integral y estratégica del territorio, en atención a sus características propias, y promover la asignación de un valor real a estos

ecosistemas y sus recursos asociados, en los procesos de planificación del desarrollo económico.

Por tal motivo, su manejo debe desarrollarse a través de un enfoque integrado que considere los distintos ecosistemas asociados.

Consideramos que la herramienta más eficaz para lograr una gestión de humedales que promueva su conservación y utilización sustentable a través de un manejo integrado, es el desarrollo de planes de manejo. Estos pueden realizarse a diferentes escalas según el objetivo perseguido. Deben tener un enfoque interdisciplinario que, a través del conocimiento profundo de las características y funciones del humedal y los aspectos socio-económicos propios del área, examine los diferentes usos posibles del ambiente; con el fin de que el plan de manejo sea realmente eficaz, dando importancia a la participación de los diferentes sectores involucrados en la utilización de los recursos naturales y la comunidad local. Estos humedales contienen potencial de energía para uso humano, usualmente en forma de materia vegetal y turba. Es importante que se use en forma sostenible para que pueda representar un componente importante del plan de manejo. Sin embargo, si se extrae la turba en gran escala, el ecosistema se puede destruir y mermar la concentración de vida silvestre.

Desde los tiempos prehispánicos se ha sabido que los habitantes de dicha región, fueron de las primeras civilizaciones de carácter urbano que se mantenían por medio de la agricultura de regadío, por lo que históricamente se convirtió en un eje no sólo hidrológico, sino económico y social, ya que hay evidencias de la relación del hombre con el medio acuático.

Existen evidencias muy importantes de la estrecha relación que llevaban los habitantes de la zona en su vida diaria, principalmente la tradición oral, ya que ellos consideraban a la laguna o ciénega (así se nombraban a las ciénegas

cuando se encontraban unidas) como una mina, por la gran cantidad y diversidad de recursos que aún existen.

Hoy en día se siguen fabricando instrumentos y artefactos con fibras naturales que se obtienen de la zona, como lo son la honda y la red, así también los petates. Esta actividad es conocida como “cestería”, la cual es realizada a mano, de esta forma se obtienen objetos planos y contenedores (trampas para peces, petates, canastos, bolsas, etc.).

En las ciénegas, la ganadería, el trabajo artesanal, la elaboración manufacturera, la recolección de vegetales terrestres y el comercio forman parte de su estructura económica y social, inclinándose aún más en el trabajo lacustre y agrícola.

Socialmente, este estilo de vida influye en varios aspectos, entre los que observamos:

- **Mobiliario.** Abarca petates para dormir y algunas esteras destinadas a diversas labores como el desgranado del maíz, la preparación de nixcomil y la hechura de tortillas.
- **Transporte.** El transporte acuático es de gran importancia para fines económicos.
- **Alimentación.** Durante mucho tiempo, se caracterizó por ser de tipo lacustre. Durante la mayor parte del año se consume carpa, juil, ranas, acocil, salmiche, charal y pescado blanco. Las aves acuáticas se guisan todo el tiempo, su consumo aumenta de agosto a marzo, y a partir de octubre, cuando aparecen especies temporales. También se consumían numerosos vegetales acuáticos, como la papa de agua, berro, jara, chichamol, apaclolillo, cebolla morada, cresones, chivitos y mamalacote.
- **Medicina tradicional.** Varios productos lacustres se utilizaron para estos fines, como el lodo de la ciénega (para ampollas y quemaduras), la lentejilla

(para la diarrea), el ajolote (es “bueno para el pulmón”), y el ajolote “sordo” (para niños que están éticos, que es una especie de anemia).

10. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo observado y analizado podemos concluir lo siguiente:

- Las Ciénegas de Lerma, se clasifican como una región de alta biodiversidad, como una región de uso por sectores y amenazada. Su gran diversidad biológica, las hace un patrimonio natural muy importante.
- La calidad física, química y biológica por poligonal es la siguiente:
Humedal Norte: Buena
Humedal Centro: Altamente impactada
Humedal Sur: Buena
- Las tres Ciénegas presentan problemas con respecto a oxígeno disuelto, en diversos sitios se observan niveles anóxicos.
- Hay problemas sanitarios, por la presencia de huevos de parásitos, debido al escaso control de las zonas de expansión urbanas aledañas.
- La presencia de metales pesados no es significativa, aunque existen fracciones muy pequeñas de elementos no esenciales.
- La capacidad de transformación de compuestos xenobióticos es limitada, en los tres polígonos.
- Reciben aportes de sitios adyacentes, generados por actividades de los habitantes (descarga de aguas residuales, desmonte, tala, etc.).
- Existen zonas de infiltración que alimentan al manto freático, generando aguas subterráneas y puntos de alimentación hacia el ecosistema.
- La materia orgánica generada en las Ciénegas es aprovechada por las cadenas alimenticias, lo que las mantiene como un ecosistema altamente productivo.
- El cambio de uso de suelo genera beneficios económicos a las comunidades, pero las Ciénegas se están viendo afectadas por las actividades de desecamiento y de aportes de desechos orgánicos.
- La pérdida de la vegetación ha ocasionado un aporte sustancial de material, producto de la erosión; lo cual rompe la relación suelo-agua, afectando el ciclo hidrológico.

