

00344
9
2el.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**"RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE CLOROFILA (a, b y c)
Y METALES PESADOS (Cr, Zn, Pb), EN LA FICOFLORES DEL
ALTO LERMA, ESTADO DE MEXICO"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGIA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUATICOS)**

P R E S E N T A:

ALICIA VAZQUEZ MARTINEZ

Director de Tesis:

M. EN C. ALEJANDRO JESUS RUIZ LOPEZ

MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Les informo a los siguientes miembros que la Dirección de la Facultad, los ha designado como sinodales para dictaminar si el trabajo que ha desarrollado como tesis la alumna ALICIA VAZQUEZ MARTINEZ tiene los méritos para obtener el grado de MAESTRA EN CIENCIAS (BIOLOGIA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUATICOS).

CARGO	GRADO	NOMBRE COMPLETO
PRESIDENTE	: M. EN C.	GUSTAVO ALBERTO MONTEJANO ZURITA
PRIMER VOCAL	: M. EN C.	EBERTO NOVELO MALDONADO
SEGUNDO VOCAL	: M. EN C.	ALEJANDRO JESUS RUIZ LOPEZ
TERCER VOCAL	: M. EN C.	JESUS GARCIA CABRERA
SECRETARIO	: M. EN C.	ROSA OLIVA CAÑIZARES VILLANUEVA
SUPLENTE	: DR.	ALFONSO VAZQUEZ BOTELLO
SUPLENTE	: DR.	ENRIQUE ARTURO CANTORAL URIZA

A MIS PADRES:

ESTHER MARTÍNEZ GUERRERO Y
GIL VÁZQUEZ DÍAZ,
POR SU APOYO INCONDICIONAL EN
TODAS LAS ETAPAS
DE MI VIDA.

A MIS HERMANOS:

GILDA VÁZQUEZ MARTÍNEZ
Ma. DEL CARMEN VÁZQUEZ
MARTÍNEZ
GIL VÁZQUEZ MARTÍNEZ
Ma. ESTHER VÁZQUEZ MARTÍNEZ
B. ISABEL VÁZQUEZ MARTÍNEZ
Y EN ESPECIAL AL BIÓLOGO
AGUSTÍN VÁZQUEZ MARTÍNEZ
POR SU GRAN APOYO EN ESTA
TESIS.

A MI HIJA:

DIANA ALICIA LÓPEZ VÁZQUEZ
LA LUZ DE MI VIDA.

A DIOS:

POR DARME LA FORTALEZA DE NO
CLAUDICAR EN LA VIDA.

A MI ESPOSO:

JUAN RICARDO LÓPEZ CRUZ

A MIS SOBRINOS

A MI JURADO:

M. en C. ROSA OLIVIA CAÑIZAREZ VILLANUEVA
M. en C. ALEJANDRO JESÚS RUIZ LÓPEZ
Dr. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO
M. en C. EBERTO NOVELO MALDONADO
Dr. ENRIQUE ARTURO CANTORAL URIZA
M. en C. GUSTAVO ALBERTO MONTEJANO ZURITA
M. en C. JESÚS GARCÍA CABRERA

**POR SUS TAN ACERTADOS COMENTARIOS Y APOYO
PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.**

**A LAS SIGUIENTES PERSONAS QUE HICIERON POSIBLE CUMPLIR CON EL
OBJETIVO DEL PRESENTE TRABAJO:**

M. en C. ROSA OLIVIA CAÑIZAREZ VILLANUEVA DEL CINVESTAV,
POLITÉCNICO, POR SU ORIENTACIÓN DESDE EL PLANTEAMIENTO DE LA
TESIS HASTA SU CULMINACIÓN.

M. en C. JESÚS GARCÍA CABRERA. SUBGERENTE DE LABORATORIOS Y
MONITOREO DE LA CNA, POR SU AMISTAD Y APOYO EN LA REALIZACIÓN
Y OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.

ING. IGNACIO CASTILLO ESCALANTE. GERENTE DE SANEAMIENTO Y
CALIDAD DEL AGUA DE LA CNA, POR SU VALIOSO APOYO EN LA
DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.

DR. JORGE LUIS DE VICTORICA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM,
POR SU APOYO EN LA TÉCNICA DE AZOV.

DR. ROSILES DEL LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA DE LA FACULTAD DE
VETERINARIA, UNAM, POR SU VALIOSA REVISIÓN EN LA TÉCNICA DE
METALES PESADOS EN MATERIAL BIOLÓGICO.

A CARMELITA SECRETARÍA DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, FACULTAD
DE CIENCIAS, UNAM. POR SU APOYO ADMINISTRATIVO.

**A MIS AMIGOS: CLARA INÉS, ROSA MARÍA, TERE, CARMELITA, MARTHA,
LUCIANO, ANA MARÍA, ALEJANDRO, JESÚS, IGNACIO, GRACIELA, IVAN,
EUGENIO, PATY, CAROLINA, LAURA, MARI, SONIA.**

**A TODAS LAS PERSONAS:
QUE DE UNA MANERA U OTRA
COLABORARON EN LA REALIZACIÓN
DE ESTE TRABAJO.**

SITIO DONDE SE REALIZÓ LA TESIS:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE
CIENCIAS; LABORATORIO DE MORFOFISIOLOGÍA VEGETAL.
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, SUBGERENCIA DE LABORATORIOS Y
MONITOREO.
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, ÁREA IMPACTO
AMBIENTAL.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	1
I INTRODUCCIÓN.....	3
1 Objetivos.....	3
2 Marco teórico.....	3
3 Antecedentes.....	6
II ÁREA DE ESTUDIO.....	8
1 Descripción general de la cuenca Lerma-Chapala.....	8
2 Descripción del Alto Lerma.....	8
2.1 Fisiografía y Edafología.....	8
2.2 Descripción hidrológica.....	9
2.3 Características del clima del río Lerma.....	9
2.4 Flora.....	10
2.5 Fauna.....	11
2.6 Otros aspectos.....	11
3 Marco Teórico del área de estudio.....	12
III MARCO METODOLÓGICO.....	14
1 Estrategias.....	14
1.1 Fase de Campo.....	14
1.1.1 Solución de problemas en el campo.....	14
1.2 Fase de Laboratorio.....	15
1.2.1 Físicos y químicos.....	15
1.2.2 Biológicos.....	15
1.2.2.1 Análisis biológico.....	15
1.2.2.2 Análisis taxonómico.....	16
1.2.2.3 Análisis cualitativo de la ficoflora.....	16
1.2.2.4 Análisis cuantitativo de la ficoflora.....	16
1.2.2.5 Clorofila a, b y c.....	16
1.2.2.6 Metales pesados presentes en el material biológico.....	17
IV FASE DE GABINETE.....	18
1 Físicos y Químicos.....	18
2 Biológicos.....	22
2.1 Análisis biológico.....	22
2.2 Análisis taxonómico.....	25
2.3 Análisis cualitativo de la ficoflora.....	27
2.4 Análisis cuantitativo de la ficoflora.....	28
2.5 Clorofila a, b y c.....	30
2.6 Metales pesados presentes en el material biológico.....	32

V	DISCUSIÓN.....	35
VI	CONCLUSIÓN.....	42
VII	APORTACIONES.....	43
VIII	COMENTARIOS/PERSPECTIVAS.....	44
	Apéndice Figuras.....	45
	Apéndice Gráficas.....	50
	Apéndice Tablas.....	70
	Apéndice Técnicas selectas.....	85
	LITERATURA CITADA.....	89

RESUMEN

En la evaluación de los metales pesados Pb^{+4} , Zn^{+2} y Cr^{-6} en el río Lerma se empleó la determinación de clorofila, dado su afectación directa en los cloroplastos que repercute en la concentración de clorofila. Representando una herramienta en estudios de Calidad del Agua.

En la zona de estudio se establecieron 3 estaciones de muestreo distribuidas en la cuenca alta del río Lerma, Estado de México, con el fin de evaluar sus características físico-químicas y la ubicación de los taxos infragenericos de la comunidad fitoplanctónica cualitativa y cuantitativamente, con objeto de relacionar la concentración de clorofila (a, b y c) con la de los metales pesados Pb^{+4} , Zn^{+2} y Cr^{-6} .

De acuerdo a los resultados obtenidos, la zona más afectada fue la de Lerma de Villada que presentó un alto grado de eutroficación, con una concentración promedio de 0.9 ppm de Zn^{+2} en los organismos.

Los valores establecidos por los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática se rebasan en todos los parámetros físicos y químicos medidos en el presente estudio.

Los taxos infragenericos de la ficoflora determinada a través de las diferentes estaciones fue: cinco divisiones, siete clases, 13 ordenes, 17 familias, 26 géneros y 28 entidades diferentes de un total de 4,039 organismos.

Las clases de microalgas dominantes son la Chlorophyceae y Cyanophyceae.

La clase Euglenophyceae a pesar de no ser tan abundante la cual se vio afectada por las concentraciones de Zn^{+2} en columna de agua.

La clorofila a fue la más abundante en las estaciones muestreadas.

La concentración de clorofila fue afectada con las concentraciones de Zn^{+2} que presentó concentraciones entre 3.46- 0.03 (con un promedio de 0.925 ppm). El Zn^{+2} afectó la concentración de clorofila a partir de una concentración de 0.4 ppm, repercutiendo en la diversidad y la abundancia de los organismos encontrados.

I INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas han afectado a los ríos mexicanos, reflejándose en una contaminación, construcción de presas, derivaciones, dragados y drenajes de los campos, deforestación de las riberas, etc.

La explotación de los recursos hídricos ya no permite, en muchos casos, que nuestra sociedad moderna se beneficie de la ventaja que podría obtener de la existencia de ríos libres de contaminación. Hoy se sabe que un río y su valle constituyen un espacio social, cuyo futuro, depende de las relaciones de fuerza que se ejercen en el seno de la sociedad, la cual, decide reducir el nivel de contaminación y pagar por la restauración de la calidad del agua que ha contaminado (Décamp *et al.*, 1989).

Por lo anterior, el agua se considera una vía de ingreso de sustancias tóxicas a los organismos, las cuales al encontrarse en los sistemas acuáticos en concentraciones que ejerzan efectos letales o subletales; en el último caso y solamente bajo exposiciones crónicas, estas sustancias pueden causar daños como resultado de la acumulación en los tejidos de los organismos con diferentes proporciones, dependiendo de sus mecanismos de regulación (Vázquez, 1991).

Los ríos son sistemas epicontinentales importantes, que tienen un papel destacado en las actividades socioeconómicas y recreativas de las poblaciones donde se encuentran. Ecológicamente son de importancia porque actúan como áreas de alimentación, reproducción y refugio para poblaciones de peces y macroinvertebrados, que son aprovechados como recurso alimenticio a nivel regional (Walker *et al.*, 1985). Entre las actividades socioeconómicas se puede citar la pesca comercial y deportiva, el establecimiento de ciudades y/o centros industriales, que aprovechan los ríos con la finalidad de obtener agua para consumo humano, energía y verter desechos, provocando su agotamiento y perturbación.

El hombre a raíz de la Revolución Industrial, propició el aumento paulatino de desechos de origen químico, ocasionando problemas de contaminación. Dicha contaminación repercute en la actividad celular y en procesos bioquímicos críticos del crecimiento y producción fotosintética en algas (Hongre *et al.*, 1980, In: Cañizares *et al.*, 1991). Los microorganismos fotosintéticos al ser la principal entrada de energía a los ecosistemas acuáticos y ser productora primaria en la cadena trófica, representa una herramienta fundamental de evaluación en estudios de calidad del agua (Whitton, 1979).

En la regulación de los microorganismos fotosintéticos, intervienen los elementos metálicos secundarios entre los que se incluyen: Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Bo, Co, Mo y V, existiendo casos evidentes en que el Cu, Zn, Pb, Cd y Mn pueden limitar la fotosíntesis (Duffus, 1983).

La mayoría de los elementos metálicos son tóxicos cuando se encuentran en deterioro acercándose a los límites de tolerancia del organismo en cuestión (Ley de la Tolerancia de Shelford) (Odum, 1972).

Los organismos fotosintéticos son la entrada de las sustancias tóxicas a los diferentes niveles tróficos, por lo que se pueden emplear como una herramienta en el monitoreo de metales pesados en un sistema acuático, ya que, actúan como indicador de contaminación que es reflejado en su actividad fotosintética (García, 1985; Whitton, 1979; Rivin, 1979; Cary, 1985; Stratton *et al.*, 1979).

El río Lerma es parte del sistema Lerma-Chapala, uno de los sistemas hidrológicos más importantes del país y también uno de los más contaminados; la causa principal, es la descarga de aguas residuales del canal proveniente de la zona industrial y ciudad de Toluca, que transporta las descargas de 132 empresas con 13 diferentes giros industriales (EPCCA, 1996, información personal), por lo que requiere de un control inmediato.

Dada la problemática de esta zona, surge el interés del presente estudio en colaborar en estudios de Calidad del Agua de un río altamente contaminado, empleando, a la fotosíntesis como una herramienta de su evaluación, así como, en estudios de monitoreo.

1 Objetivos

Objetivo general

Establecer la relación entre la concentración de clorofila (a, b, c) y los metales pesados Cr^{+6} , Zn^{+2} y Pb^{+4} en los microorganismos fotosintéticos (ficoflora), como una herramienta en estudios de Calidad del Agua del Alto Lerma, Estado de México.

Para el alcance del Objetivo General se establecieron los siguientes Objetivos particulares, que mediante su fusión permite lograrlo.

Objetivos particulares:

- Conocer las características de los parámetros físico-químicos que afectan directamente la concentración de clorofila en el agua del río del Alto Lerma, Estado de México.
- Conocer los taxas infragenericos y contar los microorganismos fotosintéticos reconocidos como entidades diferentes, presentes en el Alto Lerma, Estado de México.
- Establecer la relación entre los taxas infragenericos y las entidades reconocidas como diferentes y la concentración de clorofila (a, b, c) encontrada en el Alto Lerma, Estado de México.
- Conocer el efecto de los metales pesados Cr^{+6} , Zn^{+2} y Pb^{+4} en la concentración de clorofila (a,b,c) en las estaciones muestreadas en el río Lerma.

2 Marco teórico

Para evaluar el peligro que representa la presencia de algún contaminante en los cuerpos de agua se emplean organismos fotosintéticos, que son la base de la cadena alimentaria vía autotrófica y adoptan un número de estrategias para mantener una concentración intracelular de metales pesados, encontrando las siguientes estrategias:

- Metilación biológica o biometilación y transporte a través de la membrana celular.
- Biosíntesis de polímeros intracelulares, los cuales sirven para transportar iones metálicos de la solución hacia el interior del organismo.

- La acumulación de iones metálicos en la superficie celular.
- La precipitación de metales insolubles en la superficie celular (Hong-Kang *et al.*, 1984).

Los metales pesados son inhibidores de procesos del crecimiento. Los efectos directos de estos contaminantes son muy dependientes de las entidad diferentes de algas y de las condiciones de la calidad del agua.

Existen factores abióticos que afectan la concentración de los metales pesados en los organismos acuáticos. Como son las variables ambientales. Entre ellas se encuentran la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, además del pH, el potencial redox y la materia orgánica (Vernberg, *et al.*, 1974; Mendelli, 1979). Por otra parte, existen factores bióticos como el desarrollo fisiológico general de los organismos, ciclo e historia de vida y variabilidad genética individual.

Los metales pesados afectan las tasas fotosintéticas de los microorganismos fotosintéticos en el siguiente orden: Hg > Cu > Cd > Zn > Pb (Jenkins, 1981).

En Apéndice Tabla 1 se reporta los efectos presentados de los metales pesados Cu, Zn, Pb y Cd con la fotosíntesis, reportados por diferentes autores.

La absorción de los metales pesados en un ambiente acuático está dada por partículas suspendidas en el cuerpo de agua y por organismos fotosintéticos, siendo concentrados por toda la red trófica de la siguiente manera (Hart, 1982):

Metales pesados ----> partículas suspendidas y/o organismos fotosintéticos--
 -> zooplancton ----> necton ----> aves y/o hombre.

De acuerdo a Kumar, *et al.*, 1981, los mecanismos de bioacumulación de metales pesados por la fitoflora son:

1. Adsorción de iones en la interfase organismo - agua.
2. Absorción por transporte activo o pasivo de los iones metálicos.

En general, la acción tóxica de los metales pesados en los microorganismos fotosintéticos está asociada con pérdida de K⁺ y alteración de los mecanismos fotosintéticos. La pérdida de K⁺ está relacionado con cambios de permeabilidad y es selectiva a los diferentes metales pesados. Las concentraciones de metales pesados necesarios para inhibir la fotosíntesis varían ampliamente y están relacionadas con factores como grado de quelatación, concentración de células y nutrientes, estado fisiológico de las células y factores ambientales como pH y temperatura (Kumar, *op. cit.*).

La clorofila no es una sustancia simple, sino un grupo de pigmentos interrelacionados. Participa en las reacciones de transferencia de energía tanto por transporte de electrones (o sea oxidación-reducción, por ganancia y pérdida de un electrón), como resonancia (una transferencia directa de energía).

La fotosíntesis es la absorción de energía luminosa y conversión en potencial químico estable por la síntesis de compuestos orgánicos. Considerándose como un proceso de tres fases.

1. La absorción de la luz y retención de energía luminosa.
2. La conversión de energía luminosa en potencial químico.
3. La estabilización y almacenaje del potencial químico.

La fotosíntesis presenta un papel fundamental en la producción de alimentos y oxígeno.

La adsorción de metales ocurre por partículas suspendidas, organismos plancónicos y la adsorción de metales del agua a los organismos causando los siguientes efectos:

-Cambios morfológicos

-Efectos inhibidores, como son cambios en el crecimiento y desarrollo sexual.

-Cambios de comportamiento que puede resultar en una baja en la habilidad para escapar del depredador o competencia eficaz .

La fitoflora actúa como indicador orgánico que refleja cambios de concentración de metales pesados en las diferentes condiciones ambientales.

Los metales pesados persisten en el sedimento donde son liberados lentamente al agua, regresando al sedimento, presentando un peligro a los organismos acuáticos, como las algas (Hansen, 1991).

Se puede deducir que la acumulación de Zn^{+2} fue causado por:

-La ingestión de partículas suspendidas.

-La absorción preconcentrada en el material alimenticio.

-La formación de complejos con materiales por la unión con moléculas orgánicas.

- La incorporación de los elementos como iones en los sistemas fisiológicos.

Se sabe bibliográficamente que ha concentraciones altas de Zn^{+2} , inhibe algunos procesos de crecimiento en *Euglena* sp., los mecanismos involucrados no son bien entendidos pero intervienen procesos metabólicos importantes como la respiración y fotosíntesis. En el estudio Se encontró que la relación

existente entre la concentración de los metales con relación a la de clorofila es inversamente proporcional, encontrando inhibición de la respiración y la fotosíntesis en las células vegetales por soluciones de metales pesados (Kamp-Nielsen, 1971; De Filippis, *et al.*, 1976).

La clorofila participa en las reacciones de transferencia de energía tanto por transporte de electrones (o sea oxidorreducción por ganancia y pérdida de un electrón), como por resonancia (una transferencia directa de energía) y la captación de los metales decreció con la edad de la célula, ocasionando concentraciones probablemente bajas del PSI.