- Ya que los impactos mayores se evaluaron en el sector industrial y municipal (doméstico), es importante sensibilizar a los municipios que usan a las Ciénegas como receptor de desechos.
- El plan de manejo debe de fragmentarse e instrumentarse por cada uno de los polígonos, aunque el impacto debe ser valorado regionalmente.
- Dado que los humedales son zonas dinámicas que presentan variabilidad temporal, los planes de manejo deben someterse a análisis y revisión permanente.
- Las Ciénegas del Lerma es uno de los ecosistemas más representativos del país, por lo que se debe buscar un desarrollo social y humano armónicos, estimulando la conciencia entre el bienestar y el desarrollo de la naturaleza; lo que hace necesario solicitar a los gobiernos federal y estatal el pago por servicios ambientales para obtener recursos financieros, y que sean usados para el manejo y mantenimiento adecuados del sitio.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF). (1992). **“Standard methods for the examination of water and wastewater”** (Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales). Editorial Díaz de Santos S.A., Madrid, España.
2. Albores, B. A. (1995). **“Tules y Sirenas. El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma”**. El Colegio Mexiquense, A.C. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología. México.
3. Alcocer, D. J., Chávez, A.M. y Escobar, B.E. (1993). **“La limnología en México (historia y perspectiva futura de las investigaciones limnológicas)”**. Ciencia 44: 441-453.
4. Alcocer, D. J. y Escobar, B. E. (1996). **“Limnological regionalization of México”**. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 2: 55-69.
5. Antón, D. y Díaz, C. (2000). **“Sequía en un mundo de agua”**. Ediciones en Línea. [http:// tierra. rediris. es/ hidrored/ ebooks/ sequia/](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/sequia/). html. Fecha de consulta: 20 de marzo de 1995.
6. Arizmendi y Márquez .(2000). [http:// www. geocities. com](http://www.geocities.com). Fecha de consulta: 06 de agosto de 2005.
7. Baird, C. (2001). **Química ambiental**. 2º Edición. Editorial Reverté, S.A. México, D.F.
8. Bloomfield, K. (1975). **“A late-quaternary monogenetic volnafield in Central Mexico”**. Geologische Rundschau, Bd. 64: 476-497.

9. Bloomfield, K. and Valastro, S. Jr. (1974). "**Late pleistoceno eruptive history of Nevado de Toluca Volcano, Central México**". Geological Society of American Bulletin. 85: 901-906.
10. Bribiesca, J. (1960). "**Hidrología del Valle de México**". Revista de Ingeniería Hidráulica en México, México.
11. Cervantes, M. "**Los humedales: una perspectiva nacional**". [http:// www.geocities.com](http://www.geocities.com). Fecha de consulta: 14 de febrero de 2005.
12. Comisión Nacional del Agua (CNA). (1992). Ley de Aguas Nacionales. Poder Ejecutivo Federal. México, D.F.
13. Comisión Nacional del Agua (CNA): Ariel Consultores, S.A. (1996). "**Estudio de simulación hidrodinámica y diseño óptimo de las redes de observación de los acuíferos de Calera, San Luis Potosí y Toluca**". (3° acuífero de Toluca) 208 pp.
14. Cifuentes, E., Ruiz, G., Blunmenthal, U. y Bennet, S. (1995). "**Infecciones gastrointestinales asociadas al riego agrícola con aguas residuales; perspectivas de control**". Informe Final. Análisis de la calidad del agua en el Gran Canal y en el Emisor Central. Anexo I. 50 pp.
15. Cotler, H. y Priego, A. (2004). "**El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: caso de la Cuenca Lerma-Chapala**". INE-SEMARNAT.
16. Colin, B. (2001). "**Química ambiental**". 2° Edición. Editorial Reverté, S.A. México, D.F.