El contenido del metal en el ambiente se refleja en el crecimiento algal. Un análisis del contenido de metal en poblaciones naturales encuentra muchas veces serias dificultades. Forstner, *et al.*, 1979, menciona las siguientes dificultades al medirlos en el contenido de algas de agua dulce en ambientes naturales:

1. Sólidos suspendidos y partículas de sedimento que son asociadas con las algas y otras partículas, que son difíciles de remover, por su tamaño, por lo que los resultados obtenidos pueden incluir el contenido de metales pesados de otras partículas.
2. Los organismos pequeños no son separables de determinados metales pesados. La diversidad de metales contenidos entre diferentes organismos y la composición de estos muestran una serie de amplitudes diferentes.

Los organismos fotosintéticos al tener interacción con el agua, ciclo de vida corto, rápida respuesta a los cambios ambientales, ser pequeños, encontrando entidad diferentes tolerantes a concentraciones tóxicas de algunos metales pesados, representan una herramienta fundamental de evaluación en estudios de la calidad del agua. Por lo que son empleados en estudios de monitoreo de diferentes cuerpos de agua (Rivin *op. cit.*; Cary *op. cit.*).

3 Antecedentes

Con respecto al estudio sobre la relación entre la concentración de clorofila y metales pesados presente en el río, se encontraron únicamente trabajos aislados y de tipo taxonómico o de aspectos puntuales. De manera cronológica esta área cuenta con un ensayo limnoecológico sobre la región de las poblaciones de Lerma, San Mateo Atenco y Tultepec, trabajando ciénagas, lagunas y canales, describiendo a nivel de género las formaciones ecológicas de la región (Rioja, *et al.*, 1951), en los años setenta Mendoza, 1973, estudió la laguna de Victoria o de Santiago Tilapa desde el punto de vista estacional y ecológico. Existen también estudios donde se describe la calidad del agua,

(Mestre, *et al.*, 1994; Lind, *et al.*, 1994), aspectos biológicos como los daños ambientales en la distribución de los organismos principalmente peces (Soto, *et al.*, 1993).

El Instituto de Biología de la UNAM, (Bueno, *et al.*, 1981), presentó el estudio Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma. Guzmán, *et al.*, 1992, del Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara, presentó un programa sobre aspectos relevantes del Lago de Chapala y del río Lerma. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua realizó de manera continua estudios del Sistema Lerma-Chapala referente a la geodinámica de los metales pesados básicamente de la cuenca baja del río (Hansen, 1991, 1992), la ENEP Iztacala realizó estudios a lo largo del río, concernientes a aspectos físico-químicos y biológicos. No se encontraron estudios integrales referentes a aspectos de productividad y el efecto de los metales pesados presentes en la zona.

La Red Nacional de Monitoreo, de la Comisión Nacional del Agua, desde 1983 se encuentra realizando estudios de monitoreo a lo largo del río Lerma, los datos obtenidos son capturados y procesados en el SNICA (Sistema Nacional de Calidad del Agua) obteniendo valores de ICA (Índice de Calidad del Agua) que permiten conocer la calidad del cuerpo de agua basándose en los resultados de los parámetros físico-químicos. Actualmente la Red se encuentra en reestructuración, y pretende introducir aspectos biológicos en los monitoreos rutinarios.

II ÁREA DE ESTUDIO.

1 Descripción General de la Cuenca Lerma-Chapala.

El Estado de México se caracteriza por ser el más poblado e industrializado del país, con 8,784,708 habitantes (INEGI, 1994), así como por presentar una gran diversidad de ambientes y formas biológicas. En él se ubican las principales zonas de origen de dos de las cuencas hidrológicas más grandes de México: Pánuco y Lerma. El río Lerma se origina en la vertiente oeste de la sierra de Las Cruces y en la vertiente norte de la sierra de Temascaltepec, con dirección occidente, desembocando en el Océano Pacífico, (García, *et al.*, 1974). En esta región se encuentran los acuíferos del Alto Lerma, los cuales constituyen una de las principales fuentes de suministro de agua potable de la ciudad de México.

Debido a los cambios estructurales de la Comisión Nacional del Agua (CNA), esta cuenca que se ubicaba en la región RH12A, para la modernización del subsector del programa hidráulico 1995-2000 pasará a ser la región hidrológica 8, en la Subcuenca Lerma-Chapala, en la parte central de México (SEMARNAP, 1995).

2.2 Descripción del Alto Lerma.

La zona del Alto Lerma se encuentra en el Estado de México, ubicándose por la carretera México-Toluca a 59 km de la Ciudad de México. Colinda al sur con San Mateo Atenco, al noroeste con Querétaro, al este con el Distrito Federal, al oeste con Michoacán.

Las coordenadas geográficas del río Lerma son de 19°09'00" LN y 99°29'00" LO terminando al desembocar en el lago de Chapala 20°14'14" LN y 102° 37'26" LO, cuenta con 708 km de largo, drena una superficie de 41,429 km² (Apéndice Figura 1) (CNA, 1994).

2.1 Fisiografía y Edafología

Los acuíferos de esta región se ubican en rocas basálticas y sedimentos aluviales y lacustres, terciarios y recientes.

El desequilibrio se refleja en la orografía regional, principalmente en los valles de Lerma, Ixtlahuaca y Toluca, en donde se aprecian agrietamientos que llegan a tener más de 40 km de longitud, afectando estructuras, caminos, viviendas y obras hidráulicas. Además, al descender el nivel de las aguas freáticas en los

manantiales, se ha invertido su funcionamiento, ocasionando que las aguas superficiales degradadas puedan alcanzar los mantos acuíferos.

2.2 Descripción hidrológica

El sistema nace con el nombre de Lerma en las lagunas de Lerma, al este de Toluca, en el Municipio de Almoloya del Río, recibiendo numerosos afluentes del Valle de Toluca. El río se dirige hacia el noroeste, hasta verter sus aguas en el Lago de Chapala, entre los estados de Jalisco y Michoacán (Tamayo, 1946).

Sus afluentes principales son los ríos de Almoloya, San Pedro y Tepetitlán en el Estado de México; de la Laja, Guanajuato y Turbio en el estado de Guanajuato y los ríos Angulo, Ayo el Chico y Duero en el estado de Michoacán.

El río Lerma cuenta con poca pendiente, por lo que está agotada su capacidad de asimilación de materia orgánica, con una concentración de oxígeno disuelto < 0.1 mg/L. Inclusive, en la época de estiaje se incrementa notablemente la concentración de contaminantes. Es por esto que no se presenta casi vida acuática en el lugar, pues al mismo tiempo el río Lerma es receptor de descargas de un total de 66,700 m³/día de desechos residuales municipales e industriales, de los cuales 18,067 ton/año son orgánicos y 27,344 ton/año inorgánicos (Gobierno del Estado de México, 1992, Anuario Estadístico del Estado de México, 1994, Saenz, *et al.*, 1987).

En época de lluvias, en la zona del río Lerma se presentan precipitaciones de tipo torrencial, que causan su desbordamiento. La pérdida de pendiente en el cauce del río por el excesivo depósito de azolves, llega a generar contrapendientes hidráulicas y grandes remansos, con las consecuentes inundaciones en las superficies ribereñas a lo largo del río Lerma.

Otro aspecto a considerar, es el impacto en las aguas subterráneas, ya que la zona se caracteriza por ser altamente permeable, por lo que no es difícil que a través de los diversos mecanismos de difusión, los contaminantes puedan viajar por los diferentes estratos, pudiendo llegar a contaminar al acuífero, cuyo manto freático se encuentra aproximadamente a 18 metros de profundidad.

2.3 Características del clima del río Lerma.

Presenta un clima C(w) (templado subhúmedo con lluvias en verano), temperatura ambiental entre 17 y 27°C, la temperatura del agua oscila entre 14 y 17.5°C, la precipitación es de 785.5 mm. (García *op. cit.*).

2.4 Flora

Entre las asociaciones más importantes se tiene:

- Asociación de *Limnobium*, frecuentemente esta asociación se encuentra mezclada con *Nasturtium* (*N. officinale* y *N. palustre*).
- Asociación *Potamogeton-Spirogyra*, presentando principalmente a *Potamogeton* (*P. lucens*, *P. foliosus*, *P. pectinatus*, *P. angustissimus*) cubierto con mechones finos y de color verde claro, constituidos por *Spirogyra* y *Mougeotia*. Es común en esta asociación, la diatomea *Synedra ulna*.
- Asociación *Wolffia-Lemna-Azolla-Spirodela*, constituida principalmente por *W. gladiata*, *W. lingulata*, *W. columniana*, *L. trisulca*, *L. valdiviana*, *A. caroliniana* y *S. polyrrhiza*.
- Asociaciones de *Ceratophyllum* y *Myriophyllum*, entre los tallos y las hojas abundan diatomeas de los géneros *Gomphonema* y *Cocconeis*.
- Asociación de *Utricularia vulgaris*, sus hojas multipartidas forman una entidad diferente de red que protege o requiere a numerosos pobladores del plancton, por ejemplo algunas Desmidiáceas, también son muy comunes *Synedra ulna* y *Anabaena planctonica*.
- Asociación de *Eichornia crassipes*, entre las raíces de esta planta es común encontrar algas que forman masas gelatinosas de color verde (*Chaetophora*), otras algas como *Bulbochaete*, *Batrachospermum*, *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Vaucheria* y *Ulothrix*.
- Asociación de *Scripus-Juncus-Sparganium-Typha-Leersia*, en la parte inferior se encuentra un estrato bajo de gramíneas (*Leersia hexandra*, *Panicum hociforme*).

Con respecto a la vegetación del litoral se encuentra constituido principalmente por las siguientes entidad diferentes herbáceas: *Polygonum coccineum*, *P. persicarioides*, *Ambros artemisiifolia*, *Sonchus oleraceus*, *Artemisia mexicana*, *Cupress sequiptaceae*, *Tegetes foetidissima*, *Datura Stramonium*, *Aster exillia* y otros menos abundantes. Los árboles más abundantes en el litoral o en la pradera inundada, son los sauces (*Salix pringiel*, *S. bonplandiana* y *S. babylonica*) y los vejucos (*Crataegus mexicana*) (Herrera, et al., 1954).

Por la acción del hombre, la flora original de la zona ha sido reemplazada por vegetación inducida, principalmente para consumo humano. A su vez, la flora característica de sistemas riparios ha sido totalmente desbastada, como

resultado del acelerado proceso de degradación del río. La vegetación inducida corresponde a intereses económicos; sin embargo, es muy probable que debido a los impactos que ocasiona el hecho de que sea regada con aguas contaminadas que contienen elementos tóxicos, se afecte su crecimiento y desarrollo, detectándose crecimiento tardío, clorosis y plagas.

Se ha establecido que diversas entidad diferentes vegetales son poco tolerantes a cambios en las condiciones del suelo. Por lo tanto, es probable que muchas de ellas hayan desaparecido, debido al efecto de las sustancias peligrosas que se han incorporado a lo largo del tiempo al sustrato, y por ende, se estén dando las condiciones para el desarrollo de entidad diferentes oportunistas, como pueden ser algunas gramíneas, que son indicadores de perturbación ecológica.

2.5 Fauna

Por las diferentes actividades que el ser humano ha desarrollado en la zona, la fauna original ha emigrado o desaparecido, tanto dentro de los cuerpos de agua, como en las áreas adyacentes.

Actualmente, la fauna característica de la región es el ganado bovino, caprino, lanar y aves de corral. Además, se encuentra la fauna doméstica típica, como son perros y gatos. Dadas las condiciones prácticamente sépticas de los cuerpos de agua, proliferan plagas como moscas y mosquitos. Asimismo, se ha favorecido el desarrollo de fauna nociva (ratas, principalmente).

2.6 Otros aspectos

Con respecto a los principales impactos a nivel socioeconómico, éstos se ven reflejados en los bajos rendimientos que se están dando a nivel de cosechas principalmente de maíz, así como en los efectos que se tienen en la actividad pecuaria, lo que va en detrimento de la economía de los habitantes de la zona.

La importancia de esta situación estriba en el hecho de que el agua es utilizada principalmente en actividades agrícolas, con los consecuentes efectos en las cosechas y por ende, en la disminución de rendimientos y de la economía de la zona afectada. Además, el río Lerma llega al lago de Chapala, que es la fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Guadalajara, Jalisco.

3. Marco teórico del área de estudio

La zona industrial presentó descargas industriales y municipales, con valores elevados de cromo, lo que hace que las propias aguas de este canal puedan ser consideradas como residuos peligrosos.

En el corredor Lerma-Toluca, un gran porcentaje de las industrias descargan a un colector que transporta las aguas a una planta de tratamiento conocida como EPCCA (Empresa Para el Control de la Contaminación del Agua). De acuerdo al informe del Gobierno del Estado de México (1992), la planta no trabaja a las eficiencias del diseño, se sugiere que es ocasionado por falta de personal. Lo anterior ocasiona que el agua tratada sea descargada al río Lerma, sin ser completamente depurada.

Las características físicas y químicas que destacan de la planta de tratamiento EPCCA (Apéndice Tabla 2a y 2b) con una concentración total de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) de 50,090 mg/L ocasionada principalmente por el giro químico (14,730 mg/L) con 36 industrias, seguido del de alimentos (2,457 mg/L) con 12 industrias y el textil (7,732 mg/L) con 22 industrias. Todas las industrias sobrepasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (Apéndice Tabla 3) el cual es de 6 mg/L.

La DQO (Demanda Química de Oxígeno), en el giro químico (36,498 mg/L), seguido del alimentario (31,697 mg/L) y posteriormente de la textil (19,983 mg/L), al igual que la DBO₅, sobrepasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (Apéndice Tabla 3).

Los sólidos suspendidos totales sobrepasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (25 mg/L) el giro que presentó mayor concentración fue el alimentario (7,286 mg/L), seguido del químico (4,390 mg/L) (Apéndice Gráfica 1).

En lo que respecta al Cr⁺⁶ presenta una concentración de 6.79 ppm, siendo la mayor originada por las curtidurías (2.716 ppm), seguido por el giro químico (2.066 ppm); el giro que aporta menor concentración es el automotriz (0.022 ppm). El pH presenta un valor de 3.861, siendo el giro mayor el metal-mecánico (2.215) y el menor, el químico (0.461).

Los resultados de los parámetros físicos y químicos reportados a la salida de la planta de tratamiento EPCCA (Apéndice Tabla 4a, 4b y 4c) son la DBO₅, encontrando la máxima en el mes de diciembre (280 mg/L) y la mínima en el mes de marzo (174 mg/L), con un promedio de 232 mg/L; la DQO presentó su máximo en el mes de agosto (188 mg/L), y la mínima en el mes de febrero (281 mg/L) con un promedio de 1,045 mg/L. Los sólidos suspendidos totales presentaron la máxima (DBO₅) en el mes de enero (434 mg/L), y la mínima en

febrero (41mg/L), con un promedio de 194 mg/L, el cual sobrepasa los valores de la Norma (según oficio 192 de fecha 18 de octubre de 1977 de la SARH) que son de 40 mg/L, el pH máximo se presentó en el mes de enero/96 (7.73) y el mínimo en febrero/95 (6.95) con un promedio de 7.33. El oxígeno disuelto observó un máximo en el mes de marzo (0.64mg/L) y un mínimo en febrero de 1996 (0.20 mg/L), con un promedio de 0.36 mg/L. En lo que respecta a los metales pesados el Cr^{+6} fue de un promedio de 0.03136 ppm, con un máximo en octubre (0.33 ppm) y un mínimo de <0.001ppm. Para Pb el promedio presentado fue de 0.14231ppm, con un máximo de 0.155 ppm (en abril) y un mínimo de 0.091 ppm (en enero y febrero) (Apéndice Gráficas 2, 3 y 4).

Los valores de la DBO₅, DQO y O.D.(Oxígeno Disuelto) rebasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (SEDUE, 1989). Los metales pesados se encuentran dentro de los valores norma (según oficio 192 de fecha 18 de octubre de 1977 de la SARH) (Cr^{+6} 5.00 ppm y Pb 5.00 ppm), al igual que el pH (6-9) reportado por EPCCA, 1992.

Las características físico-químico de la planta EPCCA permitió conocer los aporte que contribuyen en la calidad del agua del río Lerma.

III MARCO METODOLÓGICO

1 Estrategias

1.1 Fase de campo

Se establecieron 3 estaciones de muestreo cercanos a la carretera (CNA, 1994), seleccionados de acuerdo a los afluentes de tipo industrial antes, en y después de las descargas a lo largo de la zona industrial Lerma-Toluca (Apéndice Figura 2).

Estación	Ubicación	LN	LO
1	Carretera Lerma de Villada (Carr. México-Toluca, km 51)	9° 16' 30"	99° 30' 30"
2	Carretera a Ixtlahuaca de Rayón (Carr. Toluca-Temoaya, km 23)	9° 25' 0"	99° 38' 0"
3	Almoloya del Río (Carr. Toluca-Palmillos, km 2)	9° 27' 30"	99° 45' 30"

En base a datos de monitoreo anuales sobre parámetros físico-químicos de 1989 a 1994, proporcionados por la Gerencia de Saneamiento y Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua (CNA), información obtenida de SEDUE (Gobierno del Estado de México *op. cit.*), así como de un muestreo prospectivo, se eligieron los parámetros a determinar en el área de estudio. Se realizó muestreos mensuales desde febrero de 1995 hasta abril de 1996.

En el caso de los parámetros físico-químicos, se emplearon tanto los datos proporcionados por la CNA de 1989 a 1994, como los obtenidos mensualmente para un entendimiento del comportamiento del río Lerma en el tiempo de muestreo.

1.1.1 Solución de problemas en el campo.

Para el muestreo de los organismos componentes de la fitoflora presentes en la corriente del río, clorofila y metales pesados en material biológico, se empleó un galón sin una tercera parte del lado superior sostenido por una vara, lo que

permitió muestrear las zonas de estudio que presentaron una inclinación de aproximadamente un metro, colocadas en dos contenedores de un litro. El volumen de muestra analizada, fue de dos litros por estación.

El epifiton se colectó de las rocas de más de 5 cm de diámetro desprendiéndolo cuidadosamente. Cuando las rocas eran menores de 5 cm de diámetro, se colocaban en frascos para su análisis. En el caso del sedimento se tomó una capa mediante un corte procurando abarcar 5 cm². Las muestras se colocaron en frascos de boca ancha, con agua de la misma estación muestreada. Cabe mencionar que únicamente se muestreo el epifiton en el mes de febrero y marzo que se presentó y no se empleó para la determinación de clorofila ni de metales. Todas las muestras se conservaron en hielo durante su transporte y posterior análisis. Se etiquetaron y fijaron con formol al 3%.

1.2 Fase de Laboratorio

1.2.1 Físicos y químicos

Los parámetros físicos y químicos determinados así como sus técnicas de análisis se enlistan a continuación (APHA, 1992).

PARÁMETROS	MÉTODO DE ANÁLISIS
Temperatura	Termómetro
pH	Potenciométrico y papel pH
Sólidos totales	Gravimétrico
Oxígeno disuelto	Iodométrico o de Winkler
Metales pesados	Espectrofotométrico

1.2.2 Biológicos

1.2.2.1 Análisis biológico

Los organismos fundamentales para el trabajo son aquellos que confirman la concentración de clorofila presente en el cuerpo de agua de los ficoflora compuesta por las diferentes clases (Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Fragilariophyceae, Coscinodiscophyceae, Euglenophyceae y Crysohyceae). Se analizaron los cambios en la concentración de clorofila (a, b, c) y su relación con la acumulación de los metales (Cr⁺⁶, Pb⁺⁴ y Zn⁺²).