17. Davis and Cornwell. (1991). **“Introduction to environmental engineering”**. 2° Edición. Editorial McGraw-Hill. Singapore. Pág. 822.
18. Demant,A.(1981). **“L´Axeneo-volcanique transmexicain étude volcanologique et pétrographique signification géodynamique”**. Thèse, Université de Droit, d´économie et des sciences d´Aix, Marseille, Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme. Pág. 12-24.
19. Diario Oficial. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. **“Decreto por el que se declarará área natural protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Ciénegas del Lerma, ubicada en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México, con una superficie total de 3, 023-95-74.005 hectáreas.** Miércoles 27 de noviembre de 2002.
20. Díez Pérez, J. (1998). **“Análisis de las zonas de recarga de acuíferos mediante la percepción remota: Aplicación a la Cuenca de Almoloya del Río”**. Tesis: UAEM: CIRA. 142 pp.
21. DGCOH (1997). **“Estudio de evolución de niveles piezométricos en la Cuenca del Alto Lerma para el periodo 1985-1997: Informe final”**. 47 pp.
22. Enkerlin, E.C., Cano, G., Garza, R.A. y Vogel, E. (1997). **“Ciencia ambiental y desarrollo sostenible”**. International Thomson Editores, S.A. de C. V., México.
23. Fair, G.M. (1996). **“Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. Ingeniería sanitaria de aguas residuales”**. Editorial Limusa-Noriega, México. Pág. 475.

24. Fair, G.M., Geyer, J.C. y Okun, D.A. (1989). **“Purificación de aguas y tratamientos y remoción de aguas residuales”**. Editorial Limusa-Noriega. México. Pág. 445-475.
25. Flores, D.A. (1995). **“Informe anual, proyecto CONACYT. El hombre, el agua y el bosque en el Alto Lerma, un estudio multidisciplinario”**. Directora: Dra. Yoko Sugiera. Pág. 726.
26. García, E. (1980). **“Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana”**. Instituto de Geografía, UNAM. México. Pág. 245.
27. Garfías, S. J. (1997). **”Problemática Hídrica en la República Mexicana y la Cuenca del Río Lerma”**. Informe presentado por Conestoga Rovers & Asociados Ltd. 4 pp.
28. Goldman, E.A. (1951). **“Biological investigation in Mexico”**. Published by the Smithsonian Institution, Washington. Pág. 183-403.
29. González, A. y J. Garfías (2000). **“Estudio Isotópico de la vecindad oriente de la Cuenca Alta del Río Lerma”**. Sometido a la revista ITSON - DIEP, Instituto Tecnológico de Sonora. 15 pp.
30. Hernández, G.M. y Rivera, B.E. (1996). **“Evaluación de la calidad del agua del Río “La Compañía”, en el transecto del Municipio de Tlalmanalco a Ciudad Nezahualtcoyolt, Estado de México (Marzo 1994 a Febrero 1995)”**. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. México, D.F.

31. Hernández, M.A. (1992). **“Depuración de aguas residuales”**. 2° Edición. Editorial CICCOP. España. Pág. 927.
32. Ingeniería Geológica Computarizada S.A. de C. V. (1996). **”Adecuación y actualización de planos geohidrológicos de la Cuenca del Alto Lerma, Estado de México”**. 54 pp.
33. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1994). **“Estadísticas del medio ambiente”**. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México. Pág. 447.
34. Jiménez, C.B. (2002). **“La contaminación ambiental en México”**. 2° Reimpresión. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México.
35. Lesser y Asociados S.A. (1992). **”Estudio para el diagnóstico del acuífero del Valle de Toluca, para implementar la reglamentación de la extracción de agua subterránea”**. Contrato número DÍA 92-21-C
36. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). (1996). Secretaría de Gobernación. 11° Edición. Editorial SISTA, S.A. de C.V. México.
37. Manahan, S.E. (2001). **“Fundamentals of environmental chemistry”**. 2° Edición. Lewis Publishers, USA.
38. Martínez, M. y Matuda, E. (1979). **“Flora del Estado de México, Gobierno en el Estado de México, Comisión Exploradora del Estado”**. Toluca. México. Pág. 259.
39. Metcalf & Eddy, Inc. (1991). **“Wastewater engineering treatment, disposal and reuse”**. McGraw-Hill Inc. Singapore.

40. Newton, Q. (1995). **“Informe anual, proyecto CONACYT. El hombre, el agua y el bosque en el Alto Lerma, un estudio multidisciplinario”**. Directora: Dra. Yoko Sugiera. Pág. 426.
41. NMX-AA-003-1980. **“Aguas residuales-muestreo”**. [http: www. economia-noms. gob. mx/](http://www.economia-noms.gob.mx/).
42. NOM-AA-014-1980. **“Cuerpos receptores-muestreo”**. [http: www. economia-noms. gob. mx/](http://www.economia-noms.gob.mx/).
43. NOM-001-SEMARNAT-1996. **“Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas y bienes nacionales”**. Poder Ejecutivo Federal ([www. economia. gob. xx](http://www.economia.gob.mx)).
44. NOM-003-SEMARNAT-1997. **“Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas tratadas que se reusen en servicios públicos”**. Poder Ejecutivo Federal ([www. economia. gob. xx](http://www.economia.gob.mx)).
45. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (1992). Guidelines for testing of chemicals. Ready biodegradability. 301A. “DOC Die-away test”. Paris, Francia.
46. PEF. (1996). **“Programa de medio ambiente 1995-2000”**. Poder Ejecutivo Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. Pág. 171.
47. Ramalho, R.S. (1993). **“Tratamientos de aguas residuales”**. 2º Edición. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.