1.2.2.2 Análisis taxonómico.

Los microorganismos fotosintéticos (ficoflora) presentes en el cauce del río Lerma, se determinaron taxonómicamente de acuerdo a las claves de Smith, 1950; Edmonson, 1959; Prescott, 1970; Bourrelly, 1981; Ortega, 1984; Bourrelly, 1981, 1990; Round, *et al.*, 1990.

Dicha determinación fue genérica dado los alcances y objetivos del estudio, requiriendo para futuros estudios de una determinación hasta entidad diferente.

1.2.2.3 Análisis Cualitativo de la ficoflora.

El análisis cualitativo se realizó en base a las entidades diferentes dominantes en las muestras analizadas, observando el porcentaje por su presencia/ausencia.

1.2.2.4 Análisis cuantitativo de la ficoflora.

Se determinó número de individuos por mililitro, empleando el método de conteo por gota de Lackey (1967) (microtransecto) por estación (Apéndice de Técnicas selectas).

1.2.2.5 Clorofila a, b y c

Se realizó la determinación de clorofila por el método de Azov modificado por Victorica, *et al.*, 1992) y de acetona APHA, 1992 (Apéndice de Técnicas selectas).

El método de Azov (1992) es un método confiable y con mayor precisión ya que el metanol que se usa en esta técnica como solvente de extracción no impide el transporte de los pigmentos celulares hacia el exterior, como sucede en las técnicas que utilizan otros solventes, como es el caso en que la extracción de clorofila se hace con acetona (Victorica comunicación personal). Dado que no existe estandarización de la técnica por metanol, se realizó la técnica de acetona ya estandarizada (APHA, *op. cit*) los resultados de la técnica de acetona se graficaron sin discutir en Apéndice Gráficas dado que no es el objetivo comparar las técnicas, sin embargo en discusión se mencionará brevemente.

1.2.2.6 Metales pesados en el material biológico.

La determinación de metales pesados en los microorganismos fotosintéticos se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en un Espectrofotómetro marca Perkin Elmer Mod. 5 000 de flama. La técnica que se siguió es la que establece Vázquez (1991) (Apéndice de Técnicas selectas).

Los metales a determinar en el material biológico fueron Cr^{+6} , Zn^{+2} y Pb^{+4} . Su elección fue en base a información obtenida de la planta de tratamiento EPCCA y datos bibliográficos.

IV FASE DE GABINETE

1 Físicos y químicos

Con apoyo de los registros generados por la CNA (1989-1995) y los muestreos mensuales (febrero de 1995 - abril de 1996) de los parámetros físico-químicos, permitieron un conocimiento del comportamiento de las estaciones muestreadas del río Lerma, donde se encontró lo siguiente:

Estación uno

Oxígeno Disuelto (OD)

En el periodo anual comprendido de 1989-1994, las concentraciones de oxígeno disuelto fluctuaron de 0.07- 1.02 mg/L, con un promedio de 0.27 mg/L. En el periodo mensual de 1995-96 se encontró una fluctuación de 0 (marzo) a 0.21 mg/L (junio), con un promedio de 0.04 mg/L (Apéndice Gráfica 5 y 6 y Apéndice Tabla 5 y 6).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En el transcurso del tiempo ha variado poco, en el periodo anual comprendido de 1989-1994 (Apéndice Tabla 6) presentó concentraciones de 114 - 166 mg/L, con un promedio de 137 mg/L. En el periodo mensual de 1995-96 (Apéndice Tabla 7 y 8) los valores fluctuaron de 40 mg/L (septiembre) a 201 mg/L (marzo), con un promedio de 107 mg/L (Apéndice Gráfica 5 y 6).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Desde 1989 a 1995 las concentraciones fluctuaron entre 14 - 94 mg/L, con un promedio de 39 mg/L. (Apéndice Gráfica 5 y Tabla 9).

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

En el periodo anual comprendido de 1989-1994 (Apéndice Tabla 10) las concentraciones fluctuaron entre 59 - 406, encontrando un promedio de 172 mg/L. En el periodo mensual de 1995-96 (Apéndice Tabla 11) los valores fluctuaron de 40- 82 mg/L, con un promedio de 54 mg/L. La concentración de sólidos disueltos se vio reducida en el tiempo (Apéndice Gráfica 5 y 6).

Las concentraciones antes mencionadas sobrepasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (OD es de 4 mg/L, DBO₅ de 6 mg/L, DQO de 6 mg/L y de SST de 25 mg/L) (SEDUE, 1989).

pH

En el periodo anual comprendido de 1989-1994 se presentaron intervalos de 5.5-7.8 unidades, con un promedio de 7 (Apéndice Gráfica 7 y Apéndice Tablas 12).

En el muestreo mensual de pH, en 1996 se presentó una disminución de 8 (febrero) a 5.5 (de mayo a marzo), con un promedio de 5.7 (Apéndice Tabla 13). Probablemente el valor de 5.5, fue ocasionado por descargas industriales, que arrojan sus desechos al cauce del río (Apéndice Gráfica 8).

Temperatura del agua

En el periodo anual comprendido de 1989-1994 (Apéndice Gráfica 9 y Apéndice Tabla 14) el intervalo fue de 14.5-20 °C, con un promedio de 16.

En el muestreo mensual de 1995-96 fluctuó de 13 (diciembre) a 22 °C (febrero/95), siendo el promedio de 18 °C, presentando intervalos amplios de temperatura, ocasionados por las alteraciones que ha sufrido el río Lerma y los aportes de descargas industriales (Apéndice Gráfica 8 y Apéndice Tabla 15).

Profundidad

Sus valores fluctuaron entre 18 m (febrero y marzo/96) a 26 m (agosto/95), con un promedio de 21 m (Apéndice Tabla 16)

Índice de Calidad del Agua (ICA)

Los valores obtenidos para 1989-1995 fue de 31 y para 1995-1996 fue de 25 y de acuerdo a los resultados físico-químicos analizados por el Índice de Calidad del Agua, los cuales reflejan las condiciones prevaletcientes en la zona, su uso se ve restringido para la industria y agricultura. En el caso de abastecimiento humano no es aceptable (Apéndice Figuras 3 y 4).

Estación dos

Oxígeno Disuelto (OD)

En el periodo anual comprendido de 1989-1995, las concentraciones de Oxígeno Disuelto fluctuaron de 0.07-0.78 mg/L, con un promedio de 0.19 mg/L. En el muestreo mensual de 1995-96 fluctuó de 0 (marzo y junio) a 5.6 (febrero) mg/L, con un promedio de 1.81 mg/L (Apéndice Gráficas 9 y 10 y Apéndice Tabla 5 y 6).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En el periodo anual comprendido de 1989-1995 ha variado poco, (Apéndice Tabla 7) presentó concentraciones de 188- 258 mg/L, con un promedio de 219 mg/L. Para el muestreo mensual de 1995-96 (Apéndice Tabla 8) los valores fluctuaron de 139 mg/L (junio) a 281 mg/L (marzo), con un promedio de 192 mg/L (Apéndice Gráficas 9 y 10).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En el periodo anual comprendido de 1989-1995 las concentraciones fluctuaron entre 52 - 161 mg/L, con un promedio de 82 mg/L (Apéndice Gráfica 9. Apéndice Tabla 9).

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

Respecto a los sólidos suspendidos totales en el periodo anual comprendido de 1989-1995 (Apéndice Tabla 10) las concentraciones fluctuaron entre 33- 301 encontrando un promedio de 168 mg/L. Para el muestreo mensual de 1995-96 (Apéndice Tabla 11) los valores fluctuaron de 14 (marzo) a 375 mg/L (noviembre), con un promedio de 118 mg/L.. La concentración de sólidos disueltos se vio reducida en el tiempo (Apéndice Gráfica 9 y 10).

La causa de las concentraciones elevadas de DQO, DBO y sólidos son ocasionados por la planta de tratamiento E.P.C.C.A. que recibe descargas de 132 industrias, de las cuales 36 corresponden a Químicos, 31 a metal mecánico, 22 textil, 12 alimenticia, 7 curtidería-calzado, 6 plásticos y envases, 5 construcción, 4 servicios, 2 automotriz, 2 impresión, 2 farmacéuticas, 2 muebles. La industria que aporta mayor cantidad de sólidos es la de giro alimenticio con 7,286 mg/L. En lo que respecta a la DQO, el giro que aporta mayor concentración es el químico con 36,498 mg/L y una DBO de 14,730 mg/L.

Las concentraciones antes mencionadas sobrepasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (OD es de 4 mg/L, DBO₅ de 6 mg/L, DQO de 6 mg/L y de SST de 25 mg/L) (SEDUE, 1989).

pH

En el periodo anual comprendido de 1989-1995, el pH oscila en intervalos de 5.5-7.7 unidades, con un promedio de 7 (Apéndice Gráfica 11 y Apéndice Tablas 12).

La gráfica 12 muestra que el pH en el muestreo mensual de 1996 presentó un valor de 5.5, con excepción del mes de abril (6), con un promedio de 5.5 (Apéndice Tabla 13). Probablemente el valor de 5.5, fue debido a que la estación dos recibe aportes de la planta industrial en la cual descargan industriales que presentan ácido húmico, ácidos minerales y sales de ácidos provenientes principalmente de la preparación de superficies y del acabado de metales.

Temperatura del agua

En lo que respecta a la temperatura del agua comprendida de 1989-1994 (Gráfica 11 y Apéndice Tabla 14) el rango fue de 13-19 °C, con un promedio de 17 °C. En el muestreo mensual de 1995-96 la temperatura fluctuó durante todo

el año encontrando intervalos de 15 (febrero/95) a 21 °C (septiembre), con un promedio de 18 °C (Apéndice Gráfica 12 y Apéndice Tabla 15).

Profundidad

No fue determinada, dado que se careció de infraestructura para ello.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

En el periodo anual comprendido de 1989-1994 los valores obtenidos fueron de 32.1248 y para 1995-1996 fue de 34 y de acuerdo a los resultados fisico-químicos analizados por el Índice de Calidad del Agua, los cuales reflejan las condiciones prevalentes en la zona, su uso se ve restringido para la industria y agricultura, en el caso de abastecimiento humano no es aceptable (Apéndice Figura 3 y 4).

Estación tres

Oxígeno Disuelto (OD)

En el periodo anual comprendido de 1989-1995, las concentraciones de Oxígeno Disuelto fluctuaron de 0.1- 1.5 mg/L, con un promedio de 0.76 mg/L. En el muestreo mensual de 1995-96 fluctuó de 0.1 (noviembre/94) a 7.1mg/L (noviembre/95), con un promedio de 2.97 mg/L (Apéndice Gráfica 13 y 14 y Apéndice Tabla 5 y 6).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En el transcurso del tiempo ha variado poco, en el periodo anual comprendido de 1989-1995 presentó concentraciones de 130- 143 mg/L, con un promedio de 137 mg/L. Para el muestreo mensual de 1995-96 (Apéndice Tabla 7 y 8) los valores fluctuaron de 79 mg/L (septiembre) a 171 mg/L (marzo), con un promedio de 126 mg/L (Apéndice Gráfica 13 y 14).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En el periodo anual comprendido de 1989-1994 las concentraciones fluctuaron entre 15 - 287 mg/L, con un promedio de 79 mg/L. (Apéndice Gráfica 13 y Apéndice Tabla 9).

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

En el periodo anual comprendido de 1989-1995 (Apéndice Tabla 10) las concentraciones fluctuaron entre 56 - 399, encontrando un promedio de 201 mg/L. Para el muestreo mensual de 1995-96 (Apéndice Tabla 11) los valores fluctuaron de 18 (noviembre/94) - 94 mg/L (junio/95), con un promedio de 46 mg/L. La concentración de sólidos disueltos se vio reducida en el tiempo (Apéndice Gráfica 13 y 14).

Las concentraciones antes mencionadas sobrepasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática (OD es de 4 mg/L, DBO₅ de 6 mg/L, DQO de 6 mg/L y de SST de 25 mg/L) (SEDUE, 1989).

pH

En el periodo anual comprendido de 1989-1995, el pH oscila en intervalos de 6.9-7.8 unidades, con un promedio de 7 (Apéndice Gráfica 15 y Apéndice Tablas 12).

La gráfica 16 muestra que el pH del muestreo mensual de 1996 presentó valores de 6 (Febrero y abril) a 4.5 (marzo/96), con un promedio de 5.5 (Apéndice Tabla 13). Probablemente el valor de 5.5 , fue debido a los aportes municipales.

Temperatura del agua

En lo que respecta a la temperatura del agua en el periodo anual comprendido de 1989-1995 (Gráfica 15 y Apéndice Tabla 14) el rango fue de 15-19 °C, con un promedio de 17 °C. En el muestreo mensual de 1995-96 la temperatura fluctuó durante todo el año encontrando intervalos de 14 (enero) a 21 °C (mayo) con un promedio de 17 °C (Apéndice Gráfica 16 y Apéndice Tabla 15).

Profundidad

Sus valores fluctuaron entre 14.00 m (diciembre y enero/96) a 37.5 m (julio/95), con un promedio de 22.75 m (Apéndice Tabla 16).

Índice de Calidad del Agua (ICA)

Los valores obtenidos en el periodo anual comprendido de 1989-1995 fue de 28 y para el muestreo mensual de 1995-1996 fue de 23 y de acuerdo a los resultados físico-químicos analizados por el Índice de Calidad del Agua, los cuales reflejan las condiciones prevaletientes en la zona, su uso se ve restringido para la industria y agricultura, en el caso de abastecimiento humano no es aceptable (Apéndice Figura 3 y 4).

2 Biológicos.

2.1 Análisis Biológico

Las características ambientales son relevantes para el conocimiento de los taxas infragenericos presentes en el área de estudio, por lo que se realizó una caracterización ambiental (Se baso para caracterizar el área de estudio encontrando en el curso impartido por personal de la Comisión de Texas para

la Conservación de los Recursos Naturales) encontrando en general lo siguiente:

El área muestreada fue de 25-30 km del cause del río Lerma. El ancho de cause de 20 a 25 m, corriente homogénea a lo ancho y largo del río, pendiente mínima ocasionada por los azolves.

En lo que respecta a los parámetros primarios (características del cuerpo de agua) se tiene que menos del 10% del hábitat es estable, la falta de hábitats fue evidente, el substrato rocoso ausente. Los rápidos virtualmente ausentes al igual que los cantos rodados, suelo limoso con excepción de la estación 3 (Carr. a Atlacomulco) que es rocoso.

Parámetros secundarios (alteraciones del cuerpo de agua).- Evidencia de canalizaciones, presencia de puentes. Hábitats altamente alterados, ausencia de depósitos de sedimento formando pequeñas islas que propician hábitats en época de secas. Depositación de sedimento en los meandros del río. La velocidad del río homogénea a lo largo y ancho de éste, al presentar el declive ligero su velocidad se vió afectada, disminuyendo a lo largo. Lo anterior repercutió en la temperatura, la cual fue constante.

Parámetros terciarios (alteración de los alrededores del cuerpo de agua).- Ausencia de vegetación nativa, dominó en los alrededores vegetación introducida por el hombre como son: pastos y cultivos de maíz. Las orillas se encuentran erosionadas. La actividad humana fue evidente, presencia de ganado vacuno y uso doméstico. En las tres estaciones en general la corriente en los tres primeros meses del año 1995 fue escasa, aumentando en el mes de mayo e incluso el nivel del cauce y flujo. En los meses de enero a marzo la corriente disminuyó, el agua de las estaciones presentó un color que va de café-verdoso.

Particularizando, entre los aspectos relevantes en cada estación se encontró lo siguiente:

Estación 1

En la superficie del agua fue evidente en época de secas el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). El color del agua oscuro en el centro y verde opalescente en las márgenes, el sedimento gris oscuro, suelo fangoso de textura arcillosa. La presencia de burbujas en época de lluvias fue evidente.

En época de lluvias los hábitats en los márgenes desaparecen, así como la presencia del lirio acuático.

Estación 2 .

En el transcurso del muestreo se observó la presencia de organismos como culebras, vacas, borregos, burros y un perro muerto. La presencia del perifiton fue evidente en los meses de octubre a febrero, así como pequeños remolinos a lo largo y ancho del cauce del río.

Estación 3 .

Color café-verdoso del agua, suelo rocoso.

2.2 Análisis Taxonómico.

Clasificación y Sistemática de taxos infragenericos y entidades reconocidas como diferentes presentes en las estaciones de muestreo en el río Lerma.

División Cyanoprokariota

Clase Cyanophyceae

Orden Chroococcales

Familia Chroococcaceae

Chroococcus sp₁

Chroococcus sp₂

Gomphosphaeria sp₁

Oscillatoriales

Oscillatoriaceae

Oscillatoria sp₁

Oscillatoria sp₂

Lyngbye sp₁

Nostocales

Nostocaceae

Aphanizomenon sp₁

Raphidiopsis sp₁

Nostoc sp₁

División Chlorophyta

Clase

Chlorophyceae

Orden

Volvocales

Chlamydomonadaceae

Chlamydomonas sp₁

Chlorococcales

Oocystaceae

Kirchneriella sp₁

Monoraphidium sp₁

Micractiniaceae

Micractinium sp₁

Scenedesmaceae

Scenedesmus sp₁

Scenedesmus sp₂

Actinastrum sp₁

Zygnematales

Zygnemaceae

Spirogyra sp₁

Desmidiaceae

Closterium sp₁

Cosmarium sp₁

División Chrysophyta

Clase

Chrysophyceae

- Orden Ochromonadales
 Ochromonadaceae
Ochromonas sp₁
- División Euglenophyta
 Clase Euglenophyceae
 Orden Euglenales
 Euglenaceae
Euglena sp₁
- (Según Round *et al.* 1990)
 Bacillariophyta
 Coscinodiscophyceae
 Thalassirophycidae
 Thalassiosirales
 Thalassiosiraceae
Stephanodiscus sp₁
 Coscinodiscophycidae
Aulacoseira sp₁
- Fragilariophyceae
 Fragilariales
 Fragilariaceae
Fragilaria sp₁
Synedra sp₁
- Bacillariophyceae
 Bacillariophycidae
 Cymbellales
 Gomphonemataceae
Gomphonella sp₁
- Naviculales
 Naviculaceae
Navicula sp₁
- Bacillariales
 Bacillariaceae
Hantzchia sp₁
Nitzschia sp₁

Se analizaron un total de 4045 org/ml de la ficoflora distribuidos en: cuatro divisiones, siete clases, 11 ordenes, 16 familias, 26 géneros y 28 entidades diferentes, encontrando la siguiente proporción en las clases.

		%	# de entidades diferentes
FICOFLORA	1 Cyanophyceae	32	9
	2 Chlorophyceae	32	9
	3 Chrysophyceae	4	1
	4 Bacillariophyceae	14	4
	5 Coscinodiscophyceae	7	2
	6 Fragilariophyceae	7	2
	7 Euglenophyceae	4	1
	TOTAL:	100	28

Las clases con mayor diversidad fueron Cyanophyceae y Chlorophyceae con 9 entidad diferentes (Apéndice Gráficas 17 y 18).

2.3 Análisis Cualitativo de la ficoflora en el río Lerma.

Estación uno

En el mes de junio las entidades diferentes dominante fue *Chroococcus* sp₁ (100%), en el mes de julio la entidad diferente dominante fue *Aulacoseira* sp₁ (100%), en el mes de agosto las entidades diferentes presentes fueron, *Aphanizomenon* sp₁ (20%), *Scenedesmus* sp₁ (20%), *Monoraphidium* sp₁ (20%), *Chroococcus* sp₂ (20%) y *Kirchneriella* sp₁ (20%), en el mes de septiembre fueron *Hantzschia* sp₁ y *Euglena* sp₁ (50% cada una), en los meses de octubre y noviembre no se encontraron organismos, en diciembre domino la entidad diferente *Euglena* sp₁ (62%) seguido de *Chroococcus* sp₁ y *Ochromonas* sp₁ (19% respectivamente), en el mes de enero/96 la entidad diferente *Ochromonas* sp₁ (100%), en febrero la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (46%) seguido por *Chroococcus* sp₂ (30%), *Monoraphidium* sp₁ (16%), *Kirchneriella* sp₁, *Euglena* sp₁, *Oscillatoria* sp₁ y *Nitzschia* sp₁ (2% cada una); en marzo *Oscillatoria* sp₁ y *Lyngbya* sp₁ dominaron (50% cada una); y en abril dominó *Chroococcus* sp₁ (58%), seguido de *Ochromonas* sp₁ (26%), *Actinastrum* sp₁ y *Monoraphidium* sp₁ (8% cada una) (Apéndice Gráfica 19 y Apéndice Tabla 17).

Estación dos.

En el mes de junio la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (100%), en el mes de julio la entidad diferente dominante fue *Aulacoseira* sp₁ (100%), en el mes de agosto no se encontró organismos, en el mes de septiembre fue *Euglena* sp₁ (100%), en los meses de octubre y noviembre no se encontró organismos, en diciembre domino la entidad diferente *Ochromonas* sp₁ (100%), en el mes de enero/96 la entidad diferente *Oscillatoria* sp₁ (57%) seguido de *Ochromonas* sp₁ (41%), *Chroococcus* sp₂, *Kirchneriella* sp₁ (0,5% cada uno), *Aphanizomenon* sp₁, sp₁, *Chlamydomonas* sp₁, *Monoraphidium* sp₁ y *Oscillatoria* sp₂ (0.25% cada una), en febrero la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (98%) y *Scenedesmus* sp₂ (2%), en marzo *Raphidiopsis* sp₁ (100%); y en abril dominó *Chroococcus* sp₂ (70%), seguido de *Micractinium* sp₁ (30%) (Apéndice Gráfica 20 y Apéndice Tabla 18).

Estación tres.

En el mes de junio la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₂ (100%), en el mes de julio la entidad diferente dominante fue *Aulacoseira* sp₁ (70%) y *Gomphoneis* sp₁ (30%), en el mes de agosto no se encontró organismos, en el mes de septiembre fue *Euglena* sp₁ (100%), en el mes de octubre no se encontró organismos, en noviembre *Chroococcus* sp₂ (91%) y *Gomphosphaeria* sp₁ (9%), en diciembre domino la entidad diferente *Ochromonas* sp₁ (98%) y *Euglena* sp₁ (2%), en el mes de enero/96 las entidad diferentes *Ochromonas* sp₁ (67%) y *Chroococcus* sp₂, *Monoraphidium* sp₁, *Micractinium* sp₁, *Closterium* sp₁, *Fragilaria* sp₁ (6.6%), en febrero la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (58%) seguido por *Monoraphidium* sp₁ (26%), *Aulacoseira* sp₁ y *Micractinium* sp₁ (8%), en marzo *Spyrogyra* sp₁ (100%); y en abril dominó *Chroococcus* sp₂ y *Monoraphidium* sp₁ (22% cada una), se encuentran también *Aulacoseira* sp₁, *Fragilaria* sp₁, *Scenedesmus* sp₁, *Synedra* sp₁, *Kirchneriella* sp₁, *Stephanodiscus* sp₁, *Nostoc* sp₁, *Cosmarium* sp₁ y *Navicula* sp₁ (6% cada una) (Apéndice Gráfica 21 y Apéndice Tabla 19).

2.4 Análisis cuantitativo de la ficoflora del río Lerma.

Estación uno.

En el mes de junio la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (583 org/ml), en el mes de julio la entidad diferente dominante fue *Aulacoseira* sp₁ (7 org/ml), en el mes de agosto las entidad diferentes presentes fueron, *Aphanizomenon* sp₁, *Scenedesmus* sp₁, *Monoraphidium* sp₁, *Chroococcus*

sp₂ y *Kirchneriella* sp₁ (3 org/ml cada uno), en el mes de septiembre fueron *Hantzchia* sp, y *Euglena* sp₁ (3 org/ml cada una), en los meses de octubre y noviembre no se encontraron organismos, en diciembre domino la entidad diferente *Euglena* sp₁ (10 org/ml) seguido de *Chroococcus* sp₁ y *Ochromonas* sp₁ (3 org/ml respectivamente), en el mes de enero/96 la entidad diferentes *Ochromonas* sp₁ (353 org/ml) en febrero la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (63 org/ml) seguido por *Chroococcus* sp₂ (40 org/ml), *Monoraphidium* sp₁ (23 org/ml), *Kirchneriella* sp₁, *Euglena* sp₁, *Oscillatoria* sp₁ y *Nitzschia* sp₁ (3 org/ml cada una); en marzo *Oscillatoria* sp₁ y *Lyngbya* sp₁ dominaron (3 org/ml cada una); y en abril dominó *Chroococcus* sp₁ (23 org/ml), seguido de *Ochromonas* sp₁ (10 org/ml), *Actinastrum* sp₁ y *Monoraphidium* sp₁ (3 org/ml cada una) (Apéndice Gráfica 22 y Apéndice tabla 20).

En la estación uno se encontraron 1163 org/ml, representados con 14 entidad diferentes de las cuales las mas representativas fueron *Chroococcus* sp₁ (672 org/ml), seguido de *Ochromonas* sp₁ (366 org/ml) durante el tiempo de muestreo y las entidad diferentes de menor abundancia fueron con 3 org/ml: *Aphanizomenon* sp₁, *Scenedesmus* sp₁, *Lyngbya* sp₁, *Actinastrum* sp₁, *Hantzchia* sp₁ y *Nitzschia* sp₁ (Apéndice Gráfica 23).

Estación dos.

En el mes de junio la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₁ (13 org/ml), en el mes de julio la entidad diferente dominante fue *Aulacoseira* sp₁ (7 org/ml), en el mes de agosto no se encontró organismos, en el mes de septiembre fue *Euglena* sp₁ (3 org/ml), en los meses de octubre y noviembre no se encontró organismos, en diciembre domino la entidad diferente *Ochromonas* sp₁ (177 org/ml), en el mes de enero/96 la entidad diferente *Oscillatoria* sp₁ (730 org/ml), seguido de *Ochromonas* sp₁ (523 org/ml), *Kirchneriella* sp₁ y *Chroococcus* sp₂ (7 org/ml cada uno) y *Aphanizomenon* sp₁, *Chlamydomonas* sp₁, *Oscillatoria* sp₂ y *Monoraphidium* sp₁ (3 org/ml cada uno); en febrero domino *Chroococcus* sp₁ (630 org/ml), y *Scenedesmus* sp₂ (3 org/ml), marzo *Raphidiopsis* sp₁ (3 org/ml) y en abril domino *Chroococcus* sp₂ (7 org/ml) seguido por *Micractinium* sp₁ (3 org/ml) (Apéndice Gráfica 24 y Apéndice tabla 21).

En la estación dos se encontraron 2125 org/ml, representados con 14 entidad diferentes de las cuales las mas representativas fueron *Oscillatoria* sp₁ (730 org/ml), seguido de *Ochromonas* sp₁ (700 org/ml) y *Chroococcus* sp₁ (643 org/ml) y las entidad diferentes menos abundantes fueron *Aphanizomenon* sp₁, *Chlamydomona* sp₁, *Monoraphidium* sp₁, *Euglena* sp₁, *Raphidiopsis*

sp₁, *Microactinium* sp₁, *Scenedesmus* sp₂ y *Oscillatoria* sp₂ con 3 org/ml (Apéndice Gráfica 25).

Estación tres.

En el mes de junio la entidad diferente dominante fue *Chroococcus* sp₂ (47 org/ml), en julio *Aulacoseira* sp₁ (7 org/ml) y *Gomphonella* sp₁ (3 org/ml), en agosto no se encontró organismos, en septiembre *Euglena* sp₁ (3 org/ml), en octubre no se encontró organismos, en noviembre *Chroococcus* sp₂ (30 org/ml) y *Gomphosphaeria* sp₁ (3 org/ml), en diciembre dominó *Ochromonas* sp₁ (520 org/ml) y *Euglena* sp₁ (10 org/ml), en enero dominó *Ochromonas* sp₁ (30 org/ml), seguido de *Chroococcus* sp₂, *Monoraphidium* sp₁, *Microactinium* sp₁, *Closterium* sp₁ y *Fragilaria* sp₁ (3 org/ml cada uno); en febrero dominó *Chroococcus* sp₂ (23 org/ml) seguido de *Monoraphidium* sp₁ (10 org/ml), *Microactinium* sp₂ y *Aulacoseira* sp₁ (3 org/ml cada uno), marzo *Spirogyra* sp₁ (3 org/ml) y en abril dominó *Chroococcus* sp₂ y *Monoraphidium* sp₁ (10 org/ml cada uno) seguido por *Aulacoseira* sp₁, *Fragilaria* sp₁, *Scenedesmus* sp₁, *Synedra* sp₁, *Kirchneriella* sp₁, *Stephanodiscus* sp₁, *Nostoc* sp₁, *Cosmarium* sp₁ y *Navicula* sp₁ (3 org/ml cada uno) (Gráfica 26 y Apéndice tabla 22).

En la estación tres se encontraron 757 org/ml, representados con 16 entidad diferentes de las cuales las mas representativas fueron *Ochromonas* sp₁ (550 org/ml), seguido de *Chroococcus* sp₂ (113 org/ml) y las entidad diferentes menos abundantes fueron *Closterium* sp₁, *Scenedesmus* sp₁, *Synedra* sp₁, *Kirchneriella* sp₁, *Stephanodiscus* sp₁, *Gomphonella* sp₁, *Gomphosphaeria* sp₁, *Spirogyra* sp₁, *Nostoc* sp₁, *Cosmarium* sp₁ y *Navicula* sp₁ con 3 org/ml (Apéndice Gráfica 27).

2.5 Clorofila a, b y c.

Determinación de clorofila por la técnica de metanol.

Estación uno.

En el mes de abril la concentración fue de 0.0130 mg/L, en mayo de 0.0006 mg/L, en junio de 0.0013, de julio a diciembre la concentración de clorofila a fue de 0.0000 mg/L, en enero de 0.0597 mg/L, en febrero de 0.0066 mg/L y en marzo de 0.0289 mg/L. La mayor concentración de clorofila a, se presentó en el mes de enero de 1996, y la menor concentración en los meses de julio a diciembre, con un promedio de 0.0092 mg/L.

La clorofila **b**, presentó las siguientes concentraciones de clorofila: en el mes de abril fue de 0.0130 mg/L, en mayo de 0.0003 mg/L, en junio de 0.0003 mg/L, de julio a diciembre fue de 0.0000 mg/L, en enero de 0.119 mg/L, en febrero de 0.0013 mg/L y en marzo de 0.0058 mg/L. La mayor concentración se presentó en el mes de enero y la menor de junio a diciembre, con un promedio de 0.0027 mg/L.

La clorofila **c**, en el mes de abril la concentración de clorofila fue de 0.0004 mg/L, en mayo de 0.0005 mg/L, de junio a diciembre fue de 0.0000 mg/L, en enero de 0.0007 mg/L, en febrero de 0.0000 mg/L y en marzo de 0.0002 mg/L. La mayor concentración de clorofila se presentó en el mes de enero y la menor de junio a diciembre y febrero de 1996, con un promedio de 0.0002 mg/L. La clorofila **a** en promedio fue la más alta, seguida de la **b** y por último la **c** (Apéndice Gráfica 28 y Apéndice Tabla 23).

Estación dos.

En el mes de abril la concentración de clorofila **a** fue de 0.0015 mg/L, en mayo de 0.0013 mg/L, de junio a noviembre fue de 0.0000 mg/L, en diciembre fue de 0.0071 mg/L, en enero de 0.0038 mg/L, en febrero de 0.0024 mg/L y en marzo de 0.0089 mg/L. La mayor concentración se presentó en el mes de marzo de 1996, la menor concentración de junio a noviembre, con un promedio de 0.0021 mg/L.

La clorofila **b**, en el mes de abril la concentración fue de 0.0009 mg/L, en mayo de 0.0005, de junio a noviembre de 0.0000 mg/L, en diciembre de 0.0014 mg/L, en enero de 0.0008 mg/L, en febrero de 0.0005 mg/L, y en marzo de 0.0019 mg/L. La mayor concentración se presentó en el mes de marzo y la menor de junio a noviembre, con un promedio de 0.0005 mg/L.

La clorofila **c**, en el mes de abril la concentración fue de 0.0018 mg/L, de a marzo fue de 0.0000 mg/L., con un promedio de 0.0002 mg/L.

En promedio, la clorofila **a** presentó concentraciones mas altas seguido de la clorofila **b** y por último la clorofila **c** (Apéndice Gráfica 29 y Apéndice Tabla 24).

Estación tres.

La concentración en el mes de abril fue de 0.0002 mg/L, en mayo de 0.0014 mg/L, de junio a octubre y diciembre de 0.0000 mg/L, en noviembre de 0.0020 mg/L, en enero de 0.0417 mg/L, en febrero de 0.0252 mg/L, en marzo de 0.0063 mg/L. La mayor concentración de clorofila **a** se presentó en el mes de febrero de 1996, la menor concentración de clorofila de junio a octubre y en el mes de diciembre, con un promedio de 0.0064 mg/L.

La clorofila b, en el mes de abril fue de 0.0009 mg/L, en mayo de 0.0005 mg/L, en el mes de junio, de agosto a octubre y el mes de diciembre presentaron concentraciones de 0.0000 mg/L, en julio de 0.0007 mg/L, en noviembre de 0.0004 mg/L, en enero de 0.0083 mg/L, en febrero de 0.0050 mg/L y en marzo de 0.0013 mg/L. La mayor concentración se presentó en el mes de febrero y la menor en los meses de junio, de agosto a octubre y el mes de diciembre, con un promedio de 0.0014 mg/L.

La clorofila c, en el mes de abril fue de 0.0021 mg/L, en mayo de 0.0009 mg/L, de junio a diciembre y marzo de 0.0000 mg/L, en enero de 0.0004 mg/L, en febrero de 0.0002 mg/L. La mayor concentración de clorofila se presentó en el mes de abril y la menor en los meses de junio a diciembre y marzo, con un promedio de 0.0003 mg/L.

En promedio, la clorofila **a** presentó concentraciones mas altas seguido de la clorofila **b** y por último la clorofila **c** (Gráfica 30 y Apéndice Tabla 25). Los resultados de la técnica de acetona se encuentran en el anexo tabla 26, 27 y 28 y Gráficas 31, 32 y 33.

2.6 Metales pesados en material biológico.

Respecto al Pb^{+4} , no fue detectado en el espectro de absorción atómica de flama, presentando un valor reportado como < 0.08 ppm en todo el transcurso del muestreo.

Cromo hexavalente.

Estación uno.

En lo que respecta al Cr^{+6} en su generalidad se presentó una concentración de < 0.04 ppm con las siguientes excepciones: en el mes de noviembre (0.07 ppm).

Estación dos.

En su generalidad se presentó una concentración de < 0.04 ppm con las siguientes excepciones: en junio (0.04 ppm), julio (0.06 ppm) y noviembre (0.12 ppm).

Estación tres.

Presentó una concentración de < 0.04 ppm con las siguientes excepciones: en el mes junio y agosto (0.07 ppm), y noviembre (0.06 ppm). En la presa Antonio Alzate se detectó para el mes de febrero/96 una concentración de < 0.04 ppm.

Apéndice Gráficas 34, 35 y 36 y Apéndice Tabla 29).

Zinc.

El Zn^{+2} fue el metal que dominó en la ficoflora, encontrando:

Estación uno.

La concentración en el mes de abril fue de 2.22 ppm, en julio de 1.03 ppm, en agosto de 0.82 ppm, en septiembre de 0.49 ppm, en octubre de 0.64 ppm, en noviembre de 2.64 ppm, en diciembre de 0.13 ppm, en enero de 0.03 ppm, en febrero y marzo de 0.62 ppm. La mayor concentración se presentó en el mes de noviembre (2.65 ppm) y la menor en enero (0.03 ppm) con un promedio de 0.925 ppm.

Estación dos.

Para Zn^{+2} en junio la concentración fue de 2.32 ppm, en julio de 2.3 ppm, en agosto de 0.57 ppm, en septiembre de 0.98 ppm, en octubre de 0.3 ppm, en noviembre de 2.15 ppm, en diciembre de 0.22 ppm, en enero de 0.38 ppm, en febrero de 0.55 ppm y marzo de 0.88 ppm. La mayor concentración se presentó en el mes de junio y julio (2.32 ppm) y la menor en diciembre (0.22 ppm) con un promedio de 1.065 ppm.

Estación tres.

Para Zn^{+2} , la concentración presentada en el mes de junio fue de 2.47 ppm, en julio de 0.5 ppm, en agosto de 0.94 ppm, en septiembre de 0.18 ppm, en octubre de 0.75 ppm, en noviembre de 3.46 ppm, en diciembre de 2.4 ppm, en enero de 0.76 ppm, en febrero y en marzo de 0.61 ppm cada uno. La mayor concentración se presentó en el mes de noviembre (3.46 ppm) y la menor en septiembre (0.18 ppm) con un promedio de 1.267 ppm.

Apéndice Gráfica 34, 35 y 36 y Apéndice Tabla 29.

La estación que presenta, en promedio, mayor concentración del metal Zn^{+2} en la estación 3 (1.267 ppm), seguido de la 2 (1.065 ppm) y por último la 1 (0.925

ppm). La presa Antonio Alzate no presenta concentración significativamente diferente; en el mes de febrero de 1996 se detectó una concentración de 0.59 ppm mientras que en la estación 1 (0.62 ppm), estación 2 (0.55 ppm) y en la estación 3 (0.60 ppm).

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El río Lerma presentó concentraciones de los parámetros físico-químicos, por debajo a los establecidos en los criterios ecológicos, reflejándose en condiciones anóxicas y una baja en las reacciones de descomposición de los materiales presentes en el sistema.

La poca variación de temperatura, es originada por la corriente homogénea presente en el cauce del río.

Los valores ácidos del pH son ocasionados probablemente por descargas industriales que presentaron ácido húmico, ácidos minerales y sales de ácidos provenientes principalmente de la preparación de superficies y del acabado de metales.

En el sistema las concentraciones DQO (137-218 mg/L en promedio anual) son mayores que de DBO₅ (39-82 mg/L en promedio anual), lo que sugiere que existe mayor cantidad de materia orgánica químicamente oxidable.

Al presentar una carga orgánica alta, origina una mayor necesidad de oxígeno para su descomposición, lo que se refleja en las concentraciones encontradas de Oxígeno Disuelto. Su descenso, refleja un cuerpo de agua de baja calidad, dado que sus valores son inferiores al de los criterios ecológicos (4 mg/L), pudiéndose emplear como indicador de la contaminación excesiva por desechos.

La elevada concentración de sólidos (7286 mg/L) ocasionó turbidez en el sistema, impidiendo la penetración de luz, limitando de esta forma a los organismos fotosintéticos a la capa superficial.

El nivel del cauce se vio afectado en los meses de junio a septiembre por la época de lluvias, donde la ausencia de organismos fue evidente. Lo anterior se explica por el arrastre de sólidos suspendidos totales, que impiden su establecimiento.

Los parámetros pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales, rebasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática, afectando considerablemente la presencia de los organismos en el río Lerma.

De acuerdo a los valores del ICA (Índice de Calidad del Agua) el río Lerma es considerado como un sistema eutrófico, cuyo uso se restringe al industrial y agrícola con tratamiento previo y sólo aceptable para el transporte de desechos tratados (Apéndice Figura 3 y 4)..

Las características ambientales reportadas para el río Lerma, reflejan un sistema sumamente alterado por la actividad humana.

De acuerdo a sus características, las estaciones muestreadas se agrupan en dos: el primer grupo, incluye las estaciones uno y dos; el segundo grupo la estación tres. En el primer grupo su similitud radica en la presencia de la planta de tratamiento y de la presa Alzate (funciona como una laguna de estabilización) y que ambas reciben desechos industriales que reciben un tratamiento previo a diferencia de la estación tres cuyos aportes son básicamente municipales.

Las características físico-químicas presentes en las diferentes épocas del año, originan cambios en la fitoflora en el río Lerma.

Analizando los taxos infragenericos de las diferentes estaciones del río Lerma, se identificaron cuatro divisiones, siete clases, 11 ordenes, 17 familias, 26 géneros y 28 entidad diferentes de un total de 4,039 organismos. El análisis por estación fue:

Estación uno.

Se identificaron cinco divisiones, cinco clases, siete ordenes, nueve familias, 13 géneros y 14 entidad diferentes de un total de 1,163 org/ml.

Estación dos.

Se identificaron cinco divisiones, cuatro clases, siete ordenes, 10 familias, 11 géneros y 14 entidad diferentes de un total de 2,125 org/ml.

Estación tres.

Se identificaron cinco divisiones, seis clases, nueve ordenes, 14 familias, 18 géneros y 18 entidad diferentes de un total de 751 org/ml.

La relación encontrada en el transcurso del muestreo:

Entidad diferentes sólo en la estación uno.- cuatro.

- *Lyngbya* sp₁
- *Actinostrium* sp₁
- *Hantzschia* sp₁
- *Nitzschia* sp₁

Entidad diferentes sólo en la estación dos.- cuatro

- *Raphidopsis* sp₁
- *Oscillatoria* sp₂

- *Chlamydomonas* sp₁
- *Scenedesmus* sp₂

Entidad diferentes sólo en la estación tres.- 10

- *Gomphosphaeria* sp₁
- *Nostoc* sp₁
- *Spirogyra* sp₁
- *Closterium* sp₁
- *Cosmarium* sp₁
- *Stephanodiscus* sp₁
- *Synedra* sp₁
- *Fragilaria* sp₁
- *Gomphoneis* sp₁
- *Navicula* sp₁

Entidad diferentes presentes en las tres estaciones.- seis

- *Chroococcus* sp₂
- *Kirchneriella* sp₁
- *Monoraphidium* sp₁
- *Ochromonas* sp₁
- *Euglena* sp₁
- *Aulacoseira* sp₁

Entidad diferentes sólo presentes en las estaciones uno y dos.- tres.

- *Chroococcus* sp₁
- *Aphanizomenon* sp₁
- *Oscillatoria* sp₁

Entidad diferentes sólo presentes en las estaciones dos y tres. una.

- *Micractinium* sp₁

Entidad diferentes sólo presentes en las estaciones uno y tres. una

- *Scenedesmus* sp₁

De acuerdo a las observaciones anteriores se refuerza el agrupar las estaciones en dos, la primera se encuentran las estaciones uno y dos que presentan mayor similitud al presentar tres entidad diferentes comunes y en el segundo grupo la estación tres que sólo compartió una entidad diferente con las estaciones anteriores.

Cualitativamente las clase Chlorophyceae (9 entidad diferentes) y la clase Cyanophyceae (9 entidad diferentes), presentan mayor diversidad así como las entidad diferentes dominantes fueron *Ochromonas* sp₁, *Chroococcus* sp₁, y *Oscillatoria* sp₁, principalmente en los meses de octubre a febrero, donde los

valores de DQO (40- 158 mg/L), Sólidos suspendidos totales (22-44 mg/L) disminuyeron y el Oxígeno Disuelto aumento (0- 5.8 mg/L). La estación tres fue la mas diversa con 18 entidad diferentes y la estación dos la más abundante (2,125 org/ml).

El río Lerma, se caracteriza por presentar entidad diferentes que viven en aguas contaminadas, como *Chlamydomonas* sp₁, presente en la estación dos en los meses de mayo a septiembre, está entidad diferente es indicadora de aguas contaminadas por desechos industriales, imparten olor, sabor y color al agua y se encuentra en aguas ácidas.

La estación uno presentó mayor diversidad de entidad de la clase Bacillariophyceae, a diferencia de las estaciones dos y tres, originado probablemente por los aportes de sólidos, que destruyen la capa de sílice impidiendo de está forma su establecimiento.

La clase Euglenophyceae con la entidad *Euglena* sp, se presentó en las tres estaciones por la concentración de materia orgánica en el sistema, el género *Euglena* es considerada como un indicador de materia orgánica.

En los meses de diciembre/95 a marzo/96 aumentó el número de organismos, en el mes de febrero la presencia de algas en los márgenes del río, se hizo patente, encontrando a las clases Cyanophyceae (*Oscillatoria* sp₁), Chlorophyceae (*Selenastrum* sp₁), Bacillariophyceae (*Fragilaria* sp₁) y Euglenophyceae (*Euglena* sp₁), lo anterior es debido a la disminución del nivel del agua, permitiendo espacios libres para el crecimiento de organismos.

Conforme la entidad *Ochromonas* sp, aumentaba a lo largo del río, la entidad *Chroococcus* sp₁ disminuía, provocado por el tipo de aporte que en las primeras estaciones es fundamentalmente de tipo industrial, encontrando la estación tres aportes de tipo municipal básicamente.

La Clase Cyanophyceae se multiplica especialmente en situaciones marginales o cambiantes y cuando las condiciones se hacen "normales" o generalizadas, a veces por la actividad de las propias Cyanophyceae, quedan fácilmente eliminadas por la competencia de otros organismos, lo que es de suma importancia tomarlo en cuenta, para posteriores observaciones.

La técnica de extracción por metanol es confiable y precisa, no impide el transporte de los pigmentos celulares hacia el exterior, a diferencia de la técnica de acetona que enmascara los resultados aparentando homogeneidad y dando valores en la época de lluvia, donde la concentración de sólidos es alta y la ausencia de la ficoflora es patente.

Tomando en consideración que:

Cyanophyceae	presenta clorofila a
Chlorophyceae	a y b
Chrysophyceae	a y c
Euglenophyceae	a y b
Bacillariophyceae	a y c
Coccinodiscophyceae	a y c
Fragilariophyceae	a y c

La clorofila a está presente en todas las clases, la b fue dada por Cyanophyceae, Chlorophyceae y Euglenophyceae, y la c por Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Coccinodiscophyceae y Fragilariophyceae que se presentaron durante el ciclo de muestreo, viéndose reflejadas en los valores obtenidos de clorofila, encontrando principalmente clorofila a y b. En la época de lluvia no se detectó concentración alguna de clorofila.

En los meses de octubre a febrero, la concentración de clorofila y la distribución y abundancia de la ficoflora fue mínima, dadas las características físico-químicas prevalentes en el área, que impiden el desarrollo de la vida en la columna de agua.

En las tres estaciones dominó la clorofila a, los meses de mayor abundancia fueron diciembre donde dominó el género *Ochromonas* sp₁. La clorofila b aumentó cuando el género *Euglena* sp₁.

un animal intoxicado o planta regada con agua contaminada, será a su vez alimento de otro y así sucesivamente a través de la cadena alimenticia.

Se encontró concentraciones alta de Zn^{+2} y disminución de organismos, encontrando altas concentraciones de sólidos. En los últimos meses se encontró concentraciones y abundancia de los organismos, así como la abundancia de entidad diferentes como *Euglena* sp., *Chroococcus* sp., entre otras, se vieron afectadas favoreciendo el desarrollo de otras, con capacidad de crecer en presencia de concentraciones altas de dicho metal.

Tomando en cuenta que la determinación de metales pesados en los organismos se realizó con base a peso húmedo, se sugiere que parte de esta concentración se debe al agua y a los sólidos suspendidos presentes en los organismos.

Los efectos del Cromo no han sido completamente investigados, además que las concentraciones presentes en el sistema fueron considerablemente bajas, probablemente se manifestó un efecto sinérgico con otro metal no determinado. La relación existente entre la concentración de clorofila y la de los metales pesados se vio enmascarada por la concentración de sólidos suspendidos presentados en el área de estudio; la técnica empleada para determinar metales pesados en la ficoflora del río Lerma no descarta los sólidos, dado su tamaño, se imposibilita eliminarlos.

Es importante tener en cuenta que los organismos como entidad son diferentes así como su capacidad de metabolizar sustancias tóxicas y su grado de afectación.

En Zn inhibió en los meses de abril, mayo y junio, la concentración de clorofila en las clases identificadas. El encontrar metales pesados (Zn^{+2} y Cr^{+6}), en los meses de junio a septiembre donde no había organismos fotosintéticos, se explica por la concentración de sólidos presentes.

La discusión sobre la relación existente entre la concentración de clorofila a, b y c con los metales pesados se realizó a nivel de clase dado que requeriría de bioensayos para determinar que entidad diferente se vio afectada por el metal Zn^{+2} en particular.

Para correlacionar las variables concentración de clorofila contra concentración de metales pesados se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas como es la regresión lineal simple, encontrando que los datos diferían al comportamiento observado dando interpretaciones contrarias, lo anterior es debido a la naturaleza de los mismos datos que presenta valores muy cercanos a cero e incluso cero en lo que respecta a la concentración de clorofila. Por lo anterior se abstuvo de realizar pruebas estadísticas en el estudio, relacionando

directamente las dos concentraciones tanto de clorofila como de metales encontrando:

Estación uno, para el caso del Zn^{+2} la concentración de clorofila a, b y c aumenta a partir de una concentración de 0.5-1ppm del metal.

La estación dos, para el caso del Zn^{+2} la concentración de clorofila a, b y c aumenta a partir de una concentración de 0.4-1ppm del metal.

La estación tres, para el caso del Zn^{+2} la concentración de clorofila a, b y c aumenta a partir de una concentración de 0.4-1ppm y en concentraciones mayores a 3ppm del metal, con excepción de la clorofila c.

Sólo en la estación tres el Cr^{+6} se observó una afectación directa en la concentración de clorofila a y b .

En general a lo largo del río Lerma se observó un cuerpo de agua eutrófico, la estación uno fue la que presentó los parámetros físico-químicos mayores, conforme el agua del río fluye la calidad del agua cambia de tal forma que permitió el establecimiento de un número mayor de microorganismos fotosintéticos. Lo anterior hace ver que tanto la planta de tratamiento EPCCA como la presa Alzate permiten una ligera recuperación del sistema.

8 CONCLUSIONES

- A. Los parámetros físico-químicos rebasan los valores establecidos para la protección de la vida acuática, afectando la presencia de los organismos en el río.
- B. El río Lerma es considerado un sistema eutrófico cuyo uso se restringe al industrial y agrícola con tratamiento previo.
- C. Cualitativamente las clases Chlorophyceae y Cyanophyceae presentan mayor diversidad y los organismos *Oscillatoria* sp1, *Ochromonas* sp1 y *Chroococcus* sp1 son las más abundantes.
- D. La concentración de clorofila se ve reflejada por las clases Chlorophyceae y Cyanophyceae.
- E. Las concentraciones de clorofila disminuyen de acuerdo a la concentración de Zn^{+2} y a los parámetros físico-químicos presentes en la zona.
- F. El agua de la zona industrial Lerma-Toluca dadas sus características físico-químicas restringen su utilización, siendo un foco de contaminación desde el punto físico, químico y biológico tanto por bacterias, como la posible acumulación de metales pesados en las cadenas tróficas, dado su uso en el riego y para el ganado.

9 APORTACIONES

De tipo informativo en cuanto al conocimiento del área de estudio.

Contribuir al conocimiento de los organismos componentes de la fitoflora presente en el área de influencia del río Lerma (Lerma de Villada- Atlacomulco).

Contribuir a la aplicación de criterios para realizar monitoreos biológicos con fines de vigilancia.

Contribuir al desarrollo de nuevas metodologías que coadyuven a la protección de la calidad del agua y sus usos potenciales.

Comparación de precisión de las técnicas de determinación de clorofila

10 COMENTARIOS / PERSPECTIVAS

La concentración de clorofila por el método de Azov, tuvo mayor precisión que el método de clorofila por acetona, al no impedir el transporte de los pigmentos celulares hacia el exterior sin enmascarar los resultados.

Las concentraciones de Zn se vieron enmascaradas con los sedimentos presentes en el sistema.

Es importante la realización de bioensayos tanto para cada metal como combinados para desechar respuestas antagónicas de ellos en el sistema, con respecto a la concentración de Clorofila.

La zona industrial Lerma-Toluca requiere de una rápida respuesta y comprensión de la magnitud de su deterioro para una posible modificación en la calidad del agua, de un manejo sostenido del sistema.

Es importante realizar estudios posteriores donde se determinen los organismos a nivel de especie por que permitirá un mejor conocimiento de río.

APENDICE (FIGURAS)

FIGURA 1. LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL ALTO LERMA, ESTADO DE MÉXICO

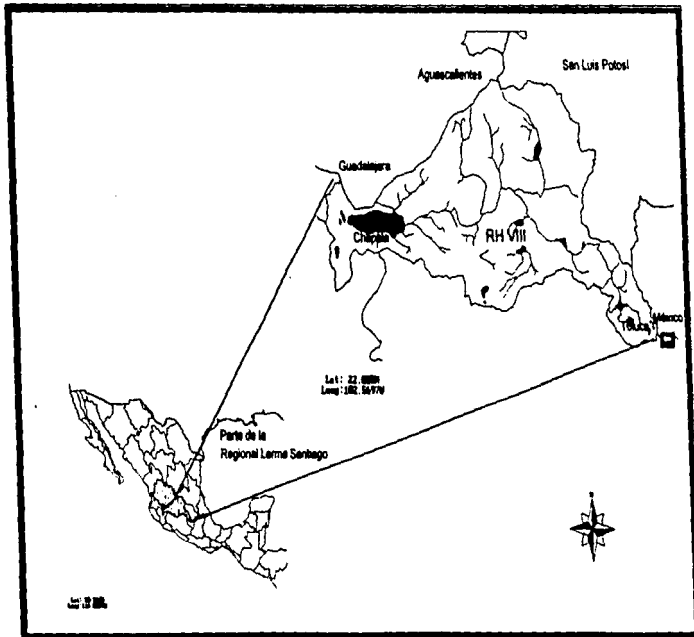


FIGURA 2. ESTACIONES DE MUESTREO EN EL RÍO LERMA, EDO. DE MEXICO.

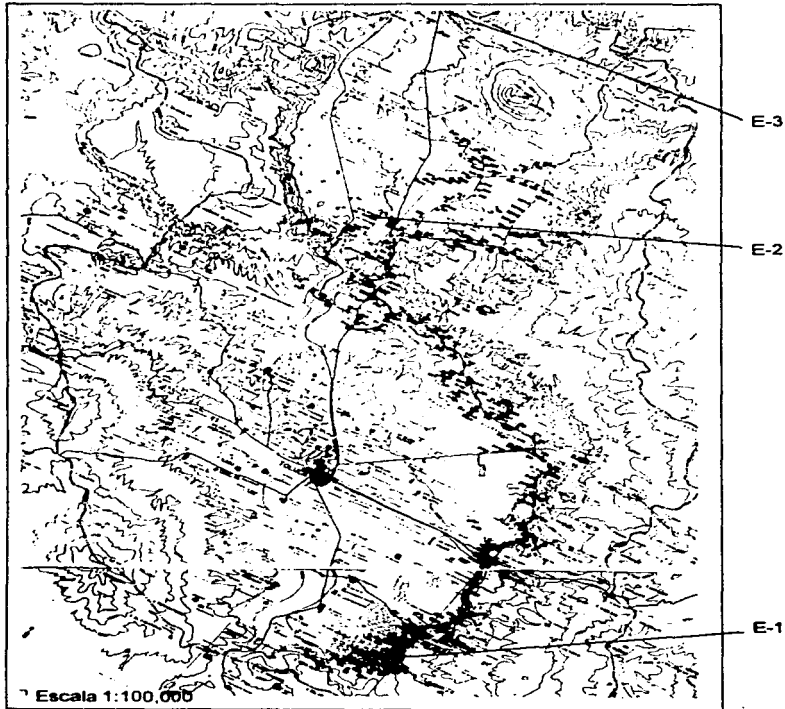


FIGURA 3. ESCALA DE CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA. VALORES DE 1989-1995 DE LAS ESTACIONES DEL RIO LERMA.

100	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	A C E P T A B L E	A C E P T A B L E
90	Ligera purificación		Ligera purificación para algunos procesos			
80						
70	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendable	Excepto especies sencibles Dudoso especies sencibles	Sin tratamiento para la industria normal		
60						
50						
40	Dudoso	Dudoso contacto con agua	Solo organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria		
30		Sin contacto con agua				
20	NO ACEPTABLE	Señal de contaminación	NO ACEPTABLE	Uso muy restringido	Contaminado.	
10		NO ACEPTABLE		NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	
0						NO ACEPTABLE
	Abastecimiento público	Recreación	Pesca y vida acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados

E-2

ICA, 1997

NOTA: E-1 = Estación 1; E-2 = Estación 2 y E-3 = Estación 3

FIGURA 4 . ESCALA DE CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE 1995 A 1996 EN LAS ESTACIONES DEL RIO LERMA

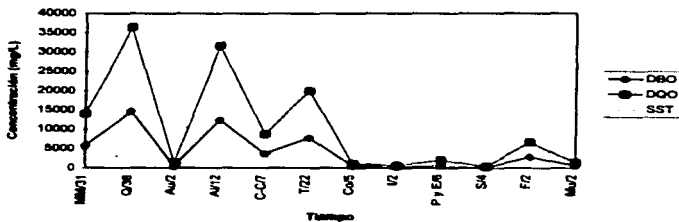
100	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	A C E P T A B L E	A C E P T A B L E		
90	Ligera purificación			Ligera purificación para algunos procesos				
80	Mayor necesidad de tratamiento	Excepto especies sensibles Dudoso especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal					
70			Aceptable no recomendable					
60			Dudoso	Dudoso contacto con agua			Solo organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria
50	Dudoso	Sin contacto con agua	Señal de contaminación	NO ACEPTABLE			Contaminado	E-1
40								
30	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE			NO ACEPTABLE	E-3
20	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE			NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE
10	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE			NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE
0	Abastecimiento público	Recreación	Pesca y vida acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados		

ICA, 1997

NOTA: E-1 = Estación 1; E-2 = Estación 2 y E-3 = Estación 3

APÉNDICE (GRAFICAS)

Gráfica 1. Parámetros físico-químicos a la entrada de la planta de tratamiento EPCCA

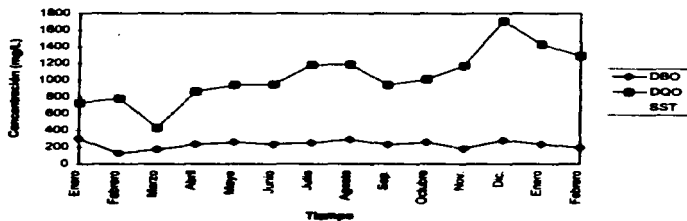


SIGNIFICADO DE SIGLAS DE LOS GIROS INDUSTRIALES

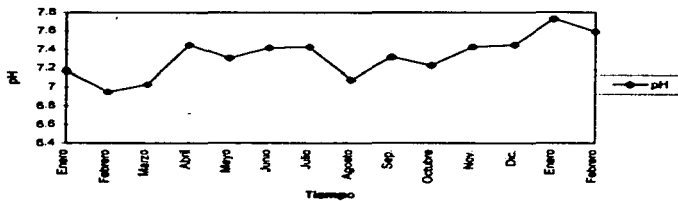
MM = Metal mecánica	T = Textil	F = Farmacéutica
Q = Químico	Co = Construcción	Mu = Muebles
Au = Automotriz	I = Impresión	
Al = Alimenticia	P y E = Plásticos y envases	
C-C = Curtiduría-Calzado	S = Servicio	

NOTA: El número significa la cantidad de Industrias que presentan ese giro.

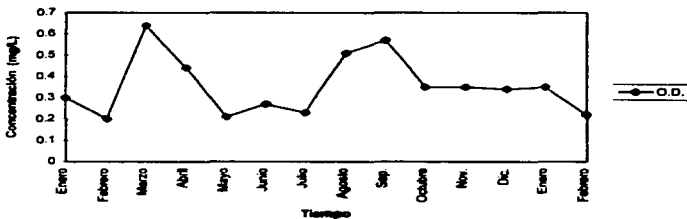
Gráfica 2. Parámetros físico-químicos a la salida de la planta de tratamiento EPCCA



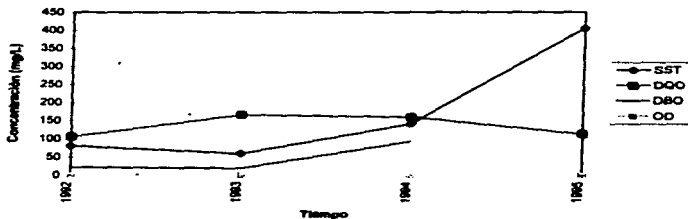
Gráfica 3. Valor de pH a la salida de la planta de tratamiento EPCCA



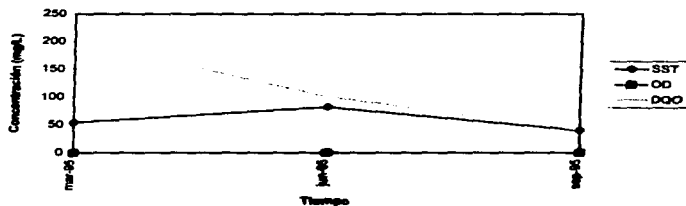
Gráfica 4. Oxígeno disuelto a la salida de la planta de tratamiento EPCCA



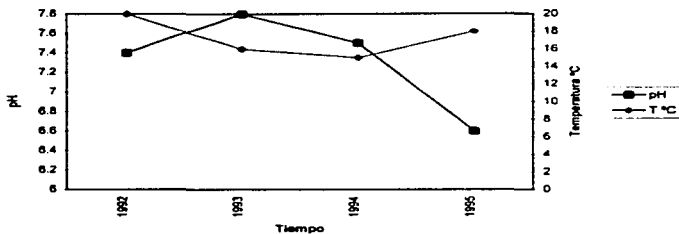
Gráfica 5. Valores anuales de SST, DQO, DBO y OD en la estación uno, en el río Lerma.



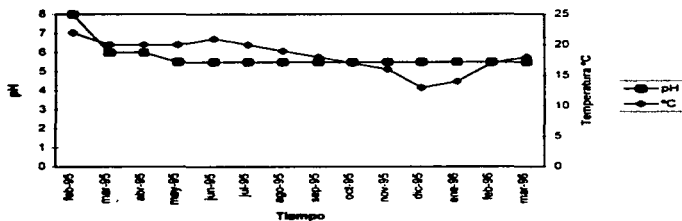
Gráfica 6. Valores mensuales de SST, DQO y OD en la estación uno, en el río Lerma.



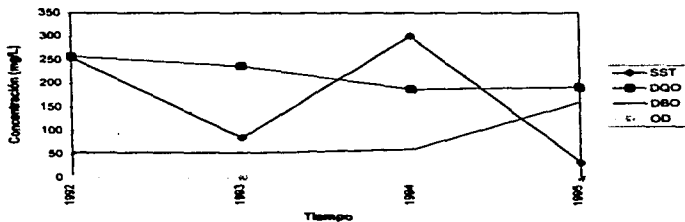
Gráfica 7 . Valores anuales de pH y Tiempo de la estación uno, en Lerma-Toluca.



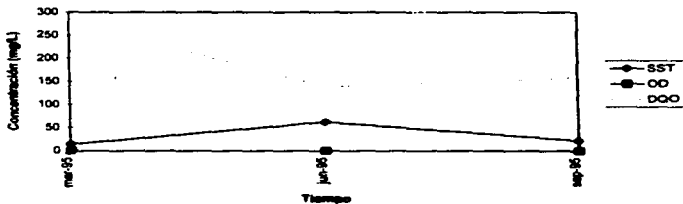
Gráfica 8. Valores mensuales de pH y Temperatura de la estación uno, en Lerma-Toluca.



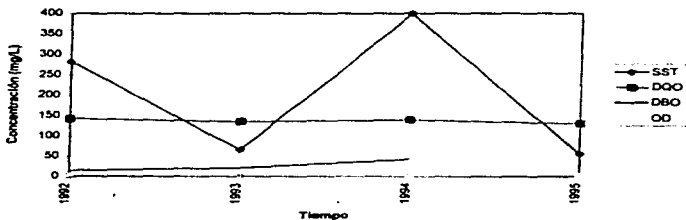
Gráfica 9. Valores anuales de SST, DQO y OD en la estación dos, en el río Lerma.



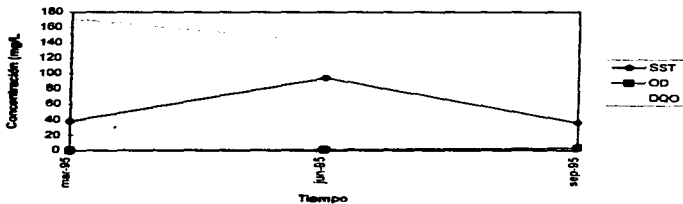
Gráfica 10. Valores mensuales de SST, DQO y OD en la estación dos, en el río Lerma.



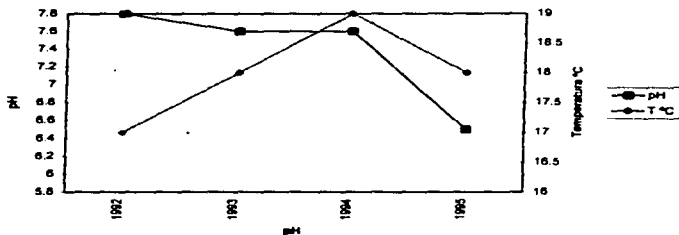
Gráfica 13. Valores anuales de SST, DQO y OD en la estación tres, en el río Lerma.



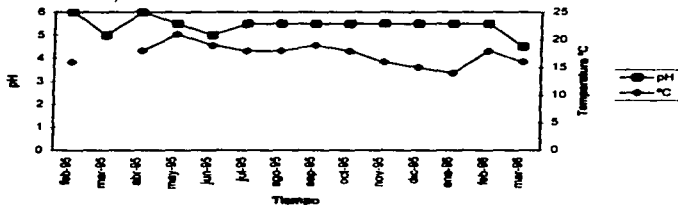
Gráfica 14. Valores mensuales de SST, DQO y OD en la estación tres, en el río Lerma.



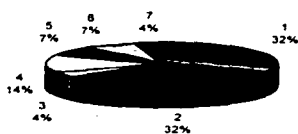
Gráfica 15. Valores anuales de pH y Tiempo de la estación tres, en Lerma-Toluca.



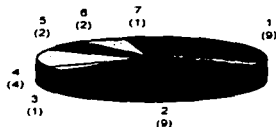
Gráfica 16. Valores mensuales de pH y Temperatura en la estación tres, en Lerma-Toluca.



Gráfica 17. Porcentaje de las clases.



Gráfica 18. Número de especies presentes en las clases.



ANOTACIONES

1 = Cyanophyceae

2 = Chlorophyceae

3 = Chrysophyceae

4 = Euglenophyceae

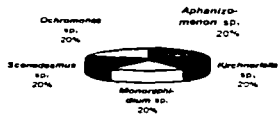
5 = Coscinodiscophyceae

6 = Fragilariophyceae

7 = Bacillariophyceae

Gráfica 19. Análisis Cualitativo de la ficoflora de la estación uno, en Lerma-Toluca.

Análisis cualitativo del mes de agosto/95



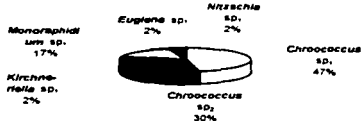
Análisis cualitativo del mes de septiembre/95



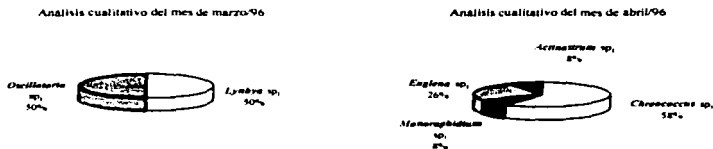
Análisis cualitativo del mes de diciembre/95



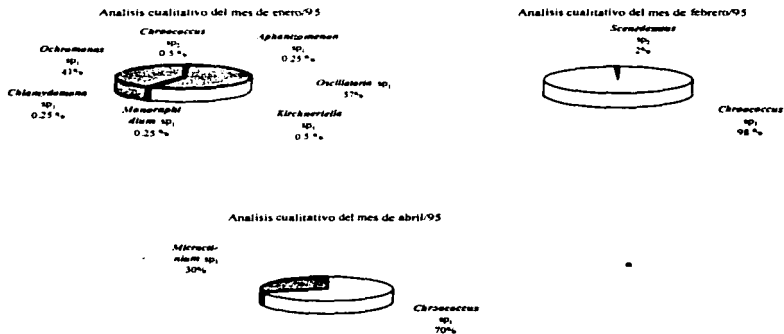
Análisis cualitativo del mes de febrero/96



Gráfica 19. Análisis Cualitativo de la ficoflora de la estación uno, en Lerma-Toluca.



Gráfica 20. Análisis Cualitativo de la ficoflora de la estación dos, en Lerma-Toluca.



Gráfica 21. Análisis Cualitativo de la ficoflora de la estación tres, en los meses donde domino mas de una especie, en Lerma-Toluca.

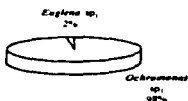
Análisis cualitativo del mes de julio'95



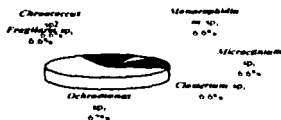
Análisis cualitativo del mes de noviembre'95



Análisis cualitativo del mes de diciembre'95



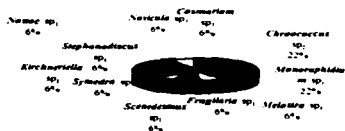
Análisis cualitativo del mes de enero'96



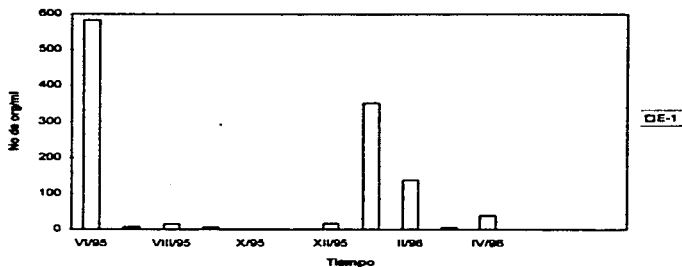
Análisis cualitativo del mes de febrero'96



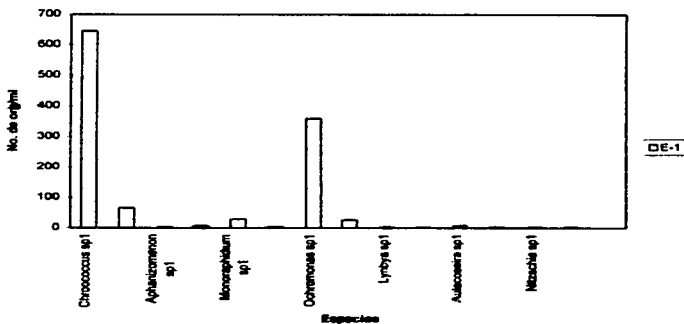
Análisis cualitativo del mes de abril'96



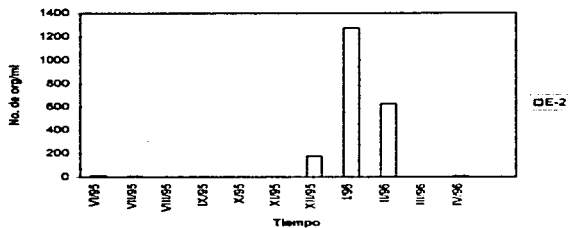
Gráfica 22. Análisis cuantitativo en la estación uno, durante el tiempo de muestreo en el río Lerma, Toluca.



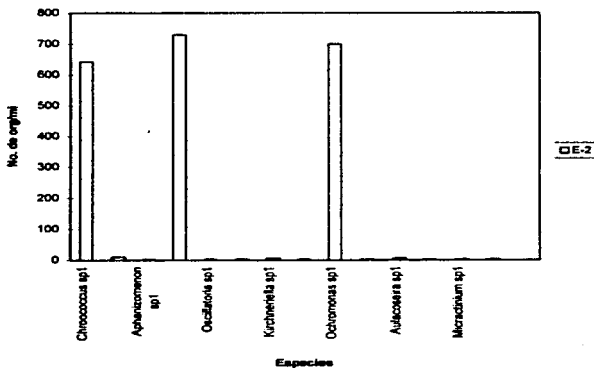
Gráfica 23. Análisis cuantitativo de la fitoflora de la estación uno en el río Lerma.



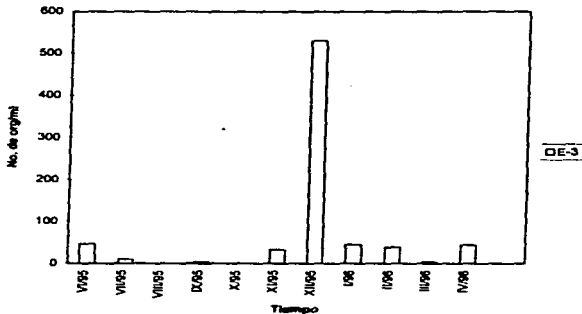
Gráfica 24. Análisis cuantitativo en la estación dos, durante el tiempo de muestreo en el río Lerma, Toluca.



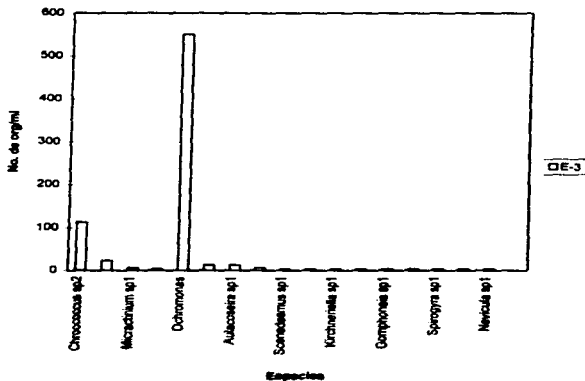
Gráfica 25. Análisis cuantitativo de la ficoflora de la estación dos en el río Lerma.



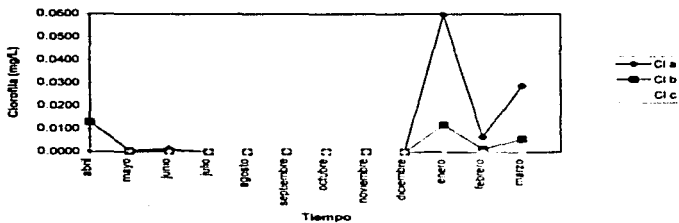
Gráfica 26. Análisis cuantitativo en la estación tres, durante el tiempo de muestreo en el río Lerma, Toluca.



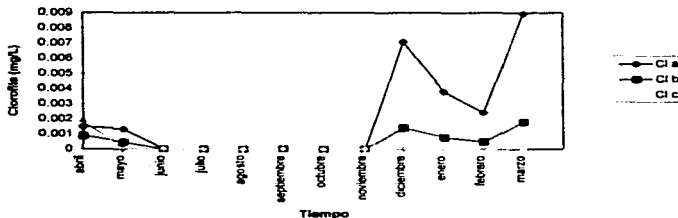
Gráfica 27. Análisis cuantitativo de la fitoflora de la estación tres, en el río Lerma.



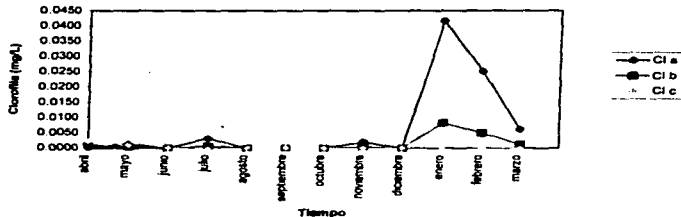
Gráfica 28. Valores de clorofila a, b y c por la técnica de metanol, en la estación uno en el río Lerma, de 1995 a 1996.



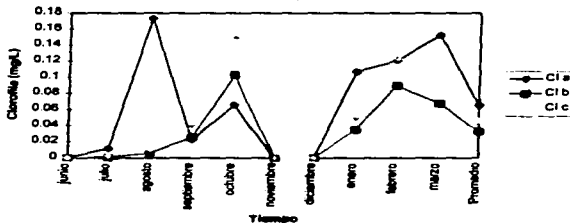
Gráfica 29. Valores de clorofila a, b y c por la técnica de metanol, en la estación dos en el río Lerma, de 1995 a 1996.



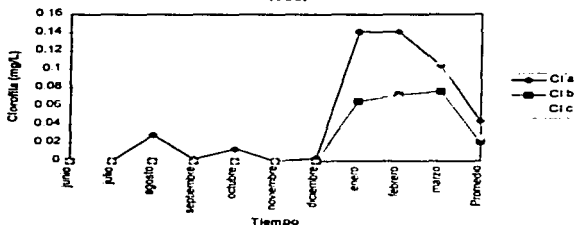
Gráfica 30. Valores de clorofila a, b y c por la técnica de metanol, en la estación tres en el río Lerma, de 1995 a 1996.



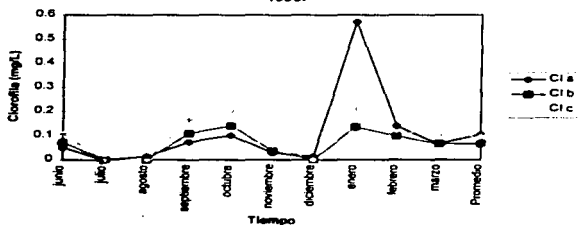
Gráfica 31. Valores de clorofila a, b y c por la técnica de acetona, en la estación uno en el río Lerma, de 1995 a 1996.



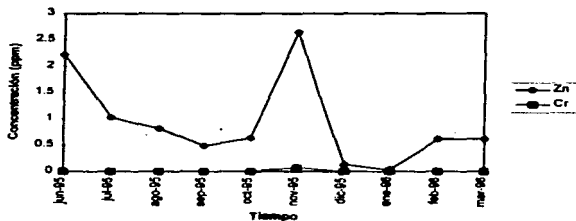
Gráfica 32. Valores de clorofila a, b y c por la técnica de acetona, en la estación dos en el río Lerma, de 1995 a 1996.



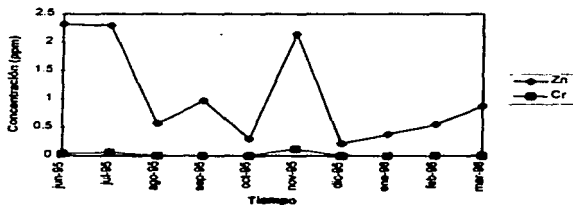
Gráfica 33. Valores de clorofila a, b y c por la técnica de acetona, en la estación tres en el río Lerma, de 1995 a 1996.



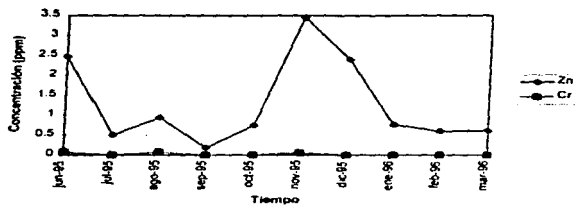
Gráfica 34. Valores de los metales Cr y Zn en la estación uno del río Lerma, Toluca.



Gráfica 35. Valores de los metales Cr y Zn en la estación dos del río Lerma, Toluca.



Grafica 36. Valores de los metales Cr y Zn en la estación tres del río Lerma, Toluca.



APÉNDICE (TABLAS)

Tabla 1. Efectos en la concentración de clorofila ocasionada por los metales Cu, Zn, Pb y Cd.

METAL	CONCENTRACIÓN	EFFECTOS	ORGANISMOS AFECTADOS	REFERENCIAS
Cu	1.5-0.20 mg l ⁻¹ 0.8 mg l ⁻¹	50% de reducción en la fotosíntesis Inhibe severamente la fotosíntesis y la respiración	Comunidad natural <i>Lynbya nigra</i>	Kallqvist et al., 1978 Grupta et al., 1978
Zn	-----	Dependiendo de las concentraciones puede elevar o disminuir la concentración de clorofila	Comunidad natural	Rane et al., 1971 Whitton, 1984, Rai et al., 1981
Pb	0.5 mg volátil	83% de disminución en la fotosíntesis	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	Silverberg et al., 1977
Cd	-----	Inhibe la fotosíntesis	Ambiente natural	Stratton op cit

Tabla 2a. Parámetros físico-químicos a la entrada de la Planta de tratamiento E.P.C.C.A. Monitoreo 1995.

Tipo y número de industrias	DBO ppm	DQO ppm	SST ppm
Metal mecánica/31	5822	14082	2778
Química/ 36	14730	36498	4390
Automotriz/ 2	493	1265	267
Alimenticia/ 12	12457	31697	7286
Curtiduría-calzado/ 7	3656	8750	2019
Textil/ 22	7732	19983	2750
Construcción/ 5	515	1053	416
	259	588	293
Plásticos y envases/ 6	779	2013	849
Servicios/ 4	123	306	82
Farmacéutica/ 2	2788	6822	156
Muebles/ 2	567	1304	149
7/1	171	278	113
Suma	50090	124439	21548

Tabla 2b. Metales pesados a la entrada de la Planta de tratamiento E.P.C.C.A. Monitoreo 1995.

Giro	Vol. L/s	Niquel mg/L	Cobre mg/L	Plomo mg/L	Cromo mg/L	Hierro mg/L
Metal-mecánica	21.8	0.8	1.9	2.2	1.9	21.2
Automotriz	16.	0.1	0.1	0.2	0.02	2.4
Químico	8.7	12.9	5.5	0.3	2.1	14.6
Curtiduría-calzado	1.6	0.3	0.3	1.1	2.7	6.6
Suma	48.6	14.1	7.8	3.8	6.8	44.8

Tabla 3. Criterios ecológicos y normas establecidos para la protección de la vida acuática (SEDUE 1989).

Parámetros	Criterios permisibles	Referencia
Temperatura	C.N. (+ 2.5 °C)	SARH. (1975)
pH	6.5 - 9.0	Arrignon. (1979)
Sólidos suspendidos	25 mg/L	Mc Neely. (1979)
O.D.	4 mg/L	Mc Neely. (1979)
DBO ₅	6 mg/L	Arrignon. (1979)
DQO	6 mg/L	Arrignon. (1979)
Cr total	0.001 mg/L	Mc Neely. (1979)
Pb	0.03 mg/L	Mc Neely. (1979)
Zn	0.03 mg/L	Mc Neely. (1979)

Tabla 4a. Oxígeno disuelto a la salida de la planta de tratamiento E.P.C.C.A.

Mes	Concentración de oxígeno disuelto (mg/l)
Enero/95	0.3
Febrero/95	0.2
Marzo/95	0.6
Abril/95	0.4
Mayo/95	0.2
Junio/95	0.3
Julio/95	0.2
Agosto/95	0.5
Septiembre/95	0.6
Octubre/95	0.4
Noviembre/95	0.3
Diciembre/95	0.3
Enero/96	0.3
Febrero/96	0.3
Marzo/96	0.2
Promedio	0.4

Tabla 4b. Parámetros físico-químicos a la salida de la planta de tratamiento E.P.C.C.A.

Mes	DBO mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	G y A mg/l	pH	Fenoles mg/l	Color mes NMP	SAAM mg/l
Enero	303	729	94	7	7.17	0.01		1
Febrero	128	781	41	6	6.95	0.002	1100	1
Marzo	174	431	90	11	7.03	0.02		1
Abril	233	866	110	6	7.45	0.02		1.8
Mayo	258	942	134	5	7.31	0.03		1.12
Junio	234	951	129	7	7.42	0.05		-
Julio	252	1186	168	9	7.43	0.01		1.51
Agosto	291	1188	180	9	7.06	0.05		2.21
Sep.	231	945	165	7	7.32	0.03		1.84
Octubre	257	1012	168	9	7.23	0.01		1.45
Nov.	183	1174	216	10	7.43	0.01		1.63
Dic.	280	1709	367	22	7.45	0.02		0.85
Enero	235	1429	434	25	7.73	0.02		2.05
Febrero	195	1290	424	23	7.59	0.01		1.86
Promedio	232	1045	194	11	7.33	0.02		1.49
*Norma	40	**	40	10	6-9	1.00	1000	**

* Según oficio 192 de fecha 18 de oct. De 1977 de la SARH

** No están en las condiciones particulares

Tabla 4c. Metales pesados a la salida de la planta de tratamiento E.P.C.C.A.

Mes	Cu ppm	Cr ppm	+6 ppm	Pb ppm	Ba ppm	Cd ppm	Hg ppm	As ppm	Se ppm	B ppm
Enero	0.047	0.001	0.18	1.08	<0.01	0.011	0.051	<0.001	0.72	
Febrero	0.017	0.001	0.14	<0.05	<0.01	0.002	0.036	0.04	0.84	
Marzo	0.017	<0.001	0.14	<0.5	<0.01	0.002	0.036	0.04	0.84	
Abril	0.027	<0.001	0.155	0.69	<0.01	0.005	0.041	0.03	0.80	
Mayo	0.027	<0.001	0.155	0.69	<0.01	0.005	0.041	0.03	0.80	
Junio	0.027	<0.001	0.155	0.69	<0.01	0.005	0.041	0.03	0.80	
Julio	0.027	<0.001	0.155	0.69	<0.01	0.005	0.041	0.03	0.80	
Agosto	0.027	<0.001	0.155	0.69	<0.01	0.005	0.041	0.03	0.80	
Sep.	0.027	<0.001	0.155	0.69	<0.01	0.005	0.041	0.03	0.80	
Octubre	0.050	0.330	N.D	N.D	0.015	0.010	N.D	0.00	0.02	
Nov.	0.029	0.034	0.139	0.52	0.011	0.006	0.037	0.02	0.72	
Dic.	0.029	0.034	0.139	0.52	0.011	0.006	0.037	0.02	0.72	
Enero	0.045	0.016	0.091	0.23	0.016	0.003	0.014	0.008	0.49	
Febrero	0.045	0.016	0.091	0.23	0.016	0.003	0.014	0.008	0.49	
Promedio	0.0315	0.03136	0.14231	0.5592	0.01136	0.0052	0.03315	0.0226	0.688623	
*Norma	1.00	5.00	5.00	5.00	0.005	0.01	5.00	0.05	2.00	

Tabla 5. Valores anuales de O.D. (mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma.

AÑO	PTE. MÉXICO-TOLUCA	PTE. CARR. TOLUCA-TEMOAYA	PTE. CARR. TOLUCA-PALMILOS
1989	0.43	0.10	0.10
1990	1.02	0.78	1.21
1991	0.10	0.10	0.38
1992	0.10	0.10	1.55
1993	0.10	0.10	0.22
1994	0.10	0.10	0.30
1995	0.07	0.07	1.57
Promedio	0.27	0.19	0.76

Tabla 6. Valores mensuales de O.D. (mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma.

MES	LERMA DE VILLADA (Pte. Carr. México-Toluca)	CARR. IXTLAHUACA DE RAYON (T.T.) (Pte. Carr. Toluca-Temoaya)	CARR. ATLACOMULCO (Pte. Carr. Toluca-Palmillos)
Nov/94	0.10	0.10	0.10
Marzo/95	0	0	0.35
Junio/95	0.21	0	1.17
Septiembre/95	0	0.20	3.20
Noviembre/95	0	5.07	7.10
Diciembre/95	0	1.83	3.04
Febrero/96	0	5.80	5.80
Promedio	0.04	1.83	2.97

Tabla 7. Valores anuales de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1992- 95

AÑO	PTE. MÉXICO-TOLUCA	PTE. CARR. TOLUCA-TEMOAYA	PTE. CARR. TOLUCA-PALMILOS
1992	106.47	256.05	143.00
1993	165.92	237.02	135.02
1994	160.34	188.33	139.47
1995	114.00	192.53	130.33
Promedio	136.68	218.99	136.95

Tabla 8. Valores mensuales de DQO (mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1994- 95

MES	LERMA DE VILLADA (Pte. Carr. México-Toluca)	CARR. IXTLAHUACA DE RAYON (T.T.) Pte. Carr. Toluca-Temoaya)	CARR. ATLACOMULCO (Pte. Carr. Toluca-Palmillos)
Nov/94	86.40	192.00	115.00
Marzo/95	201.00	281.00	171.00
Junio/95	101.00	138.61	141.00
Septiembre/95	40.00	158.00	79.00
Promedio	107.10	192.40	126.50

Tabla 9. Valores anuales de DBO₅(mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1989-95.

AÑO	PTE. MÉXICO-TOLUCA	PTE. CARR. TOLUCA-TEMOAYA	PTE. CARR. TOLUCA-PALMILOS
1989	24.67	60.90	39.51
1990	13.86	65.35	286.84
1991	62.36	121.77	67.21
1992	22.14	53.71	14.77
1993	18.97	52.52	20.56
1994	93.89	60.15	42.38
1995	-----	161.00	-----
Promedio	39.28	82.19	78.71

Tabla 10. Valores anuales de Sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1992-95.

AÑO	PTE. MÉXICO-TOLUCA	PTE. CARR. TOLUCA-TEMOAYA	PTE. CARR. TOLUCA-PALMILOS
1992	80.67	255.50	282.75
1993	59.33	84.87	68.00
1994	142.00	300.83	399.50
1995	405.67	32.67	58.00
Promedio	171.92	168.42	201.06

Tabla 11. Valores mensuales de Sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1995

MES	LERMA DE VILLADA (Pte Carr. México-Toluca)	CARR. IXTLAHUACA DE RAYON (T.T.) Pte. Carr. Toluca-Temoaya)	CARR. ATLAGOMULCO (Pte. Carr. Toluca-Palmillos)
Nov/94	42.00	375.00	18.00
Marzo/95	54.00	14.00	38.00
Junio/95	82.00	63.00	94.00
Septiembre/95	40.00	22.00	36.00
Promedio	54.50	118.25	46.50

Tabla 12. Valores anuales de pH de las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1989-96.

AÑO	PTE. MÉXICO-TOLUCA	PTE. CARR. TOLUCA-TEMOAYA	PTE. CARR. TOLUCA-PALMILOS
1989	7.37	7.07	7.40
1990	6.91	7.00	6.94
1991	7.17	7.15	7.30
1992	7.45	7.55	7.80
1993	7.80	7.70	7.60
1994	7.47	7.60	7.62
1995	6.57	6.50	6.47
enero a marzo de 1996	5.50	5.50	5.17
Promedio	7.03	7.01	7.04

Tabla 13. Valores mensuales de pH en las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1995 -96.

MES	LERMA DE VILLADA	CARR. IXTLAHUACA DE RAYON (T.T.)	CARR. ATLAGOMULCO
Febrero/95	8	5	6
Marzo/95	6	---	---
Abril/95	6	6	6
Mayo/95	5.5	5.5	5.5
Junio/95	5.5	5.5	5
Julio/95	5.5	5	5.5
Agosto/95	5.5	5.5	5.5
Septiembre/95	5.5	5.5	5.5
Octubre/95	5.5	5.5	5.5
Noviembre/95	5.5	5.5	5.5
Diciembre/95	5.5	5.5	5.5
Enero/96	5.5	5.5	5.5
Febrero/96	5.5	5.5	5.5
Marzo/96	5.5	5.5	4.5
Promedio	5.75	5.5	5.5

Tabla 14. Valores anuales de Temperatura de las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1989-96.

AÑO	PTE. MÉXICO-TOLUCA	PTE. CARR. TOLUCA-TEMOAYA	PTE. CARR. TOLUCA-PALMILLOS
1989	14.67	15.33	15.00
1990	16.50	18.20	19.00
1991	14.50	13.50	14.50
1992	20.00	19.00	17.00
1993	15.67	16.00	17.66
1994	15.33	19.00	19.33
1995	17.86	18.26	17.90
enero a marzo de 1996	16.30	18.30	16.00
Promedio	16.35	17.19	17.05

Tabla 15. Valores mensuales de Temperatura de las estaciones de muestreo en el río Lerma de 1995-96

MES	LERMA DE VILLADA	CARR. IXTLAHUACA DE RAYON (T.T.)	CARR. ATLACOMULCO
Febrero/95	22	15	16
Marzo/95	20	—	—
Abril/95	20	18	18
Mayo/95	20	20	21
Junio/95	21	19	19
Julio/95	20	18	18
Agosto/95	19	18	18
Septiembre/95	18	21	19
Octubre/95	17	19	18
Noviembre/95	16	18	16
Diciembre/95	13	16	15
Enero/96	14	16	14
Febrero/96	17	19	18
Marzo/96	18	20	16
Promedio	18	18	17

Tabla 16 . Valores mensuales de Profundidad en el río Lerma

Año	Mes	Estación 1	Estación 3
1995	junio	—	30.0 m
	julio	24.00 m	37.5 m
	agosto	26.00 m	27.00 m
	sep	—	21.00 m
	oct	22.00 m	20.00 m
1996	nov	22.00 m	26.00 m
	dic	19.00 m	14.00 m
	enero	19.00 m	14.00 m
	feb	18.00 m	18.00 m
Promedio	marzo	18.00 m	20.00 m
		21.00	22.75

TABLA 17. Análisis cualitativo (en %), de la fitoflora de la Estación 1 (Lerma de Villada, Cerr. México-Toluca) del río Lerma, Edo. de México.

Especie	Análisis cualitativo (%) por mes										
	VII/95	VIII/95	VIII/95	IX/95	X/95	XI/95	XII/95	I/96	II/96	III/96	IV/96
<i>Characoccus</i> sp.	100	0	0	0	0	0	19	0	46	0	58
<i>Characoccus</i> sp.	0	0	20	0	0	0	0	0	30	0	0
<i>Aphanizomenon</i> sp.	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	20	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Spirulina</i> sp.	0	0	20	0	0	0	0	0	16	0	8
<i>Scenedesmus</i> sp.	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cochranella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	19	100	0	0	26
<i>Lyngbya</i> sp.	0	0	0	50	0	0	62	0	2	0	0
<i>Lyngbya</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Aphanizomenon</i> sp.	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nostoc</i> sp.	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nostoc</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	50	0
Total	100	100	100	100	0	0	100	100	100	100	100

TABLA 20. Análisis cuantitativo (No de org/ml), de la ficoflora de la Estación 1 (Lerma de Villada, Carr. México-Toluca) del río Lerma, Edo. de México.

Especie	Análisis cuantitativo (org/ml), por mes											
	VI/95	VII/95	VIII/95	IX/95	X/95	XI/95	XII/95	I/96	II/96	III/96	IV/96	Total
<i>Chroococcus</i> sp.	583	0	0	0	0	0	3	0	63	0	23	672
<i>Chroococcus</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	40	0	0	43
<i>Aphanizomenon</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Kirchneriella</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	6
<i>Monoraphidium</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	23	0	3	29
<i>Scenedesmus</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Ochromonas</i> sp.	0	0	0	0	0	0	3	353	0	0	10	366
<i>Euglena</i> sp.	0	0	0	3	0	0	10	0	3	0	0	16
<i>Lyngbya</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
<i>Actinastrum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Melosira</i> sp.	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
<i>Nitzschia</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Nitzschia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	6
Total	583	7	15	6	0	0	16	353	138	6	30	1183

TABLA 21. Análisis cuantitativo (No de org/ml), de la ficoflora de la Estación 2 (Carr. A Ixtlahuaca de Rayón, Pte. Carr. Toluca-Temoaya) del río Lerma, Edo. de México.

Especie	Análisis cuantitativo (org/ml), por mes											
	VI/95	VII/95	VIII/95	IX/95	X/95	XI/95	XII/95	I/96	II/96	III/96	IV/96	Total
<i>Chroococcus</i> sp.	13	0	0	0	0	0	0	0	630	0	0	643
<i>Chroococcus</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7	14
<i>Aphanizomenon</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	730	0	0	0	730
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Kirchneriella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7
<i>Monoraphidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Ochromonas</i> sp.	0	0	0	0	0	0	177	523	0	0	0	700
<i>Euglena</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Aulacoseira</i> sp.	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
<i>Raphidolepis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
<i>Microcystium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Scenedesmus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
Total	13	7	0	3	0	0	177	1279	633	3	10	2125

TABLA 22. Análisis cuantitativo (No. de org/ml), de la fitoflora de la Estación 3 (Atzacomulco, Pte. Carr. Toluca-Palmillas) del río Lerma, Edo. de México

Especie	Análisis cuantitativo (org/ml.) por mes										
	VII/95	VIII/95	IX/95	X/95	XI/95	XII/95	I/96	II/96	III/96	IV/96	Total
<i>Chroococcus</i> sp.	47	0	0	0	0	30	0	3	23	0	113
<i>Spirorhynchium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	10	0	23
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	6
<i>Closterium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
<i>Ochromonas</i> sp.	0	0	0	0	0	0	520	30	0	0	550
<i>Euglena</i> sp.	0	0	0	3	0	0	10	0	0	0	13
<i>Asterionella</i> sp.	0	7	0	0	0	0	0	0	3	0	13
<i>Fragilaria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
<i>Scenedesmus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9
<i>Synedra</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Kuetzingella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Stephanodiscus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Gomphonema</i> sp.	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Gomphosphaera</i> sp.	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
<i>Epiplatys</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
<i>Nostoc</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Cocconeis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<i>Nitzschia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Total	47	10	0	3	0	33	530	45	39	3	757

Tabla 23. Determinación mensual de clorofila (mg/l) por la técnica de metanol en la estación uno (Lerma de Villada) Lerma-Toluca de abril de 1995 a marzo de 1996.

MES	Cl a	Cl b	Cl c
abril	0.0130	0.0130	0.0004
mayo	0.0006	0.0003	0.0005
junio	0.0013	0.0003	0
julio	0	0	0
agosto	0	0	0
septiembre	0	0	0
octubre	0	0	0
noviembre	0	0	0
diciembre	0	0	0
enero	0.0597	0.0119	0.0007
febrero	0.0066	0.0013	0
marzo	0.0289	0.0058	0.0002
Promedio	0.0092	0.0027	0.0002

Tabla 24. Determinación mensual de clorofila (mg/l) por la técnica de metanol en la estación dos (Carr. A Ixtlahuaca de Rayón) Lerma-Toluca de abril 1995 a marzo de 1996

MES	Ci a	Ci b	Ci c
abril	0.0015	0.0009	0.0018
mayo	0.0013	0.0005	0
junio	0	0	0
julio	0	0	0
agosto	0	0	0
septiembre	0	0	0
octubre	0	0	0
noviembre	0	0	0
diciembre	0.0071	0.0014	0
enero	0.0038	0.0008	0
febrero	0.0024	0.0005	0
marzo	0.0089	0.0018	0
Promedio	0.0021	0.0005	0.0002

Tabla 25. Determinación mensual de clorofilam (mg/l) por la técnica de metanol en la estación tres (Atzacmulco) Lerma-Toluca de abril de 1995 a marzo de 1996.

MES	Ci a	Ci b	Ci c
abril	0.0002	0.0009	0.0021
mayo	0.0014	0.0005	0.0009
junio	0	0	0
julio	0	0.0007	0
agosto	0	0	0
septiembre	0	0	0
octubre	0	0	0
noviembre	0.0020	0.0004	0
diciembre	0	0	0
enero	0.0417	0.0083	0.0004
febrero	0.0252	0.0050	0.0002
marzo	0.0063	0.0013	0
Promedio	0.0064	0.0014	0.0003

Tabla 26. Determinación mensual de clorofila por la técnica de acetona (mg/l) al 90% en la estación uno (Lerma de Villada) Lerma-Toluca de abril de 1995 a marzo de 1996.

MES	Cl a	Cl b	Cl c
junio	0	0	0
julio	0.0118	0.0006	0.0022
agosto	0.1732	0.0059	0.0099
septiembre	0.0232	0.0256	0.0400
octubre	0.0656	0.1032	0.1485
noviembre	0	0	0
diciembre	0	0	0
enero	0.1072	0.0351	0.0489
febrero	0.1211	0.0901	0.1227
marzo	0.1527	0.0681	0.0922
Promedio	0.0655	0.0329	0.0464

Tabla 27. Determinación anual de clorofila (mg/l) por la técnica de acetona al 90% en la estación dos (Carr. A Ixtlahuaca de Rayón) Lerma-Toluca de abril de 1995 a marzo de 1996.

MES	Cl a	Cl b	Cl c
junio	0	0	0
julio	0	0	0
agosto	0.0284	0	0
septiembre	0.0026	0	0
octubre	0.0134	0	0
noviembre	0	0	0
diciembre	0.0031	0	0
enero	0.1413	0.0651	0.0741
febrero	0.1410	0.0724	0.0899
marzo	0.1041	0.0760	0.1075
Promedio	0.0434	0.0213	0.0251

Tabla 28. Determinación mensual de clorofila (mg/l) por la técnica de acetona al 90% en la estación tres (Atlacmulco) Lerma-Toluca de abril de 1995 a marzo de 1996

MES	Cl a	Cl b	Cl c
junio	0.0513	0.0725	0.1082
julio	0	0	0
agosto	0.0146	0	
septiembre	0.0730	0.1092	0.1631
octubre	0.1008	0.1404	0.2025
noviembre	0.0279	0.0359	0.0567
diciembre	0.0125	0	0
enero	0.5711	0.1356	0.2077
febrero	0.1391	0.0984	0.1166
marzo	0.0658	0.0661	0.1031
Promedio	0.1056	0.0658	0.0958

Tabla 29. Metales pesados en material biológico en el Alto Lerma, de jun/95 a marzo/96.

MES	Zn ppm			Cr ppm		
	E-1	E-2	E-3	E-1	E-2	E-3
Jun./95	2.22	2.32	2.47	<0.04	0.04	0.07
Jul./95	1.03	2.3	0.5	<0.04	0.06	<0.04
Agos./95	0.82	0.57	0.94	<0.04	<0.04	0.07
Sep./95	0.49	0.98	0.18	<0.04	<0.04	<0.04
Oct./95	0.64	0.3	0.75	<0.04	<0.04	<0.04
Nov./95	2.65	2.15	3.48	0.07	0.12	0.06
Dic./95	0.13	0.22	2.4	<0.04	<0.04	<0.04
Ene./96	0.03	0.38	0.76	<0.04	<0.04	<0.04
Feb./96	0.62	0.55	0.6	<0.04	<0.04	<0.04
Marz./96	0.62	0.86	0.61	<0.04	<0.04	<0.04
Promedio	0.925	1.065	1.267	-	-	-

APÉNDICE DE TÉCNICAS SELECTAS

Método cuantitativo (de Cuento Microdiagonal o de Lackey 1967.

Con este tipo de análisis, se pueden obtener diversos datos tales como productividad, diversidad y abundancia, etc. Consiste esencialmente en el conteo de organismos por especies y se relaciona con el volumen de agua que los contiene.

El método de conteo microdiagonal o de lackey, es un método sencillo para obtener conteos de considerable precisión.

La muestra es homogenizada antes del análisis.

Se pipetea 0.1 ml de muestra, cuando la pipeta llegue a la mitad de la pipeta colocando el volumen de manera rápida en un portaobjetos, cubriéndolo con el cubreobjetos de 22 X 22 mm. Tener cuidado de no formar burbujas de aire antes de colocar el portaobjetos.

El método de conteo microdiagonal o de lackey se realizó 10 veces (hasta completar 1 ml). Con lo anterior se asegura la confiabilidad de los resultados.

Posteriormente se calcula el número de organismos por mililitro en su formula correspondiente.

CALCULOS

Método de conteo microdiagonal o de Lackey, 1967 para plancton.

$$No/ml = \frac{C \times At \text{ mm}^2}{As \text{ mm}^2 \times S \times V \text{ ml}}$$

donde:

At= Area del cubreobjetos en mm²

As = Area de una franja en mm²

C = Número de organismos contados

S = Número de franjas contadas

V = Volumen de la muestra debajo del cubreobjetos.

SUSTITUCION

$$No/ml = \frac{C \times 484 \text{ mm}^2}{161.3 \text{ mm}^2 \times \text{---} \times 0.1 \text{ ml}}$$

PRECAUCIONES

En principio se enfrenta el problema de como tomar a los organismos unicelulares y coloniales en un conteo, si como individuo o como colonia. Para ello, se empleo en el registro de datos del recuento el siguiente enfoque:

METODO ENUMERACION	DE	UNIDADES DE CONTEO	UNIDAD REGISTRO	DE
Cuenta celular total		Una célula	Cel/mi	
Cuenta de unidad natural (cuenta parcial)		Un organismo (cualquier organismo, unidad celular o colonia natural)	Unidades/mi	
Cuenta de unidades		400	Unidades/mi	

La técnica de clorofila modificada por Victorica (1992), se describe a continuación:

- "Se agita la muestra de agua para homogenizarla
- Eliminar de la muestra los organismos no fitoplanctónicos y el material en suspensión, haciéndola pasar a través de una malla con claro libre de 100 μ m.
- Hacer pasar 10 ml del filtrado anterior a través de un filtro de fibra de vidrio (GF/F) con abertura de poro de 0.45 μ m, colocado en un crisol de Gooch y aplicando vacío no mayor de 40 cm de Hg.
- Colocar el filtro cuidadosamente en un vaso de precipitado de 20 ml, adicionando 6 ml de metanol absoluto y tapar con papel parafilm.
- Calentar el vaso en baño maría a 60°C durante 10 min. Al término, dejar enfriar en la oscuridad durante 10 min (para ello cubrir el vaso totalmente con papel aluminio).
- Colocar un filtro GF/C en un embudo de filtración rápida, pasar cuantitativamente el contenido del vaso de precipitados y recibir el filtrado en una probeta de 15 ml.
- Lavar el filtro con 3 ml de metanol caliente y recibir el filtrado en la misma probeta.
- Adicionar metanol a la probeta hasta completar un volumen final de 10 ml.
- Vaciar una porción en una celda de cuarzo (con paso óptico de 4 cm) y medir la absorbancia de la solución, contra un testigo de reactivos".

Metales pesados

Las r amas son separadas mediante una red de planct on de N  20 con abertura de 76  . Los organismos son concentrados mediante una centrifuga a 2 100 g (3 200 rpm) duante 12 minutos.

Se tomaron 0.3 g de cada muestra, peso húmedo (para facilitar una rápida reacción con el ácido), previamente pesado en una balanza análitica y se colocan en vasos de precipitado de 50 ml, tapándose posteriormente con cajas de Petri.

Se digiere con 4 ml de HNO_3 a 65°C durante 15 minutos y 1 ml de HClO_4 cada 15 minutos durante media hora. Se deja enfriar y se añora a 25 ml con agua desionizada. Hasta aquí, todo el procedimiento se realiza en una campana de extracción. Se analiza en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Todo el material es previamente lavado con la secuencia:

Extr n--- agua de la llave --- mezcla cr mica --- agua desionizada,

como sugiere Hicks (1976), con el fin de eliminar residuos de metales, materia orgánica u otro material que contamine la muestra o interfiera en la determinación.

LITERATURA

APHA (American Public Health Association) 1992. *Standard methods for the examination of water and waste water*. Washington, D.C. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation.

Bourelly, P. 1981. *Les Algues d'eau douce. Initiation à la Systematique. Tome I. Les algues jaunes et brunes, Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomés*. De. N. Boubé et Cié. Paris, France. 512 p.

Bourelly, P. 1992. *Les Algues d'eau douce. Initiation à la Systematique. Tome II. Les algues vertes*. De. N. Boubé et Cié. Paris, France. 569 p.

Bueno, S.J.; Butze, L.A.J. & Márquez, M.C. 1981. Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol.*, 8(1): 175-182.

Cañizares, V.R.O.; & Casas, C.C. 1991. Cuaderno sobre biotecnología. *El papel de las microalgas en el tratamiento terciario de aguas residuales*. CINVESTAV-IPN. México. 36 p.

Cary, E.E. 1985. Electrothermal Atomic Absorption Spectroscopic Determination of Chromium in Plant Tissues: Intertaboratory Study *J. Assoc. Anal. Chem.*, 68 (3): 495-498.

CNA (Comisión Nacional del Agua) 1994. *Declaratoria de Clasificación del río Lerma que establece los parámetros y límites máximos permisibles de contaminantes por descargas de aguas residuales*. 8 p.

Décamps, H. & Naiman, R.J.. 1989. *La ecología de los ríos*. Mundo Científico, 9 (91): 470-479.

De Filippis, L.F. & Pallaghy, C.K. 1976. The effect of sublethal concentrations of mercury and zinc on *Chlorella* I. Growth characteristics and uptake of metal. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 78: 197-297.

De Filippis, L.F. 1979. The effect of sublethal concentrations of mercury and zinc on *Chlorella* II. The concentration of metal toxicity by selenium and sulphhydryl compounds. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 92: 39-49.

Duffus, 1983. *Toxicología ambiental*. Ed. Omega. Barcelona. 173p.

Edmonson, W.T. (Ed). 1959. *Freshwater biology*. New York, USA: John Wiley and Sons Pub. 1245 p.

Förstner, U. & Prosi, F. 1979. Heavy metal pollution in freshwater ecosystems. *In Biological Aspects of Freshwater Pollution* (In: O. Ravera), Pergamon Press, New York. 129-161 p.

García, C.J. 1985. *Utilización del plancton como herramienta para el conocimiento de la calidad del agua en la cuenca del Alto Amacuzac, Estado de Morelos*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 91 p.

García E. & Falcón, D.G., 1974. *Atlas: Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana*, 2ª. Ed. Porrúa, México. 196 p.

Gobierno del Estado de México, 1992. Informe Final. *Estudio de prefactibilidad de la gestión de los residuos peligrosos en los corredores industriales Toluca-Lerma y Ocoyoacac-Tianguistenco*. Volumen I.

Gross, R.E., Pungo, P. & Dugger, W.M. 1970. Observations on the mechanism of copper damage in *Chlorella*. *Plant Physiology*. 46: 183-185.

Guzman, A. M. & Merino, N.E 1992. *El Lago de Chapala*. Información básica. Universidad de Guadalajara, Instituto de Limnología. 14 p.

Grupta, A.B. & Arora, A. 1978. Morphology and physiology of *Lyngbya nigra* with reference to copper toxicity. *Physiologia Plantarum* 44, 215-220.

Hansen, H.A.M. 1991. Informe Técnico No SH-9101/06 (IMTA). *Estudios de Adsorción de Plomo, Cadmio, Zinc y Cromo en sedimentos del río Lerma y Lago de Chapala*. 24 p.

Hansen, H.A.M. 1992. Metales pesados en el sistema Lerma-Chapala: distribución y migración. *Ingeniería Hidráulica en México*. 98 p

Hart, T. B. 1982. Uptake of trace metals by sediments and suspended particulates - a review. *Hydrobiologia*., 91: 229-313.

Herrera, D. y Herrera T. 1954. Algunos Datos Ecológicos sobre la vegetación de Lerma. *Sociedad Botánica de México*., Bol. 13- 1951. 95p.

Hicks, G.E., 1976. *Variación estacional en las concentraciones de elementos metálicos en ostiones de la laguna de Términos, Campeche, México*. Tesis Profesional. Facultad de Química. UNAM. México. 50 p.

Hong-Kang W. & Wood, J.M. 1984. Bioaccumulation of nickel by algae. *Environ. Sci. Technol.* 18(2): 106-109.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) 1994. *Anuario Estadístico del Estado de México*. 427 p.

Jenkins, W.D. 1981. *Biological Monitoring of Toxic Trace Elements*. United States Environmental Protection Agency. EPA-00/S3-80-090. Project Summary. 1-10 p.

- Kallqvist, T. & Meadows, B.S. 1978. The toxic effect of copper on algae and rotifers from a soda lake (Lake Nakuru, East Africa). *Water Research* 12, 771.
- Kam-Plisen, L., 1971. The effect of deleterious concentrations of mercury on the photosynthesis and growth of *Chlorella pyrenoidosa*. *Plant Physiol.* 24: 556-561.
- Kumar, H.D.; Rai, L.C.; & Gaur, J.P. 1981. Phycology and heavy-metal pollution. *Rev.* 56: 99-151 p.
- Lackey, J.B. 1967. Aquatic biology and the water works engineer. In: U.S. Department of the Interior (Ed). *Biology of water Pollution. A collection of selected papers on stream pollution. Waste water treatment* (pp. 236-239). Ohio, USA. Federal Water Pollution Control Administration.
- Lind, O.T. & Davalos-Lind, L.O. 1994. Producción de peces basado en productividad primaria (Modelos). *Hydrobiol.* 79(1), 7-16 p.
- Mendellii, E.F., 1979. Contaminación por metales pesados. *Rev. Pacífico Sur.* 10: 209-228.
- Mendoza, G.A.C. 1973. *Estudio florístico fitológico estacional de la Laguna de Victoria o de Santiago Tilapa, Estado de México.* Tesis Profesional Esc. Nac. Ciencias Biol., IPN. México. 153 p.
- Mestre, E.L. & Austric, M.P. 1994. Integral approach water quality conservation in basins. *Int. L. Water Res.-dev.* 10(3): 277-290 p.
- Odum, E.P. 1972. *Ecología*. Ed. Omega.
- Ortega, M.N. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México.* UNAM. México. 2a. ed. 566 p.
- Parra, O.O.; Gonzalez, M; Dellarossa, V.; Rivera, P. & Orellana, M. 1982. *Manual Taxonómico del fitoplancton de aguas continentales.* Concepción. Chile. 99 p
- Prescott, G. 1970. *The freshwater algae.* Mc Brown Company Publishers. Printed in United States of America. 348 p.
- Rai, L.C., Gaur, J.P. & Kumar, H.D. 1981. Phycology and heavy metal pollution. *Biol. Rev.* 56: 99-151
- Rana, B.C., Gopal, T. & Kumar, H.D. 1971. Studies on the biological effects of Industrial wastes on the growth of algae. *Environ. Health.* 13: 138-143.
- Rioja, E. & Herrera, T.S. 1951. Ensayo Ecológico sobre el limnobia de Lerma y sus alrededores. *An. Inst. Biol. Mex.* XXII, 2. 565-591 p.

Rivin, R.B. 1979. Effects of lead on growth of the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Mar. Biol.* 50: 239-247.

Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. *The diatoms. Biology & Morphology of the genera*. Cambridge University Press. New York. 746 p.

Saenz, R.C. & Arenillas, P.M., 1987. *Guía física de los ríos de España*. Ed. Omega. España. : 9-19.

Say, P. J.; Díaz, B.M & Whitton, B.A., 1977. Influence of zinc on lotic plants. II. Environmental effects on toxicity of zinc to *Horridium rivulare*. *Freshwater Biol.* 7: 377-384.

SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) 1989. *Criterios Ecológicos*.

SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), 1995-2000. *Programa hidráulico*. México. 54 p.

Shioi, Y., Tamai, H. & Sasa, T., 1978. Inhibition of photosystem II in the green alga *Ankistrodesmus falcatus* by copper. *Physiologia Plantarum*. 44: 434-438.

Silverberg, B.A., Wong, P.T.S. & Chau, Y.K., 1977. Effect of tetramethyl lead on freshwater green algae. *Archives of Environ. Contam. Toxicol.* 5: 305-313.

Soto, G.E. & López, L.E. 1993. Diagnóstico de eutroficación del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México. *An. Inst. Ciencias Mar Limnol.* UNAM. 20(1): 33-42 p.

Smith, G.M., 1950. *The freshwater algae of the United States*. Mc Graw Hill Book Co. USA.

Stratton, G.W. & Corke, C.T., 1979. The effect of cadmium ion on the growth, photosynthesis, and nitrogenase activity of *Anabaena inaequalis*. *Chemosphere*. 5: 277-282.

Tamayo, J., 1948. *Datos para la Hidrología de la República Mexicana*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia: 87-119. México.

Vázquez, M.A. (1991). *El plancton dulceacuícola como indicador biológico de algunos metales pesados en el Lago Nabor Carrillo, Estado de México*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 113 p.

Verberg, F.J. & Verberg, W.B., 1974. *Pollution and physiology of marine organisms*. London, New York, San Francisco. Academic Press. 1-134 p.

Victorica, A.J. & Rojas, V.N.M. *Cuantificación de clorofila "a" fitoplanctonica por el método de AZOV (1992)*. Instituto de Ingeniería, UNAM.

Walker, Y., & Ferreira M.J. 1985. On the population dynamics and ecology of the shrimps species (*Crustacea, Decapoda, Natandia*) in the Central Amazonia River Taruma-Mirim. *Oecologia*, 66: 264-270.

Whitton, B.A., 1979. Plants as indicators of river water quality. In: C.A. James and L. Evison (Eds.). *Biological indicators of water quality*. 51-535 p. John Wiley and Sons Pub. USA.

Whitton, B.A., 1984. Algae as Ecological Indicators. In Whitton, B.A. (In.). *Algae as Monitors of Heavy Metals in Freshwater*. pp. 257-279. London. Ltd. Academic Press Inc.