48. Randa, S. (2001). **“Impacts on Wetland Hydrology from Extensive Groundwater Extraction: Lerma River Basin, México”**. University of Waterloo, Ontario Canadá. 225 pp.
49. Rodier, J. (1990). **“Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar”**. 2° Reimpresión. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España.
50. Salazar, L.Y. (2004). **“Caracterización de las aguas residuales generadas en los talleres del sector de servicios para evaluar su contenido de compuestos xenobióticos”**. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. México, D.F.
51. Sabalcagaray, M. (1981). **“Erase una vez Chicnaguapan: la primera de las tres lagunas del Lerma”**. Boletín del Archivo General del Estado de México, Toluca, México. Número 9. Páginas 69-74
52. SEDESOL-INE. (1994). **“México: informe de la situación general en materia del equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1993-1994”**. SEDESOL. Instituto Nacional de Ecología. México.
53. Seoanez, C.M. (1995). **“Ecología industrial: ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa”**. Manual para responsables medioambientales. Editorial Mundi-Prensa, España.
54. Sheppardt, P. (1987). **“Manual de aguas para usos industriales”**. 3° Edición. Editorial Limusa, México. Pág. 456.
55. Snoeyink, V.L. y Jenkins, D. (1996). **“Química del agua”**. Editorial Limusa-Noriega Editores, S.A. de C.V. México.

56. Sugiura, Y. (1991). **“El epiclástico y el Valle de Toluca, un estudio de patrón de asentamientos”**. Tesis de Doctorado, UNAM. Facultad de Filosofía y Letras. México, D.F. Pág. 543.
57. Sugiura, Y., Tamamoto y Yoko. (1995). **“El hombre, el agua y el bosque en el Alto Lerma”**. Informe Instituto Nacional de Antropología e Historia. Pág. 25.
58. Tebbutt, T.H. (1990). **“Fundamentos de control de la calidad del agua”**. Editorial Limusa, México.
59. [http:// www. geocities. com/ jalarab/](http://www.geocities.com/jalarab/). Fecha de consulta: 14 de febrero de 2005.
60. [http:// www. edomexico. gob. mx/ portalgem/](http://www.edomexico.gob.mx/portalgem/). Fecha de consulta: 06 de julio de 2005.
61. [http:// www. ocdemexico.org](http://www.ocdemexico.org). Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2005.

12. ANEXO. Límites Máximos Permisibles establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS NOM-001-SEMARNAT-1996		
PARÁMETROS	SUELO	
	HUMEDALES NATURALES (B)	
	Promedio Mensual (PM)	Promedio Diario (PD)
Temperatura (°C) (1)	40	40
Grasas y Aceites (2) (mg L ⁻¹)	15	25
Sólidos Sedimentables (mL L ⁻¹)	1.0	2.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅ (mg L ⁻¹)	75	150
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	NA	NA
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	NA	NA
Cadmio (mg L ⁻¹)	0.1	0.2
Cobre (mg L ⁻¹)	4.0	6.0
Cromo (mg L ⁻¹)	0.5	1.0
Plomo (mg L ⁻¹)	0.2	0.4
Zinc (mg L ⁻¹)	10	20

(1) = Instantáneo

(2) = Muestra simple promedio ponderado

(B) = Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos

NA = No es aplicable

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS NOM-003-SEMARNAT-1997	
CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DE AGUA	
PARÁMETROS	AGUA DULCE
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S L}^{-1}$)	---
Oxígeno Disuelto (mg L^{-1}) (XXX)	5.0
Color (UC)	(XIX)
Fenoles (mg L^{-1})	0.1 (I)
SAAM (mg L^{-1})	0.1
Coliformes Fecales (NMP 100 mL^{-1})	XVIII
Huevos de Helminto (N° huevos L^{-1})	≤ 1
Fe (mg L^{-1})	1.0
Cr ⁶⁺ (mg L^{-1})	0.01 (XII)
pH	(XXXII)
Nitratos (mg L^{-1})	---

(I) = El nivel de esta sustancia se obtuvo de multiplicar la toxicidad del agua reportada por 0.01.

(XVIII) = Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mL (NMP 100 mL^{-1}) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP 100 mL^{-1} .

(XIX) = Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más del 10% del valor natural.

(XII) = La concentración promedio en 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años.

(XXX) = Para oxígeno disuelto, los niveles establecidos deben considerarse como mínimos.

(XXXII) = No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional.