

00377



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLOGICAS**

INSTITUTO DE ECOLOGIA

**Diagnóstico ambiental como base
para la rehabilitación de las Ciénegas
del Lerma, Estado de México**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLOGICAS**

(Biología Ambiental)

**P R E S E N T A
G U S T A V O P E R E Z O R T I Z**

DIRECTORA DE TESIS Dra. MARISA MAZARI HIRIART

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE 2005



0349940



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Comisión General de Bibliotecas de la UNAM
Contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: GUSTAVO PÉREZ ORTIZ
FECHA: 15/NOV/2005
FIRMA: Gustavo Pérez Ortiz

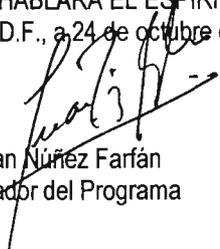
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 5 de julio del 2005, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del(a) alumno(a) **PÉREZ ORTIZ GUSTAVO** con número de cuenta **92114564** con la tesis titulada: **Diagnóstico ambiental como base para la rehabilitación de las Ciénegas del Lerma, Estado de México**, bajo la dirección del(a) **Dra. Marisa Mazari Hiriart**.

Presidente: Dr. Luis Zambrano González
Vocal: Dra. Corina Solís Rosales
Secretario: Dra. Marisa Mazari Hiriart
Suplente: Dr. Rurik Hermann List Sánchez
Suplente: Dr. Gerardo Ceballos González

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 24 de octubre del 2005.


Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

Esta investigación recibió apoyo económico por parte del programa de posgrado de la Maestría en Restauración Ecológica, UNAM.

Esta investigación recibió apoyo económico para el trabajo en campo y la adquisición de equipo por parte de Unidos para Conservación A. C.

Durante el desarrollo de la tesis se contó con el apoyo económico por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Becario 173045.

Durante el desarrollo de la tesis se contó con el apoyo económico de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) proyecto IN228603.

Dedicatoria

Con mucho Cariño a mi Familia,
Fatima, Gaby, Guadalupe, Hugo
mi papá Miguel y mi mamá Teresa.

A los nuevos y a los viejos

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Instituto de Ecología de la UNAM. Esta tesis fue desarrollada en el Laboratorio de Ecología Química de esta Institución.

A la Dra. Marisa Mazari Hiriart, directora de esta tesis, por su guía y sobre todo por el apoyo recibido en todo momento.

A los miembros del jurado Dra. Corina Solís Rosales, Dr. Luis Zambrano González, Dra. Marisa Mazari Hiriart, Dr. Gerardo Ceballos González y al Dr Rurik Hermann List Sánchez, por sus acertados comentarios y observaciones, que contribuyeron para mejorar este trabajo.

A Unidos para la Conservación A. C., por el apoyo para la compra del equipo HACH, espectrofotómetro portátil Modelo DR2400 y el digestor Digital Digesdalh. Así como el apoyo económico en las actividades de campo y el apoyo para cuantificación de metales pesados.

Al Biólogo Manuel Valdés Alarcón, por su valiosa ayuda y su amplia experiencia en las actividades de campo. Al Físico Carlos Manterota, Lic. Ricardo Medina y Sr. Patricio Robles Presidente de Unidos para la Conservación, por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto. A la Familia Barranco de Santa María Atarasquillo, por su apoyo en las actividades de campo. A los habitantes de las Ciénegas por su ayuda y las facilidades prestadas para la realización de esta tesis.

Al Instituto de Física de la UNAM, por el uso de sus instalaciones para el procesamiento y cuantificación de muestras para metales pesados. A la Dra. Corina Solís por su ayuda en la cuantificación para metales pesado de las ciénegas. A Karim López y Francisco Jaimes, por el manejo eficiente y operación del acelerador Tándem de 3 MV (NEC 9SDH-2 Pelletrón).

Al Instituto de Biología de la UNAM, laboratorio de Restauración y al Dr. Luis Zambrano, por las facilidades otorgadas para utilizar el equipo multisensor para monitorear la calidad del agua, Quanta Hydrolab.

A los Integrantes del Laboratorio de Ecología Química. El mapa de las Ciénegas del Lerma fue generado por la M. en C. Alba Zarco, a quien además, agradezco el sus observaciones y sugerencias, para mejorar este trabajo de tesis de forma significativa y sobre todo por su confianza. A la Dra. Ana Cecilia Espinosa, por su disposición para resolver miles de mis dudas, por sus comentarios para mejorara este trabajo y sobre todo por hacer mi estancia más agradable.

Y Claro pues a la banda, por ayudarme a terminar esta tesis, y ya saben y si no lo saben les digo, por su apoyo en todo momento, por haber hecho mi estancia en el laboratorio muy agradable, y sobre todo por la amistad y la confianza. Gracias Diana y Mich.

A todos los que están, a los que estuvieron y a los que siempre están.

gracias..."por la infinita paciencia, por la comprensión y pues por todo lo demás". A. M.

Índice

	Página
Resumen.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 Las Ciénegas del Lerma.....	3
1.1.1 Problemática de las Ciénegas del Lerma.....	4
1.2 Calidad del agua.....	6
1.3 Restauración y rehabilitación.....	6
2. Antecedentes.....	8
3. Objetivos.....	12
3.1 Objetivo general.....	12
3.2 Objetivos particulares.....	12
4. Descripción de área de estudio.....	13
4.1 Clima.....	13
4.2 Geología.....	15
4.3 Vegetación.....	15
5. Métodos.....	16
5.1 Método de campo.....	16
5.2 Métodos experimentales.....	17
5.2.1 Análisis fisicoquímico.....	17
5.2.2 Análisis bacteriológico.....	18
5.2.3 Análisis de metales pesados.....	18
5.2.3.1 Preconcentración de las muestras.....	19
5.2.3.2 Análisis de elementos mediante PIXE.....	20
5.2.4 Análisis estadístico.....	21
6. Resultados.....	22
6.1 Parámetros fisicoquímicos.....	22
6.2 Parámetros bacteriológicos.....	35
6.3 Metales pesados.....	39
6.4 Pruebas estadísticas.....	42
7. Discusión.....	48
7.1 Parámetros fisicoquímicos.....	48
7.2 Estado trófico de las ciénegas.....	56
7.3 Bacteriología.....	58
7.4 Metales pesados.....	60
7.5 Rehabilitación de las Ciénegas del Lerma.....	63
7.5.1 Atarasquillo.....	64
7.5.2 Almoloya.....	65
7.5.3 Lerma.....	66
8. Conclusiones.....	68
9. Recomendaciones.....	68
10. Referencias.....	71
Anexo I	
Anexo II	
Anexo III	
Anexo IV	

Resumen

Las Ciénegas del Lerma en el Estado de México son consideradas por la convención RAMSAR como uno de los 25 humedales de importancia en México. Albergan una gran diversidad biológica, que incluye especies endémicas en riesgo, así como especies de importancia estética y económica.

La degradación de la Ciénegas del Lerma es causada por la explotación excesiva del agua, la contaminación de las aguas superficiales por aguas residuales de origen industrial y urbano. Ante esta situación, este estudio, está enfocado en la determinación de la calidad del agua que presentan las Ciénegas del Lerma, para establecer el estado del ecosistema, con el objeto de proponer acciones para su rehabilitación.

En el estudio se encontró que existe una marcada diferencia estacional lluvias y secas, que afecta directamente los procesos tanto fisicoquímicos como biológicos. Los niveles de oxígeno disuelto alcanzan un estado anóxia del cuerpo de agua a dos tercios de la profundidad. Los niveles de, fósforo total y nitrógeno total, no presentan diferencias significativas entre épocas, y con base en sus niveles, las ciénegas se encuentran en estado eutrófico, producto de la influencia humana. Los análisis bacteriológicos para coliformes fecales (CF), indican que las ciénegas rebasan los máximos permisibles para agua residuales tratadas que se vierten a cuerpos de agua (NOM-001-ECOL-1996) en las tres Ciénegas, y esto implica un riesgo para la salud humana. La presencia de bacterias se registró en las dos épocas del año, independientemente de la entrada o no de agua a las ciénegas. La concentración de metales en general, no representa riesgo ni para la vida acuática, ni para la salud humana. Solo para el caso de los sedimentos si se detectó la presencia de plomo, que si puede representar un riesgo para la vida acuática y la salud humana. Basados en los resultados de la investigación es necesario realizar una manipulación física del sistema a través de control de flujos y de acciones para depurar las aguas que son vertidas al ecosistema acuático, ya que el mayor aporte de contaminantes provienen de agua de origen urbano e industrial, para disminuir los niveles de contaminación que poseen las ciénegas.

Diagnóstico ambiental como base para la rehabilitación de las Ciénegas del Lerma, Estado de México.

1. Introducción

El agua es indispensable para el desarrollo de todos los seres vivos y es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las sociedades humanas.

En el mundo el agua dulce alcanza un volumen de $35.029 \times 10^3 \text{ km}^3$, de esta un 0.0008% corresponde a humedales (Shiklomanov, 1993). Los humedales o ciénegas constituyen ecosistemas acuáticos que albergan una gran biodiversidad. Además, son esenciales para la sobrevivencia de peces, aves y algunas especies de mamíferos, funcionan también como sitios de recarga de agua y control de inundaciones (Mohan *et al.*, 2002). También constituyen comunidades bióticas únicas que involucran diversas plantas y animales, adaptados a regímenes dados por la dinámica del agua a bajas profundidades (Wheeler, 1999).

Por definición, los humedales son hábitats terrestres húmedos, tales como extensiones de marismas, pantanos, ciénegas y turberas (Wheeler *et al.*, 2002). De acuerdo con la Convención de Humedales "RAMSAR", (llamado así, ya que en el año de 1971 se llevo a cabo la primera convención internacional sobre humedales en la ciudad Iraní de Ramsar), los humedales son:

"Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". Además, la Convención (artículo 2.1), estipula que los humedales, "podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad no superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal" (RAMSAR, 2004a). Bajo estas definiciones quedan comprendidos estuarios, lagunas costeras, esteros, manglares, pastos marinos, arrecifes de coral, pantanos estuarinos y dulceacuícolas, bosques pantanosos y algunas bahías (Semeniuk y Semeniuk, 1997). También cuerpos de

agua creados por el hombre, como las presas, lagos artificiales, chinampas y arrozales, canales de drenaje, represas artificiales y lagunas de oxidación.

En México existen aproximadamente 55,000 km² cubiertos por humedales (Mohan *et al.*, 2002), tratándose en general de lagunas costeras. En México de acuerdo con la Convención RAMSAR existen 25 como uno de los 25 humedales de importancia (RAMSAR, 2004b). En altitudes que van desde los 1,500 a 3,000 msnm, se localizan los humedales de altura, estos son relativamente escasos; en nuestro país se encuentran el humedal de la Cuenca de México, el de Chalco, los humedales de Chihuahua y las Ciénegas del Lerma, y es uno de los últimos remanentes de agua en el Altiplano Mexicano.

1.1 Las Ciénegas del Lerma

Las Ciénegas del Lerma, se localizan en la franja oriental del Valle de Toluca, Estado de México y forman parte de la cuenca del Alta del río Lerma. Estos humedales reciben aves migratorias de una de las tres rutas de migración que cruzan el país; la ruta de la Altiplanicie Mexicana (Vázquez, 2004). Estos humedales albergan cerca de 100 especies de aves, de las cuales más del 60% presentan hábitos acuáticos. Algunas de estas aves migran provenientes de Estados Unidos, Canadá y el Norte de México. Debido al gran número de aves migratorias que utilizan las ciénegas en invierno, se han desarrollado planes de manejo a través de lo que se denomina UMAs (Unidades de Manejo y Aprovechamiento para la Conservación de la Vida Silvestre), que permite la cacería controlada en la zona (SEMARNAP, 2001; Unidos para la Conservación, 2004). Conjuntamente, las ciénegas poseen una gran diversidad biológica, que incluyen especies endémicas y nativas en riesgo, mismas que son de importancia estética y económica (actividades cinegéticas). Entre ellas se encuentran más de 30 especies de plantas, cinco especies de peces, dos de aves y un ajolote (Lyons, 1995) Anexo I.

A la región del Alto Lerma también se le denomina la región del Mexphi, y desde tiempos remotos se caracterizó por ser una región de tulares y lagos rodeados de montañas y de bosques (Albores, 1995). También ha permitido el

desarrollo de poblaciones rivereñas, la ñahñu-otomi, ya que el agua ha sido un factor fundamental en el establecimiento de las diferentes culturas en México (Ezcurra y Mazari-Hiriart, 1996). Por esta razón, se asentaron en la región por la presencia de los ricos ecosistemas lacustres (Albores, 1992) y cuyas principales actividades fueron la caza, la pesca y la recolección (Sugiura, 1998). Además, desde el punto de vista hídrico, este ecosistema reviste un papel importante para el almacenamiento e infiltración de agua. Y al mismo tiempo funciona como vaso regulador de inundaciones.

1.1.2 Problemática de las Ciénegas del Lerma

La degradación de las Ciénegas del Lerma se ha debido a diversos factores (Soto-Galera *et al.*, 1998; Soto-Galera *et al.*, 1991; Díaz-Pardo *et al.*, 1993; Lyons *et al.*, 1995; Madrigal *et al.*, 1994; Maderey y Jiménez, 2001; Orozco y Sánchez, 2004), entre los principales tenemos:

Sobreexplotación. El deterioro de las ciénegas está estrechamente relacionado con la sobreexplotación de los mantos freáticos, y la disminución de la recarga natural, ya que la demanda de agua en esta región ha superado la recarga del acuífero, se calcula que se pierde aproximadamente 5 Hm³/año (Hectómetro cúbico) (Esteller y Díaz-Delgado, 2002).

Contaminación. A la degradación contribuye la contaminación del agua por recibir las descargas de drenajes urbanos e industriales, porque además, el río Lerma constituye la línea principal de drenaje natural que parte de la Mesa Central. Inicia desde la cordillera Neovolcánica, convirtiéndolo en el principal tiradero de desechos para el Valle de Toluca (Díaz-Pardo *et al.*, 1993; Esteller y Díaz-Delgado, 2002).

Desecación. Otro de los factores que favorecen la degradación de las ciénegas es la desecación de los humedales para abrir tanto tierras de cultivo y como para la urbanización e industrialización de la región. (Romero, 1993). Actualmente, las ciénegas cubren menos de 2,500 hectáreas, de las cuales sólo aproximadamente 1,500 están inundadas. El resto sólo se inunda cuando la precipitación excede la

capacidad de eliminación de obras hidráulicas, que se han hecho para desecarlas (Martínez-Contreras, 1993).

Fragmentación y pérdida de los hábitats. La región que ocupan las ciénegas, presenta como problema fundamental la disminución de la superficie original, ocupada por la vegetación natural, llevando a una fragmentación y pérdida de los hábitats, alterando el ecosistema acuático. Lo que fue un sistema lagunas, separado por pequeños arroyos, se transformo en cuatro cuerpos de agua durante 1970, y en la actualidad en tres cuerpos de agua perennes. El cuarto, solo se inunda durante la época de lluvias (GEM, 1993).

Ante esta problemática y debido a su importancia biológica, las autoridades estatales y federales han declarado a las Ciénegas del Lerma como Área Natural Protegida (ANP), con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna (DOF, 2002), ya que se ha considerado como un ecosistema de alta diversidad, así como de extrema fragilidad. Así mismo, la ciénega de Almoloya fue declarada como Parque Municipal en 1978, y recientemente ha sido propuesta como; "Santuario del Agua", entendiéndose como un sitio donde brota o recarga el acuífero (GEM, 2003).

Para establecer un manejo adecuado del recurso es necesario determinar el estado de los recursos, por lo que son imprescindibles estudios básicos de diagnóstico y monitoreo (Banderas-Tarabay y González-Villela, 2002), el presente estudio se enfoca en la calidad del agua que presentan las Ciénegas del Lerma, con el fin de establecer el estado actual en que se encuentra el ecosistema, para determinar las necesidades para su rehabilitación y así permitir que el agua tenga la calidad adecuada para mantener la diversidad biológica y proveer los servicios ambientales.

1.2 Calidad del agua

La calidad del agua ha de definirse en relación con el uso o actividad a la que se quiera dedicar. Por ello, no es posible hablar de una buena o mala calidad en abstracto, sino que cada actividad requiere una cierta calidad adecuada.

Para evaluar los cambios en las condiciones del agua, se pueden emplear parámetros físicos, químicos y biológicos, ya que éstos de manera natural proporcionan las características al agua. A estos indicadores se les denomina "indicadores de la calidad del agua" (Seoáñez, 1999).

Entre los parámetros fisicoquímicos que son utilizados en diversos países se considera como base para medir la calidad del agua el pH, oxígeno disuelto, acidez, temperatura, nutrimentos como el nitrógeno y fósforo. También, se consideran Los metales pesados, que se encuentran difundidos en la naturaleza en forma de sales inorgánicas, formando parte de los minerales, pero sólo las formas solubles tienden a migrar por la acción pluvial hasta llegar a los ríos y lagos, donde al sumarse a los origen antropocéntrico, pueden alcanzar concentraciones que pueden afectar a los organismos que habitan los cuerpos de agua, convirtiéndose en contaminantes de los ecosistemas acuáticos (Barceló, 2000). Finalmente los parámetros biológicos que se consideran son las bacterias patógenas y otros microorganismos, porque son responsables de la transmisión de enfermedades.

1.3 Restauración y rehabilitación

Los cuerpos de agua naturales o artificiales, afrontan problemas de eutrofización artificial, invasión de especies exóticas y extinción de especies locales, contaminación por descargas municipales e industriales, entre otras (CRAE, 1992).

La meta fundamental de la restauración de los ecosistemas acuáticos es regresar al ecosistema a su estado natural, revertir el deterioro ambiental, recuperando, la estructura y función del ecosistema original (Bradshaw, 2002). Sin embargo, ¿realmente es lo que se desea?. Debido a la alta dependencia del hombre que tiene sobre el agua, la restauración puede estar enfocada al uso del

agua para el consumo humano, o bien para uso recreativo. Siempre es más agradable a la vista el agua transparente que el agua verde, o si se desea recuperar el ecosistema y sus funciones se requiere la presencia de las especies nativas que interactúan en las redes tróficas e inclusive sus circuitos microbianos (Clewell y Rieger, 1997; Ehrenfeld, 2000; Zambrano *et al.*, 2001). Así, es necesario tener el objetivo claro de que es lo que se pretende con la restauración. Los sistemas acuáticos, han sido alterados desde tiempos prehispánicos, lo que hace más difícil llegar a una restauración como tal (Dobson *et al.*, 1997).

En la actualidad sería imposible restaurar las ciénegas del Lerma a su estado original, ya que existe una gran población que demanda espacios y servicios, que en la actualidad ocupan los terrenos que fueron parte de la superficie original de las ciénegas (Martínez-Contreras, 1993; Madrigal *et al.*, 1994). Sin embargo, lo que aún resta de las ciénegas puede ser “conservado” o bien “rehabilitado”, tratando de revertir los efectos de la contaminación, como objetivo primordial (Higgs, 1997).

Un vez que se ha definido el objetivo de la restauración es indispensable saber los factores físicos, químicos y biológicos, relevantes que interactúan en el sistema acuático y que generan una variedad de respuestas. Por lo cual es indispensable seleccionar las variables esenciales del sistema (Zambrano, 1999). Partir de esto se puede llevar a cabo una restauración ecológica utilizando una manipulación física, química o biótica (Wheeler *et al.*, 2002).

En la actualidad, la restauración ha sido enfocada a la recuperación de lagos y ríos por medio de técnicas químicas y físicas. El dragado ha sido una opción, eliminando los nutrientes depositados en los sedimentos de los lagos, llevando al sistema de un estado de eutrofia a uno de oligotrofia. En otros lagos se ha aplicado sulfato de cobre para reducir el crecimiento de plancton con el fin de evitar la eutrofización del lago, no obstante, este químico altera el ecosistema degradándolo y afecta a los organismos acuáticos (CRAE, 1992).

Un ejemplo de restauración en un sistema acuático es el llevado a cabo en por la UAM Iztapalapa, en la delegación Coyoacán en el Distrito Federal, el lago de Huyamilpas ubicado en la delegación Coyoacán, se planteó la restauración a

través de la técnica de interacciones tróficas en cascada, con la introducción del pez blanco (*Chirostoma humboldtianum*). Monitoreando la respuesta del sistema a través de parámetros físicos, químicos y biológicos del sistema. Interactuando con la población a través de cursos de educación ambiental, se involucra el aspecto social. Sin embargo, este lago de 1 hectárea desde su origen no posee especies nativas, por lo cual no existe pérdida de la especie y no requiere ser restaurada.

2. Antecedentes

Las Ciénegas del Lerma, dan origen a uno de los ríos más importantes del país el río Lerma, cuya longitud supera los 700 km, ocupando la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, cuya área total es de 137,144 km² (Hansen y van Afferten, 2001). Dentro de esta enorme cuenca, se encuentra la Cuenca Alta del río Lerma, que es la región a mayor altitud (Sugiura, 1998). En la época prehispánica esta zona lacustre, alcanzaban un superficie de de 27,025 hectáreas (Martínez-Contreras, 1993), en 1940, se calculó que sólo quedaba el 13.3% de la superficie original, y actualmente solo existe el 5% de la superficie calculada en la época prehispánica, es decir, 1,425 hectáreas (DOF, 2002).

La Cuenca Alta del río Lerma, al igual que el Valle de México, se caracterizó por las lagunas que ocupaban una región considerable de la planicie aluvial rodeada de serranías. Esta zona tenía como particularidad el agua cristalina y fluida debido al río Lerma, con grades extensiones cenagosas poco profundas. Estas eran alimentadas por caudalosos manantiales, originados en las sierras del Ajusco y las Cruces. Fueron estos manantiales los principales alimentadores de las antiguas Ciénegas del Lerma (Sugiura, 1988). Así mismo, las ciénegas recibían agua de diversos manantiales del occidente, del norte y del noreste, que limitan la Cuenca Alta del río Lerma. El volumen de agua era de tal magnitud, que el cauce del río Lerma era insuficiente y se desbordaba inundando las regiones aledañas (García-Quintero, 1948).

Los procesos de desecación de las ciénegas por extracción, han ocurrido en diversas etapas históricas. A partir de 1857, la zona de humedales y el río

Lerma comenzaron a ser drenados y canalizados (construcción de diques y canales de desagüe) para controlar las inundaciones en épocas de lluvia (Madrigal *et al.*, 1994; COMEDS, 1995). En conjunto con la construcción de chinampas o islotes, con la finalidad de ganar terrenos a las lagunas mediante la sobreposición de planchas o capas de vegetales lacustres y lodo, fueron destinados a las actividades agrícolas y a los asentamientos humanos (Albores, 1995).

Durante 1951, existía un sistema lacustre que se alimentaba por varios manantiales de pie de monte; como los de Almoloya del Río, entre otros. Estos cuerpos de agua lagunares en conjunto alcanzaban 30 km de longitud y se conectaban entre sí por canales cortos que unían las tres ciénegas (GEM, 1993; Romero, 1993). Sin embargo, el plan hidráulico originado durante 1938, para la construcción del acueducto y el traslado del agua del Alto Lerma a la Ciudad de México para dotar de agua a su creciente población, alteró el balance hídrico, disminuyendo el área que ocupaban los humedales (Albores, 2002; Orozco y Sánchez, 2004).

El proyecto consistió en captar el agua de los manantiales del Lerma. La obra realizada incluyó la perforación de un total 44 pozos en Almoloya del Río, lugar de nacimiento del río Lerma y en Santa Cruz Atizapán y San Pedro Tlaltizapan (Abasolo *et al.*, 2001). Es importante señalar que estos pozos, abastecen también a las poblaciones aledañas y a la ciudad de Toluca, que en conjunto exceden el millón de habitantes (INEGI, 2001). Asimismo, abastecen al corredor industrial Lerma desde su construcción (Esteller y Díaz-Delgado, 2002).

Finalmente, en la cuenca Alta a finales de los años 1970, se construyeron 230 pozos y 170 km de acueductos que aportaban más de 14 m³/s, a la Ciudad de México, mismos que terminaron por modificar profundamente el ecosistema lacustre (GEM, 1993). En la actualidad, la extracción del agua ha disminuido como resultado del abatimiento de los mantos freáticos, alcanzando 3.9 m³/s durante el año 2000 (Maderrey y Jiménez, 2001; Orozco y Sánchez, 2004).

En lo que se refiere a las actividades productivas, en la zona lacustre del Alto Lerma, la producción maicera (es una zona altamente productiva para la agricultura por sus características pantanosas y por tanto tiene excelentes suelos);

la producción acuática (caza, pesca, recolección de flora y fauna) y ganadería fueron la base económica de la región hasta el gran desarrollo industrial en 1970, que provocó una transformación económica y cultural (Albores, 2002). A pesar de esta transformación, se calcula existen 190,000 hectáreas de uso agrícola de riego y temporal en la Cuenca Alta, (GEM, 1993) y 10,000 ha en la zona de las ciénegas (CONABIO, 2004).

A estos factores, hay que sumar la disminución de la densidad forestal en 60% de las zonas de recarga en la sierra de la Cruces y el Nevado de Toluca. Durante los últimos 50 años, por tala clandestina, tumba y quema e incendios. Esta pérdida forestal acarrea desequilibrios en la recarga de los acuíferos de la cuenca, reduce la infiltración y aumenta la erosión (Madrigal *et al.*, 1994). Así, desaparecen manantiales, se reduce en nivel de la recarga de los sistemas de agua subterránea y se produce el azolve de las zonas de humedales.

Esta importante región de México presenta hoy severos problemas de contaminación debido al incremento desmedido de la población, que tiene como consecuencia presión sobre los recursos, ya que requieren espacio donde habitar y recursos naturales para satisfacer sus necesidades. Al mismo tiempo que generan desechos urbanos tanto sólidos como líquidos. Además, los asentamientos humanos siguen incrementándose sin restricciones (Madrigal *et al.*, 1994).

Importantes y numerosos han sido los estudios en las Ciénegas del Lerma, debido a su alta diversidad biológica. Díaz-Pardo *et al.*, (1993), desarrollaron un listado de los peces de la cuenca Alta del río Lerma, como indicadores de las condiciones ambientales.

Martínez (1993), realiza un estudio histórico de cómo ha sido el desarrollo de las Ciénegas del Lerma y describe cuales son las causas de su desecación. Señala que la extracción de agua, el asolve para la construcción de casas y el incremento de la población son las principales razones de la desaparición del área de las ciénegas.

Lyons (1995), desarrolla un listado con las principales especies de peces que se encuentran en la cuenca Alta del río Lerma.

Ramos (1999), registra 90 especies vegetales agrupadas en 45 géneros y 31 familias, en las Ciénegas del Lerma y establece su distribución, dentro de las ciénegas en base a su forma de vida.

Méndez-Sánchez *et al.*, (2002), revisan los 207 registros de peces que se tienen para la zona de la Cuenca Alta y describen el estado actual de los peces en el Alto Lerma. Mencionan que ha desaparecido el 56% del hábitat acuático. Establecen el estado de conservación de las tres especies endémicas de la región. *Algansea barbata*, se encuentra en peligro de extinción o bien se encuentra posiblemente extinta, ya que hace 30 años no es colectada. *Girardinichtys multiradiatus*, se encuentra en peligro de extinción y su distribución ha disminuido. Finalmente, *Chirostoma riojai*, ha disminuido su distribución.

Esteller y Díaz-Delgado (2002), realizan un estudio sobre los efectos causados por la sobre explotación del manto freático del Valle de Toluca. Describen como los procesos de explotación del agua, a través del entubamiento de los manantiales que aportaban agua a la laguna de Almoloya, han afectado su tamaño. Mencionan que el crecimiento industrial es una de las principales causas de su deterioro y en conjunto con el aumento de la densidad poblacional.

Vázquez (2004), describe 96 especies de aves para las Ciénegas del Lerma, 60% de éstas con hábitos acuáticos. Seis especies corresponden a aves migratorias, tal como *Anas acuta*, *A. americana*, *A. strepera*, *A. crecca*, *A. dicors* *A. cynoptera* y *A. clypeatea*. Menciona que las ciénegas están reconocidas por su avifauna, como área de conservación de aves. De las especies más destacadas menciona a *Geothlypis speciosa* y a la polluela amarilla *Coturnipus noveboracensis*, las cuales se reconocen como aves en peligro de extinción según la NOM-059-ECOL-2001, no obstante la polluela amarilla fue registrada por última vez en 1971, Anexo I.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el estado actual del agua de las Ciénegas del Lerma, con el fin de proponer un plan de rehabilitación.

3.2. Objetivos particulares

Evaluar las características físicas, químicas y bacteriológicas, indicadoras de la calidad del agua de las ciénegas.

Evaluar la presencia de de metales pesados, como indicadores de contaminación de tipo industrial en las ciénegas.

Determinar los principales factores que intervienen en la contaminación de las ciénegas.

Proponer las medidas necesarias para la rehabilitación de las Ciénegas del Lerma.

4. Descripción de área de estudio

Las ciénegas están ubicadas en la parte sur de la Cuenca del Alto Lerma, al poniente de la sierra de las Cruces y de la sierra de Monte Alto. Actualmente cubren una extensión promedio de 1,425 ha, desde San Pedro Techuchulco en el extremo sur entre las coordenadas 19° 06' 29" N y 99° 30' 53" W, hasta Santa María Atarasquillo, hacia el norte, entre las coordenadas 19° 21' 48" N y 99° 30' 13" N (Martínez-Contreras, 1993). Abarcan siete municipios: Lerma, Santiago Tiangistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac, con un población de 483,049 habitantes (INEGI, 2001).

Las ciénegas están conformadas por tres tramos separados, que se extienden en escalones sucesivos, descendentes, de sur a norte (Figura, 1):

- El primer tramo de las ciénegas y el más elevado, esta ocupado por *ciénega de Almoloya o Chicognahuapan*.
- El segundo y el más extenso de los tres, es la *ciénega Chimaliapan o Lerma*.
- El tercero o menos elevado, corresponde a la *ciénega de Atarasquillo o Chignahuapan o de San Bartolo*.

La mayor parte de la hidrografía proviene de los escurrimientos de la sierra de las Cruces y del Nevado de Toluca formando ríos y gran cantidad de arroyos. Entre los que destaca el río Lerma, que aunque poco caudaloso tiene un lecho extenso (Meza, 2004).

4.1 Clima

El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano del tipo $C(w^2)(w)b(i')$, donde la temperatura media del mes más frío se encuentra entre -3 y 18 °C. La precipitación del mes más húmedo es diez veces mayor a la del mes más seco, con un porcentaje de lluvia invernal del 5% de la anual (García, 1988).

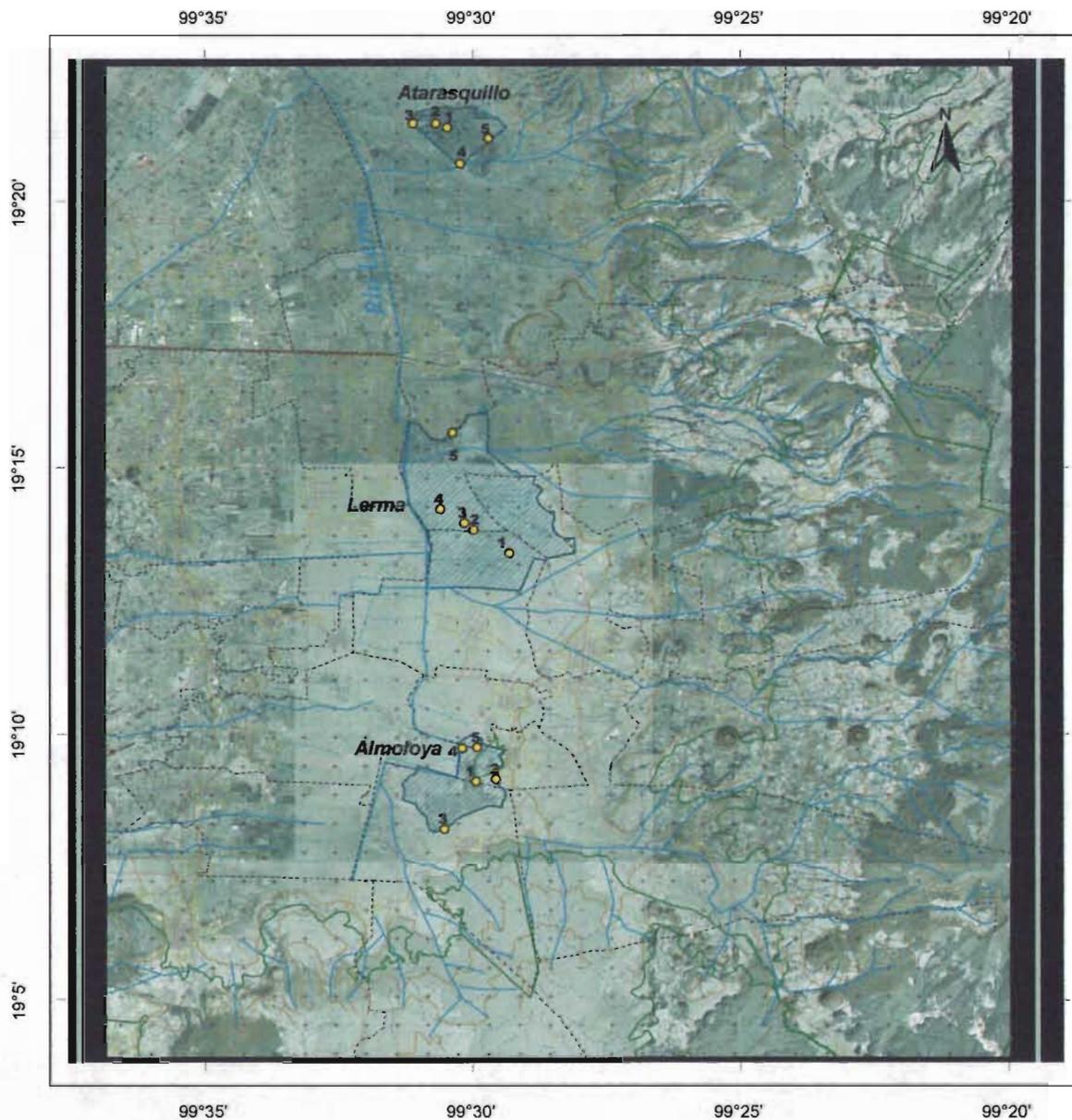
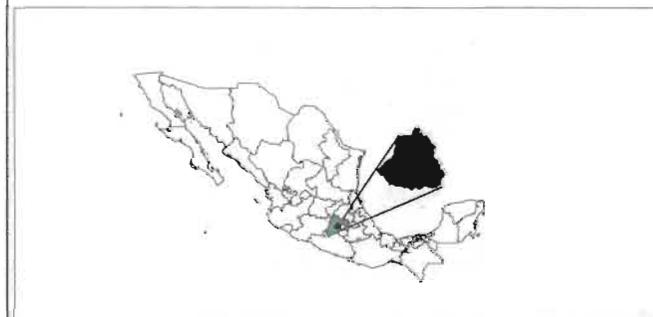


FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LAS CIÉNEGAS DEL LERMA, ESTADO DE MÉXICO

SIMBOLOGÍA

- Sitios de muestreo
- Ciénegas
- ~ Ríos y canales
- ~ Curvas de nivel cada 100m
- ~ Carreteras



Fuentes:
 INEGI. 2002. Marco geoestadístico municipal, escala 1:250,000.
 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

Secretaría de Ecología. 2002. Fotografía aérea.
 Gobierno del Estado de México.

Laboratorio de Ecología Química
 Instituto de Ecología
 Universidad Nacional Autónoma de México



4.2 Geología

La porción del río Lerma entre su nacimiento y la cuenca endorreica del río Grande de Morelia, con sus respectivos afluentes intermedios, componen la Cuenca del Alto Lerma (Díaz-Pardo *et al.*, 1993). La Cuenca del Alto Lerma está limitada al este y al sur por una sierra volcánica escarpada de rocas extrusivas básicas e intermedias en forma de colados lávicos de basaltos y andesitas. Al norte y al sur, los límites están constituidos por rocas híbridas de arenisca-toba producidas por la mezcla de cenizas sedimentarias y volcánicas respectivamente. Al suroeste la cuenca está limitada por las andesitas lávicas. La cuenca presenta rasgos geomorfológicos típicos de un vaso lacustre. Es prácticamente plana, compuesta por suelos aluviales y tres regiones de suelo lacustre, ubicadas en las zonas actualmente anegadas por tres ciénegas, y sólo se ve interrumpida por las cimas de pequeños cerros de rocas volcánicas y sedimentarias que se levantan desde el fondo de depósitos aluviales y cineríticos (Martínez-Contreras, 1993). Predomina un suelo rico en materia orgánica y nutrientes Feozem, así como de tipo Andosol, Luvisol y Vertisol (CONABIO, 2004).

4.3 Vegetación

Las ciénegas del Lerma presentan vegetación acuática que se desarrolla en zonas poco profundas (<20 cm) sometida a inundaciones estacionales, hasta aquellas en donde alcanza 3 m de profundidad. Entre las especies más comunes de las zonas profundas están, el tule redondo (*Schoenoplectatus californicus* y *S. tabernaemontani*), tule de palma (*Typha latifolia* y *T. dominguensis*). En sitios poco profundos (<1 m y hasta 2 m) los géneros dominantes son *Cyperus*, *Eleocharis*, *Hydrocotyle*, *Polygonum*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum* y *Bidens*. En claros independientemente de la profundidad las hidrófilas flotadoras son muy comunes y están representadas por los géneros *Lemna*, *Azolla*, *Wolffia*, *Wolffelia* y *Spirodela*, así como por el lirio acuático *Erichhornia crassipes* (Ramos, 1999).

5. Métodos

5.1 Métodos de campo

Para llevar a cabo esta investigación se realizaron dos muestreos cubriendo un ciclo anual; época de lluvias y secas. El primer muestreo en lluvias se llevó a cabo durante los meses de septiembre y octubre de 2003, el segundo muestreo correspondiente a secas se realizó de enero y febrero de 2004.

Se seleccionaron cinco sitios diferentes en cada una de las tres ciénegas, estos se geoposicionaron, se tomaron muestras en la periferia de las ciénegas y en el centro, de acuerdo a la entrada o salida de agua, o bien la presencia de elementos que pueden alterar el estado de las ciénegas, ya sea canales de desechos o presencia de centros urbanos.

Se ubicaron las estaciones de muestreo después de haber recorrido en su totalidad el perímetro de las ciénegas, seleccionado cinco sitios en cada una de ellas. En cada una de las tres ciénegas se seleccionaron 5 puntos de muestreo que fueron geoposicionados con un GPS 12 Personal Navigator de la marca GARMIN Modelo 99, Anexo II.

Durante las dos épocas, en cada una de las tres ciénegas, se realizaron muestreos compuestos (tomando una muestra de 500 mL cada 4 horas durante 12, horas mismas que se mezclaron formándose una mezcla compuesta (2 L) (Luna *et al*, 2004). Se tomaron 4 muestras en cada estación y se obtuvieron 20 muestras simples y se generaron 5 compuestas; para determinar los parámetros químicos y cuantificar la presencia de metales pesados. Durante la última toma de muestras simples, se tomó una muestra de 1L de agua; para los análisis bacteriológicos, obteniendo 15 muestras simples. Las muestras se colectaron a dos terceras partes de la profundidad considerándose ésta una muestra representativa de la columna de agua (Hynes, 1983). Se colectó sedimento en las 15 estaciones para realizar el análisis de metales pesados.

Todas las muestras fueron almacenadas y transportadas a 4°C, en botellas de polipropileno de alta densidad; para su análisis en el laboratorio.

5.2 Métodos experimentales

5.2.1 Análisis fisicoquímico

Los parámetros físicos pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto fueron analizados *in situ*, con el equipo multisensor para monitorear la calidad del agua, modelo Quanta de la marca Hydrolab. Estas determinaciones fueron:

- Profundidad (± 0.1 m)
- Temperatura ($\pm 0.01^\circ\text{C}$)
- Turbidez (± 0.1 UNT, Unidades Nofelométricas de Turbidez)
- pH (± 0.001)
- Conductividad eléctrica ($\pm 1 \mu\text{S/cm}$)
- Oxígeno disuelto (± 0.01 mg/L)

El análisis químico de las muestras de agua se realizó con el espectrofotómetro portátil marca HACH Modelo DR2400, de acuerdo con las técnicas propuesta en el manual de operación (HACH, 2002):

- Fósforo total, método PhosVer3 con digestión ácida USEPA (0.06 a 3.50 mg/L P); método de molibdato con digestión ácida con persulfato (1 a 100 mg/L mg/L PO_4^{3-}).
- Ortofosfatos, método aminoácido (0.23 a 30.00 mg/L PO_4^{3-}), ácido absorbico PhosVer3 USEPA (0.02 a 2.50 mg/L PO_4^{3-}).
- Nitrógeno total, método de digestión con persulfato (10 a 50 mg/L N) (0.5 a 25.0 mg/L N).
- Amonio, método de silicilato (0.02 a 2.50 mg/L NH_3 -N).
- Nitritos, método de Diazotización (0.002 a 0.300 mg/L NO_2^- -N) USEPA.
- Nitratos método de reducción por cadmio (0.01 a 0.50 mg/L NO_3^- -N).

Para llevar acabo la digestión de las muestras de fósforo total y nitrógeno total, se utilizó el digestor Digital Reactor Block 200 de la marca HACH Modelo DRB200.

5.2.2 Análisis bacteriológico

Las muestras de agua colectadas en las ciénegas fueron analizadas siguiendo el método de filtración a través de membrana para la cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales (Murray, 1995 y APHA, 1998).

Se utilizaron membranas de 0.45 μm (acetato de celulosa Millipore MFtipo HA, Millipore Corp. Bedford, MA, USA). Se utilizó un cojinete absorbente cuando los medio fueron líquidos, tal es el caso de coliformes fecales y totales y se uso agar para el aislamiento de los enterococos fecales. Debido a que se trataba de muestras ambientales y a la alta densidad bacteriana se decidió realizar diluciones para poder cuantificar las poblaciones (10^0 , 10^{-1} y 10^{-2}) en buffer de fosfatos a pH 7. Se tomó 1 mL de la muestra y se colocó en 9 mL de buffer. Se homogenizaron con un vortex GENIE Modelo SI-T236 y se filtraron a través de membranas. Las membranas fueron colocadas en diferentes medios de cultivo:

- Caldo M-Endo (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para coliformes totales.
- Caldo M-FC (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para coliformes fecales.
- Agar KF (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para enterococos fecales.

Se incubaron a $35\pm 0.5^\circ\text{C}$ coliformes totales durante 24 horas y enterococos por 48 horas y 44.5°C coliformes fecales durante 24 horas (Murray, 1995 y APHA, 1998) y después se cuantificaron y se reportaron en unidades formadoras de colonias en 100 mL (UFC/100 mL).

Para establecer el origen ya sea humana o animal, se utilizó el cociente coliformes fecales/estreptococos fecales (CF/EF) (Gerba, 2000) Anexo III.

5.2.3 Análisis de metales pesados

En el caso de metales pesados, el método empleado para pre-concentrar las muestras de agua. Está basado en la extracción de los elementos en forma de carbamatos que a un pH ácido precipitan y son colectados por filtración usando un agente acarreador (Ghermandi *et al.*, 1996).

Para procesar las muestras y obtener las fracciones solubles e insolubles se realizó el siguiente procedimiento.

Las muestras se colocaron en botellas de polipropileno de alta densidad, lavadas previamente en ácido sulfúrico en solución 1:1 con agua destilada. Se midió el pH y la temperatura en el momento del muestreo. A partir de muestras compuestas se tomaron 100 mL, medidos de forma volumétrica y se filtraron en membranas de acetato de celulosa de 0.45 μm de poro (Millipore MF tipo HA, Millipore Corp. Bedford, MA USA) con la finalidad de obtener la parte insoluble presente en la muestra. El filtrado fue colectado en botellas de polipropileno de alta densidad, para conservarlas se llevaron a pH ácido con 1.5 mL de ácido nítrico (HNO_3) 65% Suprapur (Merck) y se refrigeraron a 4°C, hasta su análisis.

5.2.3.1 Preconcentración de las muestras

La preparación de las muestras para el análisis de metales, se realizó de acuerdo con el método desarrollado por Mireles (2004), que consiste en las siguientes etapas.

Para la fracción soluble del filtrado de 100 mL, se tomaron 50 mL a los cuales se ajustó el pH a 4 con NH_4OH suprapur (Merck). Se añadieron 100 μg de paladio; CertiPur MerK (1000 mg/kg) como estándar interno. Así mismo, se agregó una solución preparada de la siguiente forma:

Para una solución de 60 mL, para 12 muestras se añadieron: 180 mg de NaDDTC (diethyldithiocarbamate sodium, $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NNaS}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Merck), 360 mg de APDC ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}_2\text{S}_2$, Merck ammonium pyrrolidinedithiocarbamate), además se agregaron 3600 mg de ácido ascórbico L (+) (Merck), 240 mg de Coferron GR $\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2$ (Merck), todos estos elementos se mezclaron en 45 mL de agua desionizada y bidestilada, y por último se agregaron 360 mg de Oxina (8-hidroquinolina $\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$ Merck), disuelta en 15 mL de 2-propanol Merck), esta solución siempre se preparó al momento del procesamiento de las muestras.

Después de agregar 5 mL de la solución de carbamatos, la muestra se agitó por 5 minutos con la muestra (50 mL) y el paladio. Se dejó reposar por 30 minutos. Transcurrido este tiempo la solución se filtró a través de una membrana de acetato

de celulosa de 0.45 μm de poro (Nucleopore de 25 mm). El depósito retenido en el filtro que alojaba los metales solubles; se pesó y montó en un marco de transparencia, se etiquetó y se guardó en un desecador hasta su análisis por PIXE (emisión de rayos X inducida por partículas) (Ghermandi *et al.*, 1996).

Para realizar el análisis de sedimento se pesó 1 g de sedimento seco de cada muestra durante la época de secas y se formó una pastilla, que se almacenó para su análisis.

5.2.3.2 Análisis de elementos mediante PIXE

Para el análisis de los elementos insolubles retenidos en los filtros se empleó la emisión de rayos X inducida por partícula (PIXE). Es una técnica analítica bien establecida en el Instituto de Física de la UNAM. Los análisis se realizan al aire o al vacío. El procedimiento básico para obtener las concentraciones de una muestra consiste en bombardear la muestra con protones de 3 MeV (mega electron-volts) de energía. Para realizar estos análisis se empleó un acelerador Tándem de 3 MV (NEC 9SDH-2 Pelletrón).

Los rayos X característicos de los átomos presentes en la muestra, se detectaron con un detector de germanio (LEGeCanberra). Los datos del detector son procesados por diferentes componentes electrónicos (preamplificador, amplificador y analizador multicanal).

Las concentraciones finales se calcularon a partir de los espectros obtenidos, a través de el programa "The Guelph PIXE software pack" (GUPIX) (Maxwell *et al.*, 1989; Kenndy y Markwitz, 2002; Solís, *com. pers.*).

El método para determinar las concentraciones de metales pesados en muestras de agua, se desarrolló de acuerdo con Mireles (2004), que establece que el método es preciso, exacto, lineal, estable y robusto, para intervalos de concentraciones de 0.2 a 400 mg/L), para elementos como Cr, Ni, Cu, Zn, As, y Pb.

5.2.4 Análisis estadístico

Debido a la importancia de las estaciones de lluvia y secas, se decidió realizar una comparación estadística entre las dos épocas, para establecer si existen diferencias entre ambas para cada ciénega. Así mismo, se realizó una comparación entre las tres ciénegas muestreadas, para observar si existen diferencias. Para llevar a cabo la comparación se aplicaron análisis de varianza (ANOVA; $p < 0.05$), con el programa estadístico SPSS para Windows Versión Standard 10.0.1. Se realizó el análisis para cada parámetro muestreado, excepto los metales pesados, ya que para sedimento solo se realizó un muestreo, y para agua las concentraciones de metales resultaron ser poco significativas o no pudieron ser registrados por el método utilizado. Se realizó la transformación Box-Cox, para realizar el análisis en bacterias.

Es importante señalar que debido a que se pretende establecer cuál es el estado del agua de las ciénegas en cuanto a su calidad se realizó una comparación de los resultados con respecto a la normatividad o lineamientos mexicanos para diferentes usos del agua, dando énfasis a la normatividad para la vida acuática y Humedales, NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) (Anexo IV) y también se utilizaron las normas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS).

6. Resultados

6.1 Parámetros fisicoquímicos

La profundidad registrada en las estaciones de muestreo de las ciénegas osciló, entre los 0.3 m y 1.5 m, las mayores profundidades durante la época de lluvias. La mayor profundidad se registró en la estación 2 de Lerma (Figura 2).

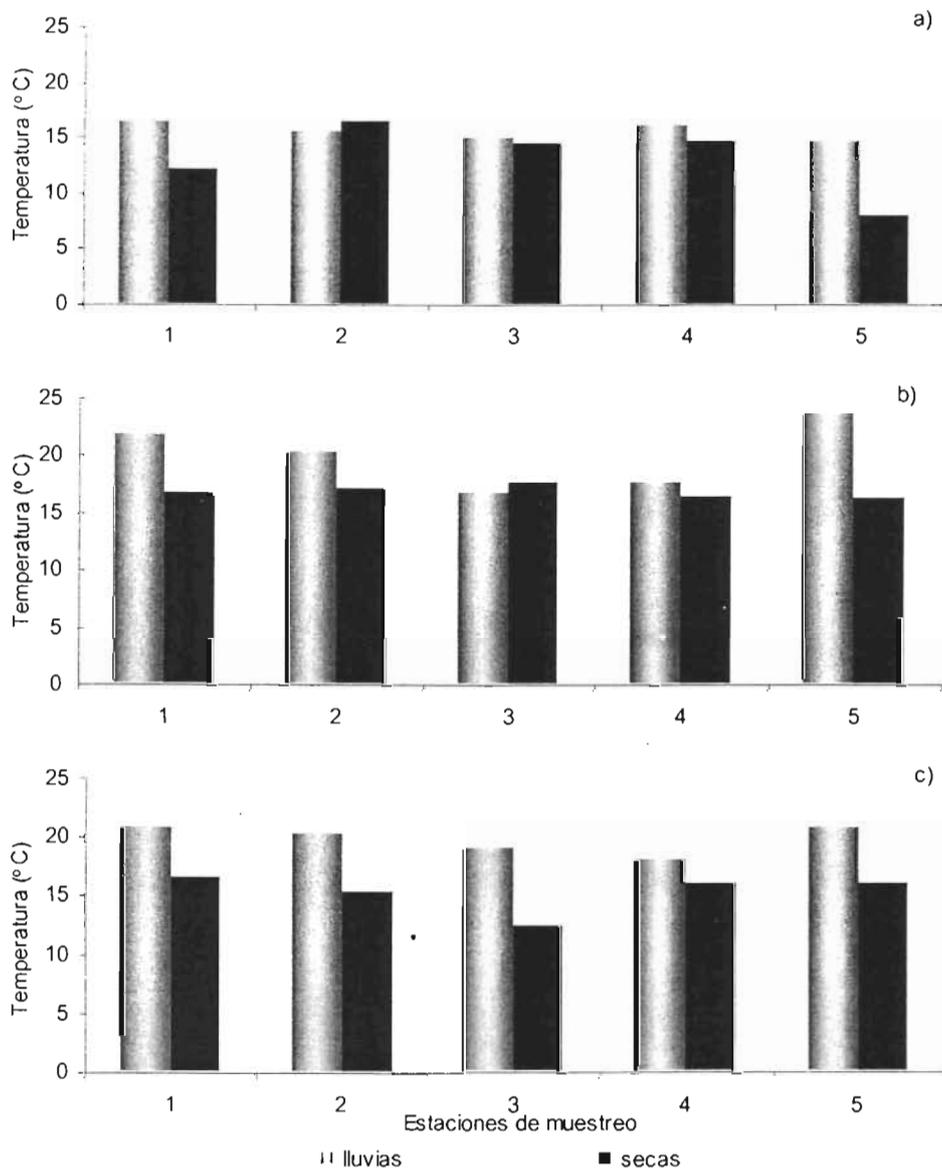


Figura 2. Profundidades registradas en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

Sin embargo, en Almoloya las profundidades promedio fueron mayores durante las dos épocas del año. Tanto en Lerma como en Atarasquillo se

registraron profundidades de 0.30 a 1 m, en su mayoría estuvieron por debajo de un metro. Algunas estaciones no mostraron cambio estacionalmente (Figura 2).

En lo que se refiere a las temperaturas, ésta osciló entre 12 y 21°C, con valor medio de 16.7°C. En general, en las tres ciénegas la época de lluvias fue en la que se registraron menores temperaturas (Figura 3).

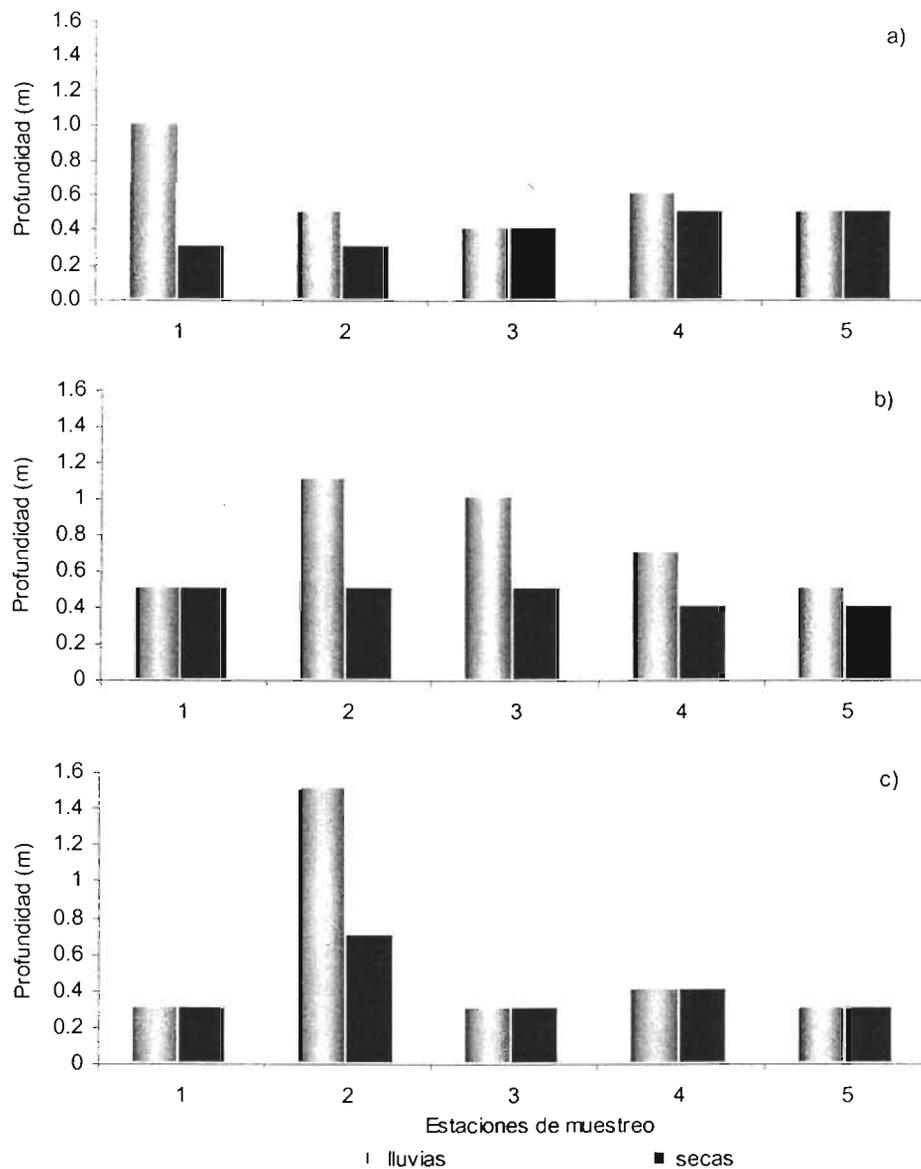


Figura 3. Temperatura registrada en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

Los valores de turbidez, en las ciénegas fueron más altos con respecto a la época de secas. En Lerma se registraron los valores más bajos esto, durante la época de secas. La turbidez fue más alta en la época de lluvias que en la época de secas en todas sus estaciones, las estaciones 3 y 2 en Lerma, durante la misma época elevan sus valores de forma importante con respecto a la época de secas.

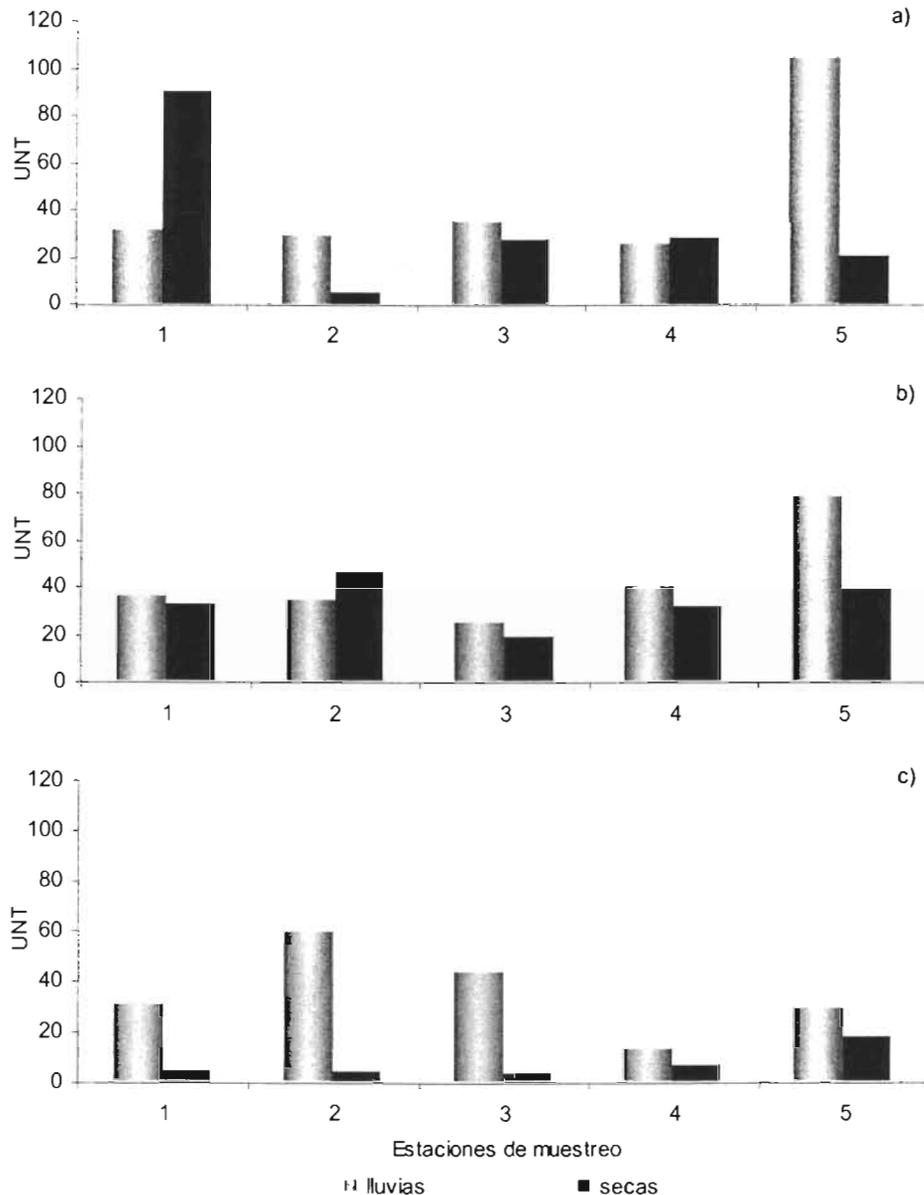


Figura 4. Turbidez registrada en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

En Almoloya se obtuvieron valores altos, en comparación con las otras dos ciénegas. La estación 5 de Atarasquillo durante la época de lluvias mostró el valor más alto alcanzando 105 UNT (Figura 4).

En general los valores de pH se encontraron entre 6.60 y 9.16 en las ciénegas, existe un incremento estacional, en la época de secas aumenta y disminuye en la época de lluvias, con un valor medio de 7.7.

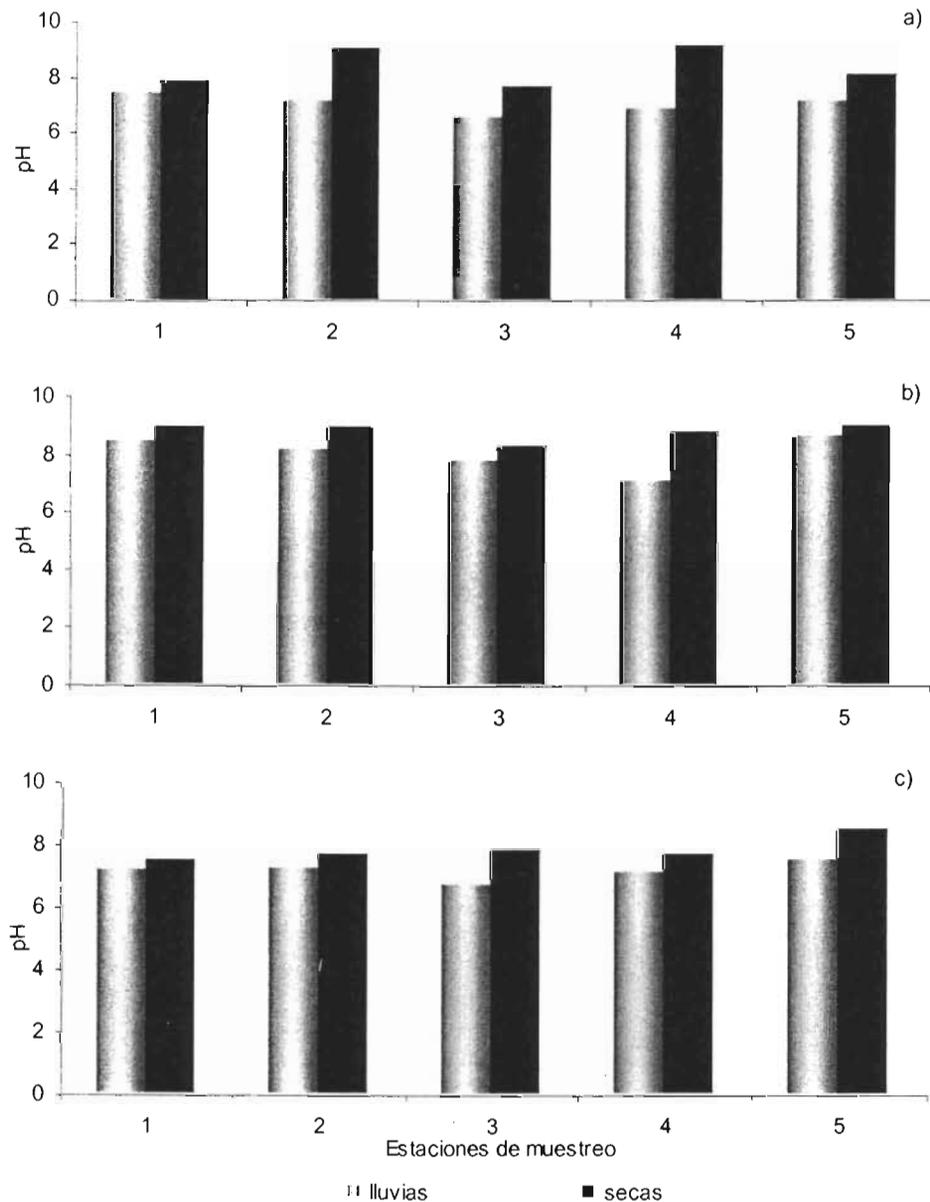


Figura 5. pH registrado en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

En Almoloya se registraron valores de pH en su mayoría por encima de 8 y tienden en la época de secas. Esta situación ocurre en la ciénega de Lerma. En Atarasquillo el pH varía de forma sustancial al alcanzar como máximo 9.16 y como mínimo 6.60 (Figura 5).

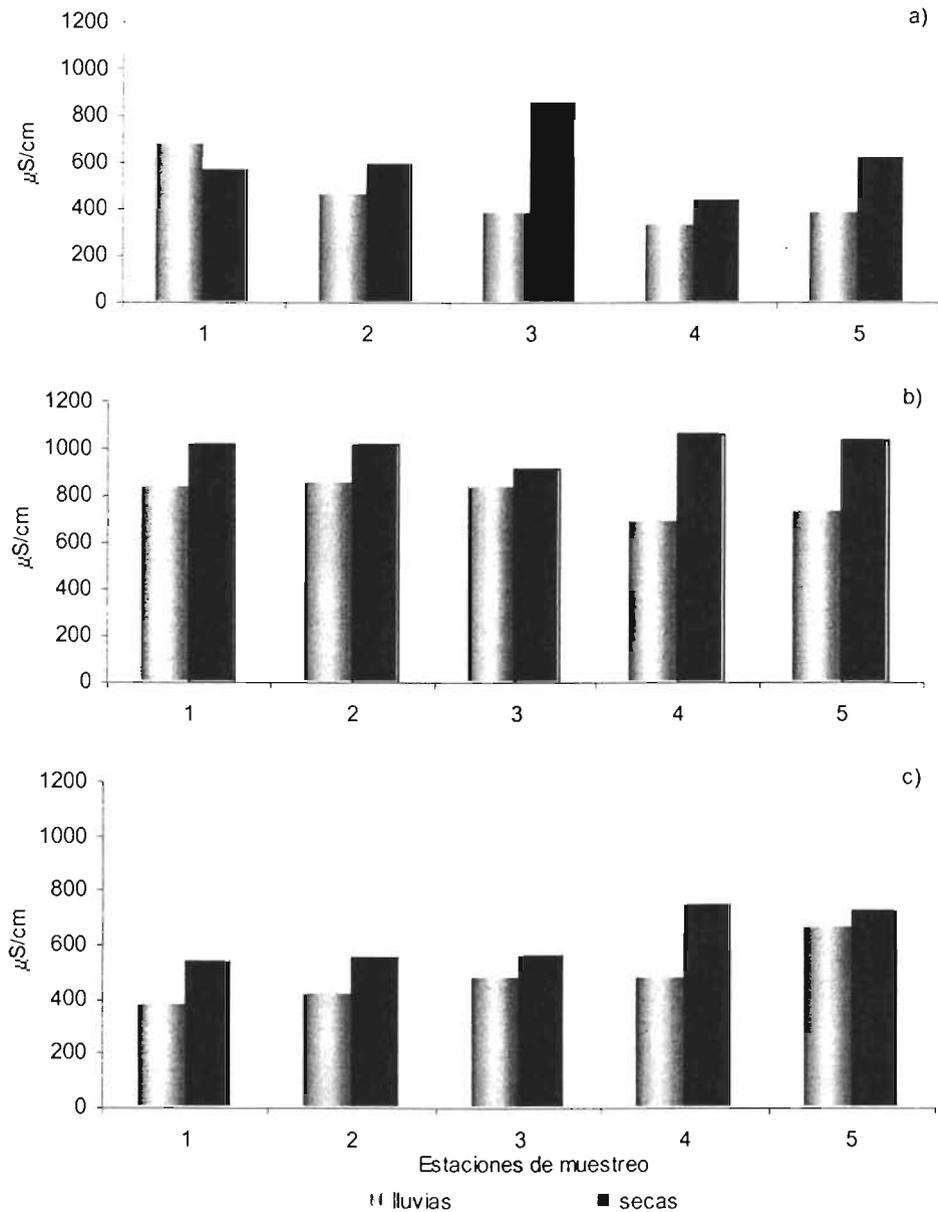


Figura 6. Conductividad registrada en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

La conductividad registrada en las ciénegas, oscilo entre 375 y 1,015 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entre épocas, secas es mayor a la de lluvias, con 745 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente como valores promedio.

Los valores altos se registraron en Almoloya, en las dos épocas. Mientras que en Lerma y Atarasquillo, en la época de secas se registraron valores más bajos que en lluvias (Figura 6).

Las concentraciones de oxígeno disuelto en las ciénegas oscilo entre condiciones de anoxia y 11.51 mg/L. Estacionalmente se registró una menor concentración de oxígeno en la época de lluvias, con 6.25 mg/L y 9.84 mg/L en secas, como valores promedio. En Lerma en las estaciones 2, 3 y 4, se registraron concentraciones por debajo de 0.6 mg/L, mientras que en Atarasquillo en las estaciones 2, 3 y 5, los valores estuvieron por debajo de 0.4 mg/L. En Atarasquillo en secas se registraron los valores altos, aunque en Almoloya, en la estación 5 el oxígeno alcanzó 11.5 mg/L, el valor más alto. En Almoloya, los valores en general estuvieron por encima de 4 mg/L. Sin embargo, en la estación 4 se obtuvo un valor de 0.47 mg/L (Figura 7).

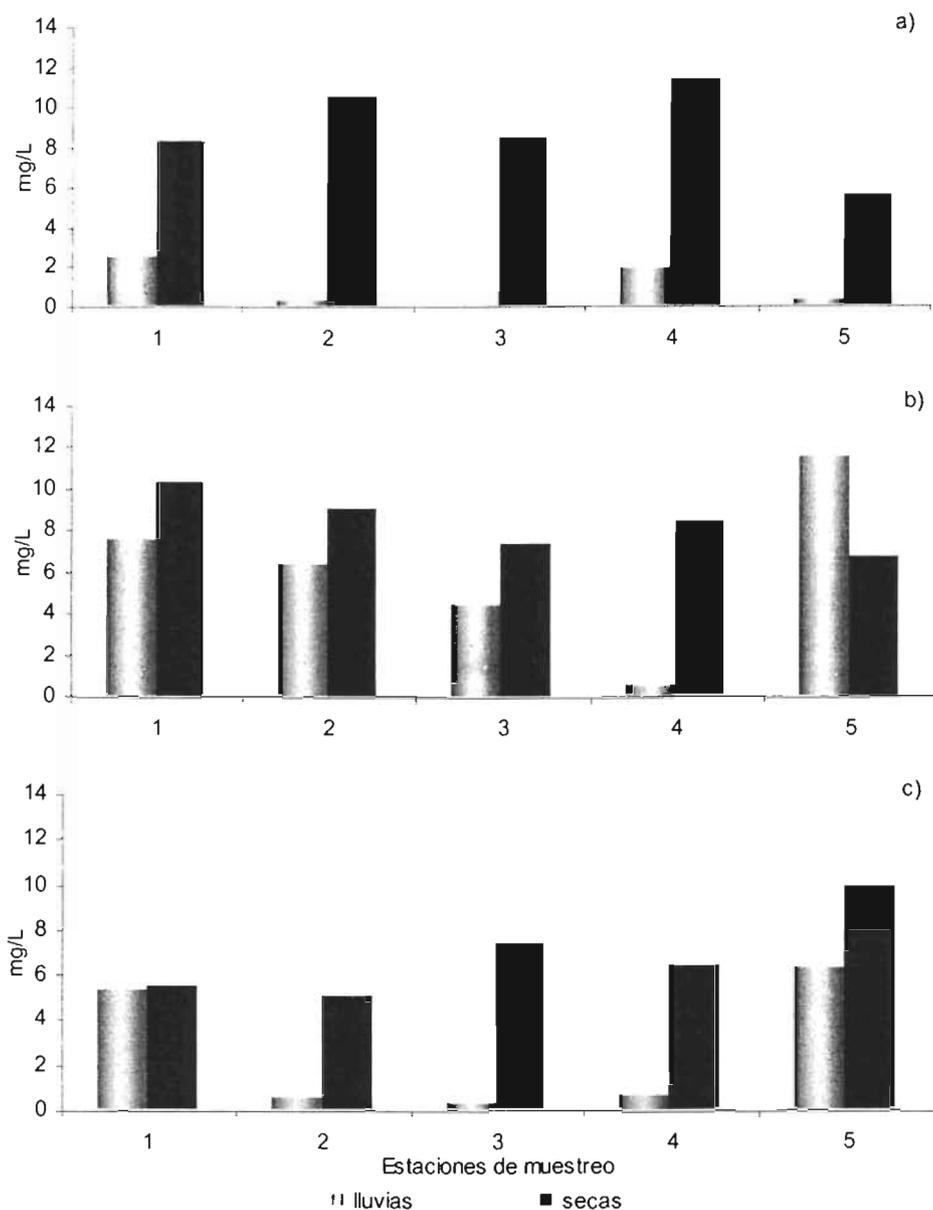


Figura 7. Oxígeno disuelto registrado en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

En lo que se refiere al fósforo total (PT), las concentraciones oscilaron entre 0.4 y 43.6 mg/L, en lo que se refiere a las dos épocas de muestreo no existe tendencia a incrementar en ninguna de las dos épocas. El valor más alto que se registró en la ciénegas fue en Lerma en la época de lluvias en la estación 3, con un valor de 27.10 mg/L, mientras que el valor más bajo se registró en Atarasquillo en lluvias con 0.4 mg/L. Atarasquillo registro los valores más bajos 0.4 mg/L en

lluvias y 1.8 mg/L en secas. Almoloya en promedio registro los valores más elevados con respecto a las otras dos ciénegas, lluvias 15.16 mg/L y secas 22.32 mg/L (Figura 8).

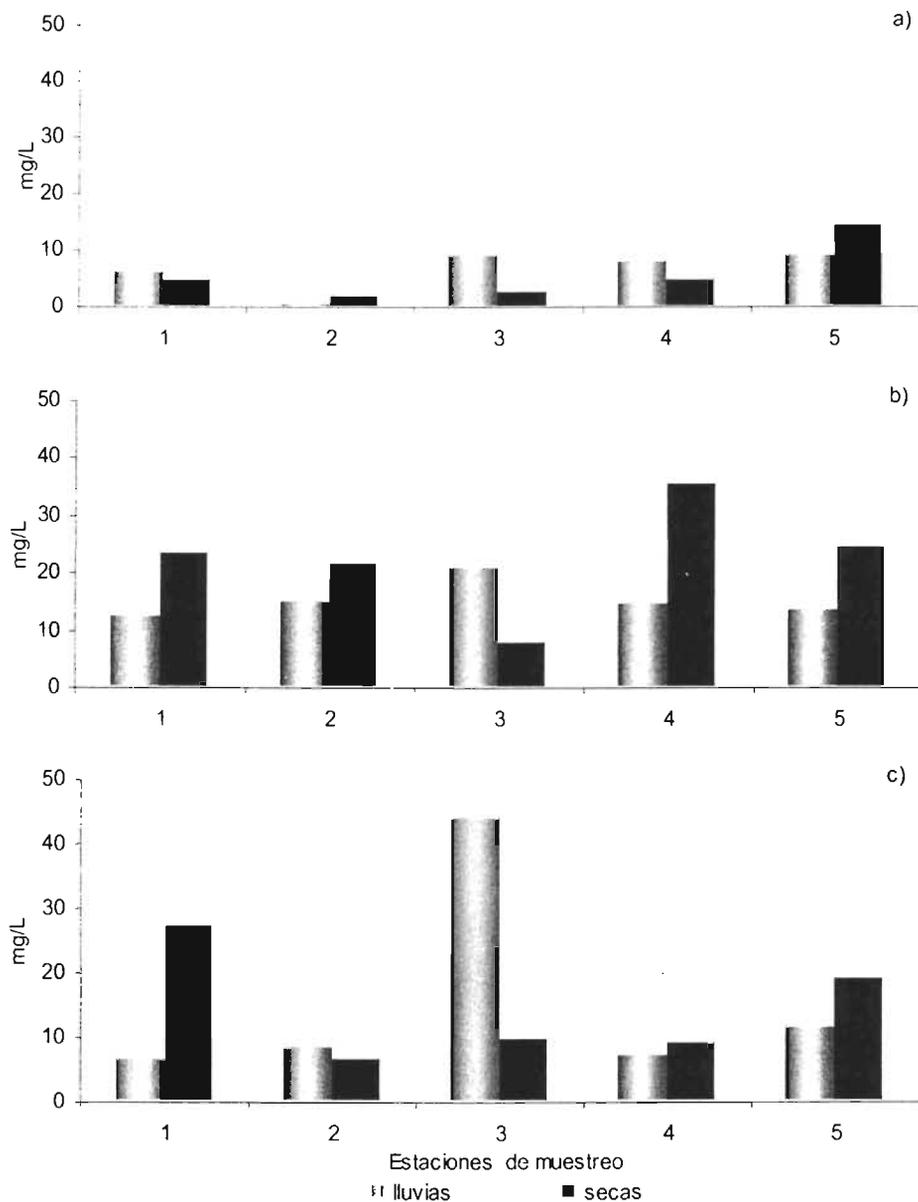


Figura 8. Fósforo total (PT) registrado en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

En lo que se refiere a los a la fracción soluble de fósforo, los ortofosfatos, estos se encontraron entre 1.30 y 17.0 mg/L. Entre las dos épocas de muestreo se incrementa ligeramente en la época de secas aunque no es una tendencia marcada. El valor más alto se obtuvo en Lerma estación 1, en la época de secas

con 17.14 mg/L, los valores más bajos están en Atarasquillo en las dos épocas, la estación 5 fue la más alta. Almoloya se registraron valores en promedio más elevados con respecto a las otras dos ciénegas, 10.34 mg/L en lluvias y 11.80 mg/L en secas (Figura 9).

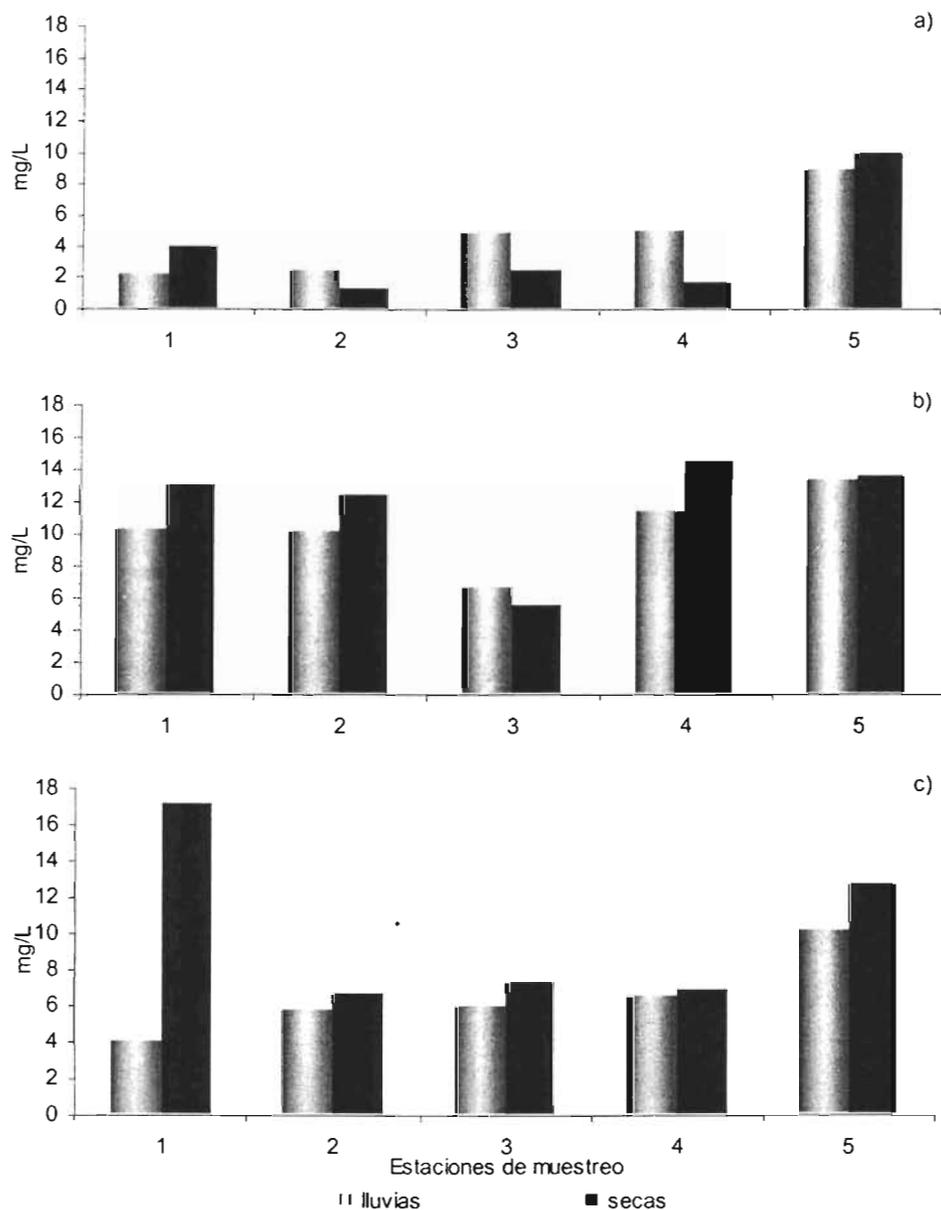


Figura 9. Ortofosfatos en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

Del análisis de nitrógeno total (NT), en lo que se refiere a las dos épocas de muestreo no existe una tendencia marcada a incrementar en alguna de las dos

épocas. Es importante señalar que Almoloya y Lerma tienden a incrementar los valores de nitrógeno total durante la época de lluvias con respecto a la época de secas, mientras que en Atarasquillo ocurre lo contrario, existe un incremento en secas. Las estaciones, 5 de Lerma lluvias y Atarasquillo secas, destacan sobre el resto alcanzando valores de NT de 17.60 y 13.9 mg/L respectivamente. En general las concentraciones más altas se registraron en las estaciones de la ciénega de Lerma durante la época de lluvias (Figura 10).

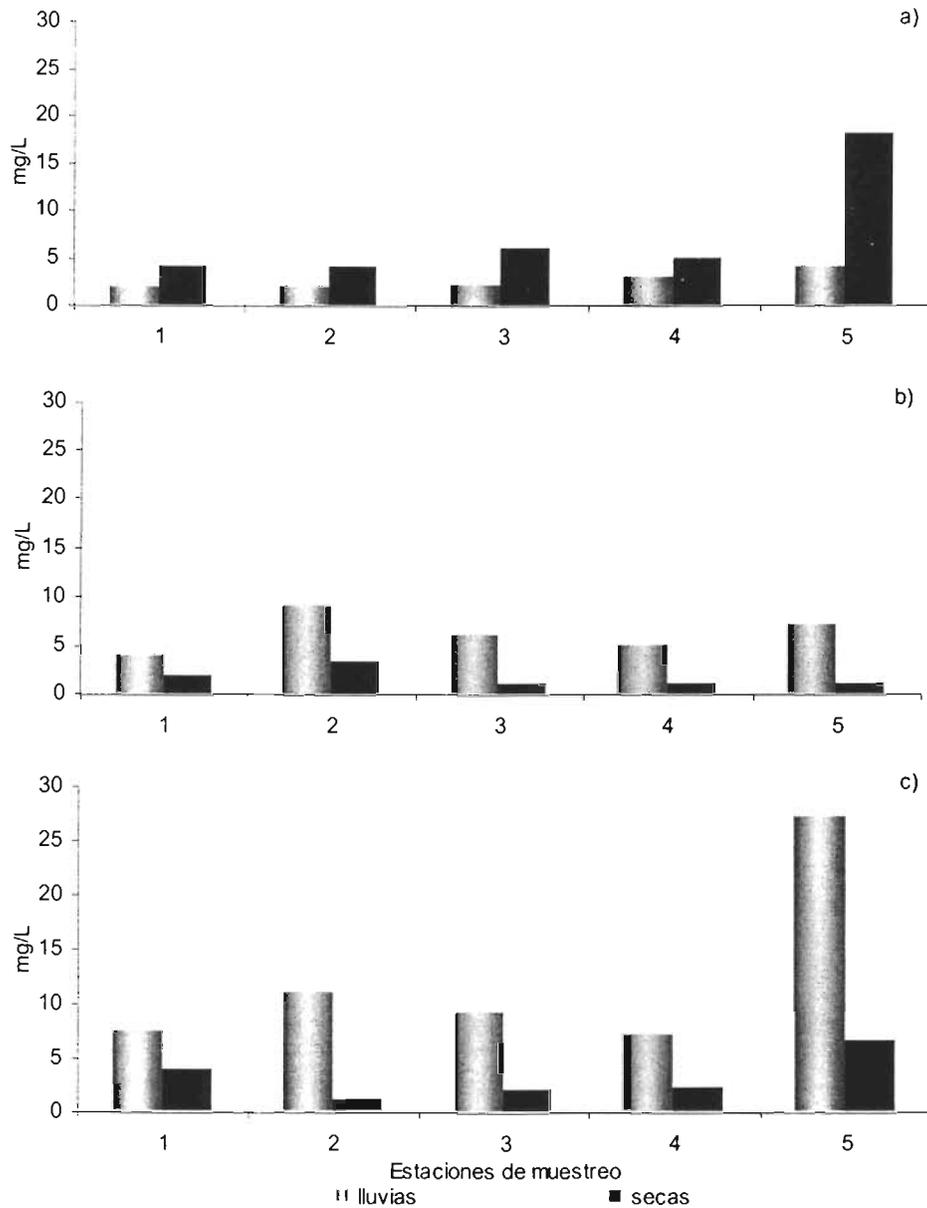


Figura 10. Nitrógeno total (NT) registrado en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

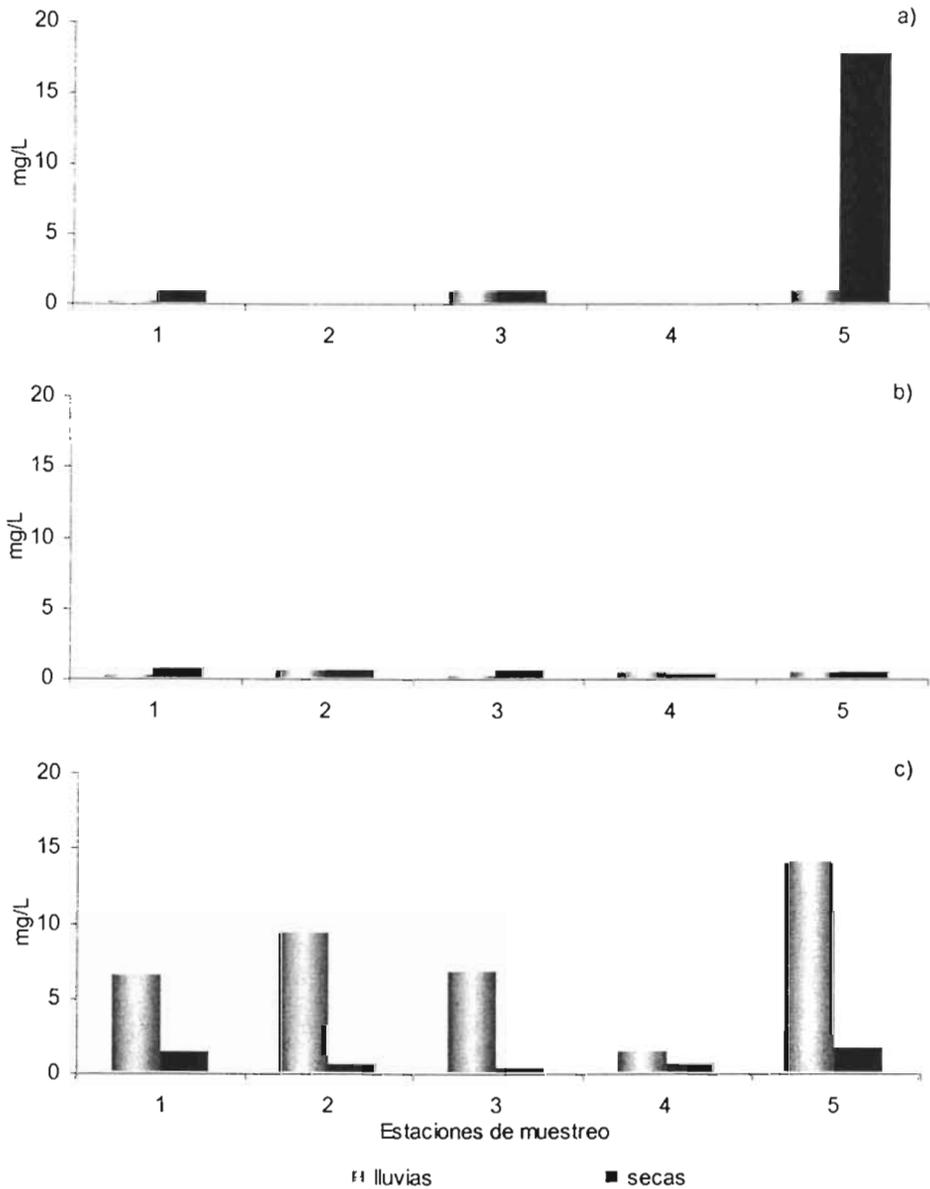


Figura 11. Amonio registrado en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

En lo que se refiere al nitrógeno en forma de amonio, los valores oscilaron en su mayoría entre 0.10 y 0.90 mg/L. No existe una tendencia al incremento de los valores de amonio en las dos épocas de muestreo. No obstante, la ciénega de Lerma presenta un incremento en lluvias con respecto a la época de secas, en todas sus estaciones de forma importante, en época de lluvias es valor promedio es 7.54 mg/L y en secas 0.88 mg/L. Las concentraciones más altas de amonio se

registraron en las estaciones 5, de Lerma lluvias y Atarasquillo secas, los valores fueron 13.90 y 17.60 mg/L respectivamente (Figura 11).

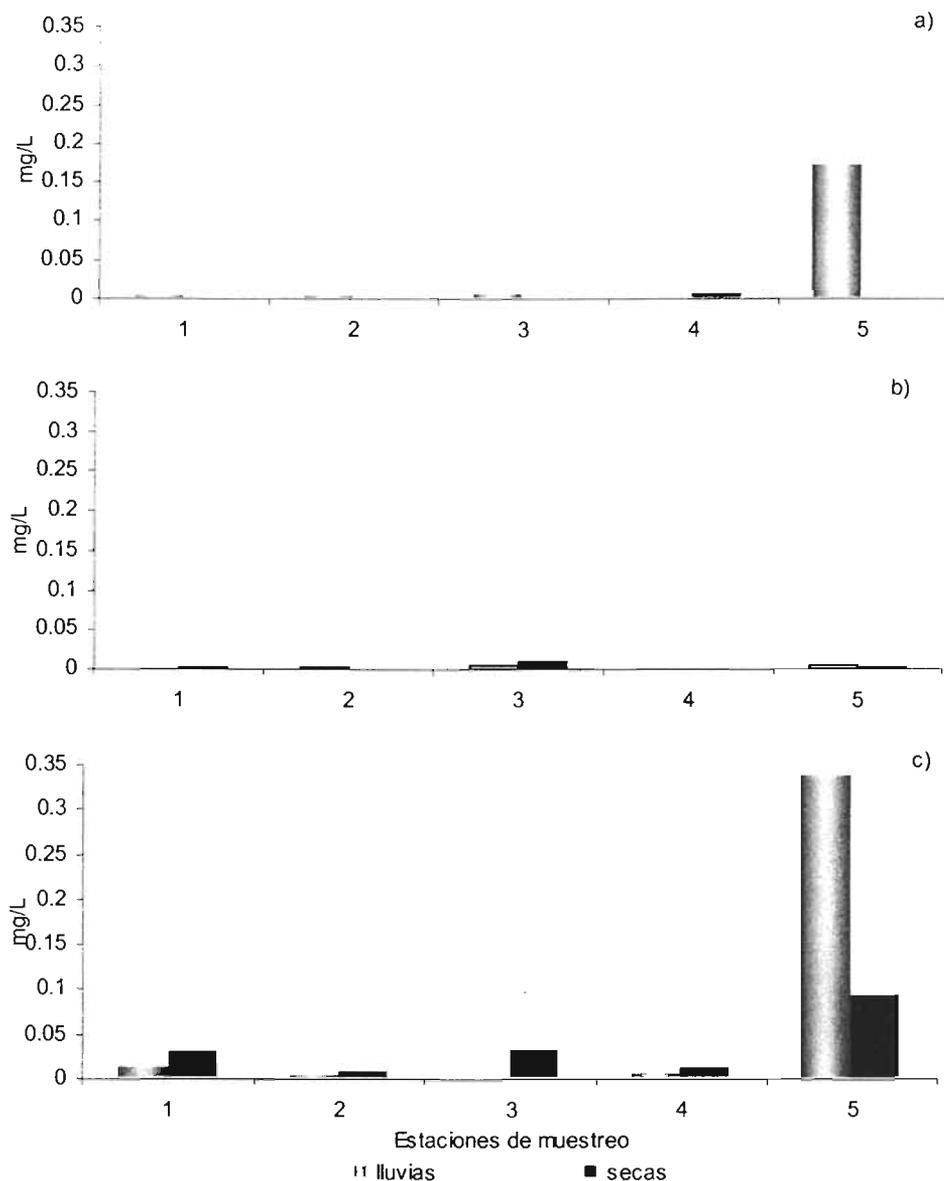


Figura 12. Nitrógeno en forma de nitritos registrado en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

Para nitrógeno en forma de nitritos, en las Ciénegas del Lerma los valores oscilaron entre valores cercanos a 0 y 0.336 mg/L. Entre épocas de muestreo no existe una tendencia a incrementar en ninguna de las dos épocas. El valor más elevado que se registró en las ciénegas, fue en Lerma en la época de lluvias con 0.336 mg/L. Asimismo, Atarasquillo en su estación 5, se encontró un valor

sobresaliente de 0.170 mg/L. En Almoloya los valores fueron cercanos a 0 (Figura 12).

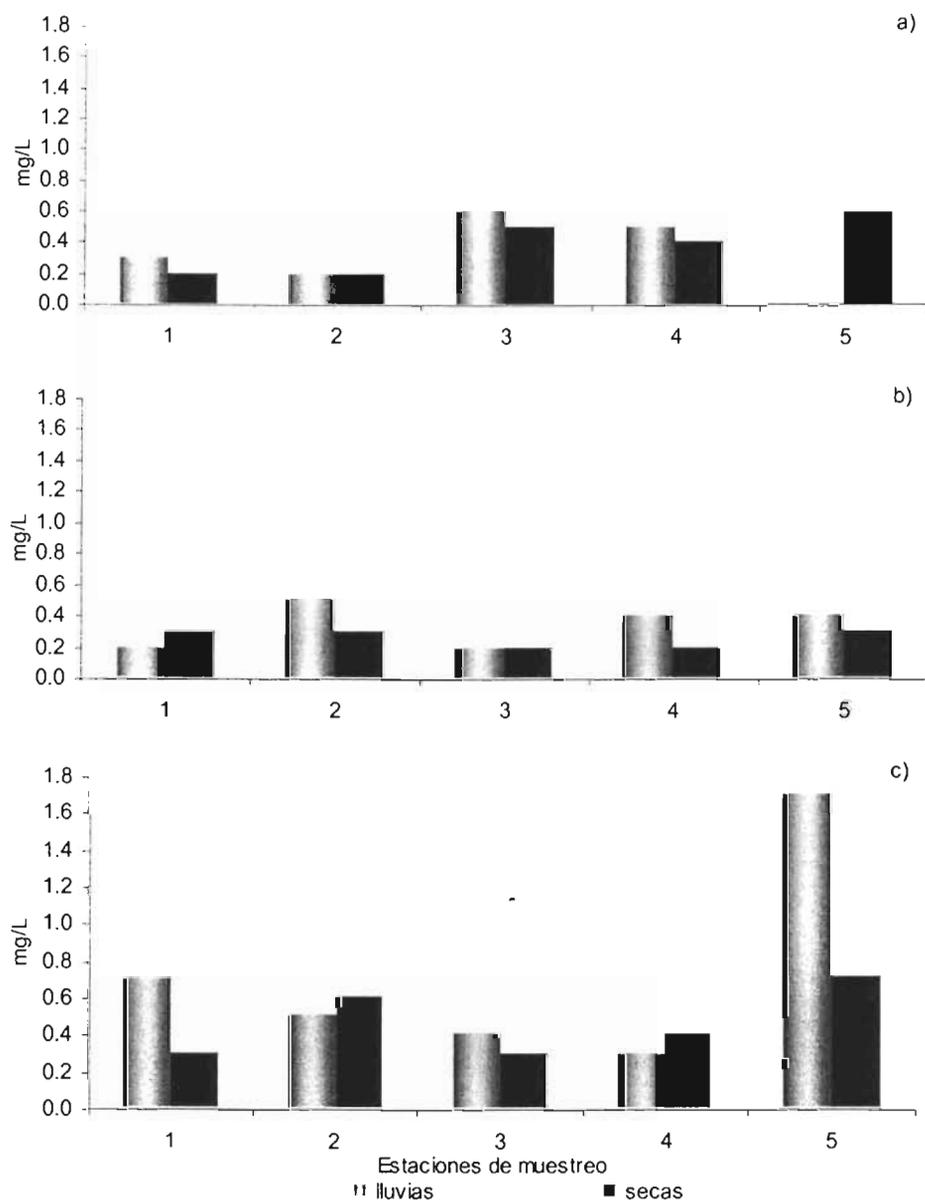


Figura 13. Nitrógeno en forma de nitratos en las Ciénegas del Lerma, durante las estaciones de lluvias de 2003 y secas 2004. a) Atarasquillo, b) Almoloya, c) Lerma.

Para nitrógeno en forma de nitratos los valores en las ciénegas oscilaron entre valores cercanos a 0 y 1.70 mg/L. Entre épocas no existe una tendencia a incrementar en ninguna de las dos épocas. Los valores de nitratos fueron bajos la mayoría por debajo de 0.05 mg/L (Figura 13).

6.2 Parámetros bacteriológicos

Los resultados de los análisis bacteriológicos en las Ciénegas del Lerma muestran que casi en la totalidad de las estaciones de las tres ciénegas existe la presencia de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF) (Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1. Análisis bacteriológico del agua de la Ciénega de Atarasquillo, Estado de México.

Sitio de muestreo	Unidad	Época de lluvias-2003	Época de secas-2004
Estación 1	CT	6 000	17 000
	CF	1 000	1 000
	EF	4 000	2 000
Estación 2	CT	8 500	1 000
	CF	10 500	1 000
	EF	18 000	2 000
Estación 3	CT	9 000	1 500
	CF	31 000	1 000
	EF	43 000	10 000
Estación 4	CT	1 000	20 000
	CF	<1	64 500
	EF	2 000	20 500
Estación 5	CT	30 000	4 250 000
	CF	400 000	600 000
	EF	40 000	450 000

CT: Coliformes Totales, CF: Coliformes Fecales, EF: Enterococos Fecales.

Específicamente para la Ciénega de Atarasquillo la estación 5 es la que presenta los valores más elevados, ya que alcanza valores hasta de 425,000 unidades formadoras de colonias (UFC) durante la época de secas. En el mismo sentido las estaciones 1 y 4, presentan mayores niveles de UFC/100 mL durante esta época, para coliformes totales. Las estaciones 2 y 3 presentan conteos altos en la época de lluvias, a diferencia de la época de lluvias.

Almoloya tiene en la estación 5 los conteos más altos para coliformes totales, la época de secas se registraron los conteos más elevados en relación con la época

de se lluvias. La estación 2 en lluvias se destaca del resto, ya que los conteos no mostraron presencia de coliformes totales y fecales, sin embargo, hay un incremento de las poblaciones bacterianas en la época de secas.

Tabla 2. Análisis bacteriológico del agua de la Ciénega de Almoloya, Estado de México.

Sitio de muestreo	Grupo	Unidad	Época de lluvias-2003	Época de secas-2004
Estación 1	CT		2 000	29 000
	CF		1 000	1 000
	EF	UFC/100mL	46 000	2 500
Estación 2	CT		<1	40 000
	CF		<1	1 000
	EF	UFC/100mL	16 500	3 000
Estación 3	CT		6 000	15 000
	CF		1 000	2 000
	EF	UFC/100mL	9 000	9 000
Estación 4	CT		4 000	35 500
	CF		1 000	1 000
	EF	UFC/100mL	29 000	3 000
Estación 5	CT		7 500	51 500
	CF		5 000	1 000
	EF	UFC/100mL	39 000	4 000

CT: Coliformes Totales, CF: Coliformes Fecales, EF: Enterococos Fecales.

En la Ciénega de Lerma los conteos bacterianos más altos en las dos épocas de muestreo, se presentaron en la época de lluvias, sobresaliendo las cinco estaciones, ya que sobrepasan los valores de UFC/100 mL, de las otras dos ciénegas en sus dos épocas. Del mismo modo, se destaca la estación 5 del resto de las estaciones ya que en lluvias se registraron 55'000,000 UFC/100 mL para coliformes fecales y en secas 4'050,000 UFC/100 mL para coliformes fecales.

Tabla 3. Análisis bacteriológico del agua de la Ciénega de Lerma, Estado de México.

Sitio de muestreo	Unidad	Época de lluvias-2003	Época de secas-2004
Estación 1	CT	1 600 000	24 000
	CF	1 600 000	1 500
	EF UFC/100mL	200 000	2 000
Estación 2	CT	3 150 000	2 000
	CF	320 000	1 000
	EF UFC/100mL	650 000	3 000
Estación 3	CT	3 150 000	6 000
	CF	7 550 000	1 000
	EF UFC/100mL	385 000	2 500
Estación 4	CT	230 000	15 000
	CF	215 000	1 000
	EF UFC/100mL	30 000	3 500
Estación 5	CT	32 500 000	4 050 000
	CF	55 000 000	3 650 000
	EF UFC/100mL	3 000 000	240 000

CT: Coliformes Totales, CF: Coliformes Fecales, EF: Enterococos Fecales.

De acuerdo con el cociente coliformes fecales- enterococos fecales (CF/EF) y de acuerdo con los valores la tabla de Geldreich y Kener (1969), Anexo V, la fuente principal de contaminación en la ciénega de Lerma es de origen humano durante las dos épocas, mientras en Almoloya predomina la contaminación de origen animal y en Atarasquillo hay una mezcla de contaminación animal y humana.

Tabla 4. Relación Coliformes Fecales-Enterococos fecales.

Ciénega	Estación	Época de lluvias-2003	Época de secas-2004
Atarasquillo	1	0.25	0.50
	2	0.58	0.50
	3	0.72	0.10
	4	0	3.15
	5	10.00	1.33
Almoloya	1	0.02	0.40
	2	0	0.33
	3	0.11	0.22
	4	0.03	0.33
	5	0.13	0.25
Lerma	1	8.00	0.75
	2	0.49	0.33
	3	19.61	0.40
	4	7.17	0.29
	5	18.33	15.21

6.3 Metales pesados

A continuación se presentan las tablas con los resultados para metales pesados en agua.

Tabla 5. Análisis de metales pesados en agua de la Ciénega de Atarasquillo, Estado de México.

Época Estación Elemento	Lluvias-2003					Secas-2004				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Ni	0.0005	0.0011	0.0012	0.0004	0.0012	0.0008	0.0009	0.0006	0.0005	0.0013
Cu	0.0025	0.0039	0.0063	0.0018	0.0009	0.0053	0.0041	0.0021	0.0049	0.0104
Zn	0.0310	0.0194	0.0286	0.0360	0.0277	0.0367	0.0199	0.0095	0.0271	0.0404
Pb	0.0006	<0.0001	0.0004	0.0005	0.0001	0.0015	0.0007	<0.0001	0.0003	0.0001

Tabla 6. Análisis de metales pesados en agua en mg/L de la agua de la ciénega de Almoloya, Estado de México.

Época	Lluvias-2003					Secas-2004				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Estación										
Elemento										
Ni	0.0029	0.0080	0.0003	0.0012	0.0015	0.0014	0.0019	0.0006	0.0007	0.00010
Cu	0.0065	0.0246	0.0020	0.0031	0.0068	0.0037	0.0028	0.0026	0.0042	0.0021
Zn	0.0450	0.1270	0.0063	0.0114	0.0090	0.0130	0.0138	0.0125	0.0017	0.00115
Pb	0.0012	0.0046	0.0001	<0.0001	0.0004	0.0005	0.0004	<0.0001	0.0002	<0.0001

Tabla 7. Análisis de metales pesados en agua en mg/L de la ciénega de Lerma, Estado de México.

Época	Lluvias-2003					Secas-2004				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Estación										
Elemento										
Ni	0.0051	0.0026	<0.0001	0.0018	0.0022	0.0011	0.0004	0.0005	0.0004	0.0007
Cu	0.0081	0.0043	0.0064	0.0052	0.0093	0.0034	0.0022	0.0017	0.0028	0.0024
Zn	0.1180	0.0152	0.0180	0.0210	0.0399	0.0185	0.0091	0.0131	0.0107	0.0102
Pb	0.0011	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.0012	0.0001	0.0003	<0.0001

A continuación se presenta la tabla con los resultados para metales pesados en sedimentos de las Ciénegas del Lerma.

Tabla 8. Análisis de metales pesados en sedimentos (mg/kg) en las Ciénegas del Lerma, Estado de México.

Ciénega	Atarasquillo					Almoloya					Lerma				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Cr	<0.2	<0.2	11.5	<0.2	<0.2	<0.2	3.3	<0.2	<0.2	32	41.0	2.7	<0.2	<0.2	33.9
Ni	14.4	85.4	27.9	33.8	43.8	26.9	48.0	33.9	29.7	49.9	20.7	18.4	84.7	26.0	7.1
Cu	13.8	31.0	23.4	25.4	55.3	23.1	34.8	26.3	16.6	18.4	15.9	16.5	29.7	23.4	20.9
Zn	34.5	168.2	87.0	104.7	165.0	46.0	132.8	107.3	92.0	107.3	74.9	74.6	84.2	81.9	59.8
As	6.9	<0.2	7.5	2.7	<0.2	<0.2	<0.2	39.7	6.3	<0.2	17.2	<0.2	<0.2	3.9	<0.2
Pb	52.6	79.1	65.8	94.5	74.7	72.2	76.9	379.1	76.3	68.0	27.8	42.5	<0.2	34.6	41.1

Para metales pesados en agua no se observó, que existiera una tendencia por épocas de muestreo. Las concentraciones son muy bajas cercanas a los límites de detección de la técnica. Entre ciénegas no existe una diferencia notable. Zinc destaca de los demás elementos, aunque sus concentraciones son bajas.

Para sedimentos, se observa que las concentraciones de plomo en la estación 3 de Almoloya son altas en relación con el resto de las estaciones (379.1 mg/Kg), las concentraciones se encuentran en su mayoría por debajo de 90 mg/Kg. En zonas de las tres ciénegas no se pudo detectar, su concentración es baja. Cromo, alcanzó su concentración más alta en la estación 1 de Lerma, en la mayoría de las estaciones no se detectó. El arsénico se encontró en bajas concentraciones en las tres ciénegas, el valor alto se registró en Almoloya, estación 3, con 39.7 mg/Kg. El cadmio no se registró en la mayoría de las estaciones, sin embargo hay una concentración importante en la estación 1 de Lerma. En todas las estaciones se registró la presencia de níquel, en concentraciones que oscilaron entre 2.5 y 85.3 mg/kg (Tabla 8).

6.4 Análisis estadístico

De acuerdo con resultados obtenidos del análisis de varianza para la ciénega de Atarasquillo, resalta que para fósforo total, nitrógeno total y sus fracciones a si como para el grupo de bacterias, no hay diferencias significativas en cuanto a épocas (Tabla, 9).

Tabla 9. Análisis de varianza, para la comparación entre la época de lluvias y la época de secas, para la ciénega de Atarasquillo, para cada parámetro.

Parámetro	Época de lluvias Media geométrica	Época de secas Media geométrica	F	p
Profundidad	0.60	0.40	11.849	0.004
Temperatura	15.57	13.16	3.251	0.145
Turbidez	45.26	34.08	0.234	0.653
pH	7.06	8.38	16.558	0.015
Conductividad	445.60	610.08	3.013	0.157
Oxígeno disuelto	1.03	8.87	62.747	0.001
Fósforo total	6.48	5.62	0.187	0.687
Ortofosfatos	4.64	3.87	0.613	0.477
Nitrógeno total	2.62	7.40	4.193	0.109
Amonio	0.36	3.86	1.123	0.348
Nitritos	0.03	0.01	1.027	0.367
Nitratos	0.32	0.38	0.193	0.682
CT	10900	857900	0.549	0.499
CF	88500	133500	0.194	0.682
EF	21400	96900	0.016	0.904

Para Almoloya, existen diferencias significativas para nitrógeno total (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza, para la comparación entre la época de lluvias y la época de secas, para la ciénega de Almoloya, para cada parámetro.

Parámetro	Época de lluvias Media geométrica	Época de secas Media geométrica	F	P
Profundidad	1.32	0.44	99.489	0.000
Temperatura	19.74	15.15	38.86	0.003
Turbidez	42.66	33.44	1.185	0.337
pH	8.01	8.75	9.841	0.034
Conductividad	785.40	1007.88	19.643	0.014
Oxígeno disuelto	6.05	8.35	1.287	0.319
Fósforo total	15.16	22.32	1.654	0.267
Ortofosfatos	10.34	11.80	3.149	0.150
Nitrógeno total	6.20	1.64	41.871	0.002
Amonio	7.54	0.88	12.301	0.024
Nitritos	0.07	0.03	0.498	0.519
Nitratos	0.34	0.26	1.882	0.241
CT	3900	34200	4.333	0.108
CF	1600	1200	0.658	0.462
EF	27900	4300	14.041	0.019

En Lerma al igual que Almoloya, existen diferencias significativas para la profundidad, pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, nitrógeno total y enterococos fecales.

Tabla 11. Análisis de varianza, para la comparación entre la época de lluvias y la época de secas, para la ciénega de Lerma, para cada parámetro.

Parámetro	Época de lluvias Media geométrica	Época de secas Media geométrica	F	P
Profundidad	0.56	0.48	255.491	0.000
Temperatura	20.01	16.80	5.258	0.003
Turbidez	34.96	7.26	9.526	0.036
pH	7.14	7.81	22.433	0.009
Conductividad	479.40	619.01	14.219	0.019
Oxígeno disuelto	2.60	6.84	13.004	0.022
Fósforo total	15.26	14.08	0.016	0.903
Ortofosfatos	6.41	10.04	2.255	0.207
Nitrógeno total	12.30	3.20	8.957	0.040
Amonio	0.34	0.48	1.555	0.280
Nitritos	0.01	0.01	0.666	0.460
Nitratos	0.72	0.46	1.180	0.295
CT	812600	819400	20.132	0.010
CF	12937000	730900	34.096	0.004
EF	853000	50200	23.123	0.008

El análisis de varianza entre ciénegas mostró que para los parámetros que para temperatura, turbidez, y oxígeno disuelto no existen diferencias significativas, durante los dos muestreos. Almoloya es diferente en cuanto a profundidad, ya que es la que registró mayor profundidad (Figura 14).

Todas las formas de nitrógeno, en las tres ciénegas no son significativamente. Para fósforo total, Atarasquillo y Almoloya son diferentes, para ortofosfatos, ocurre lo mismo (Figura 16).

En lo que se refiere a las bacterias, para coliformes fecales las tres ciénegas no son diferentes. En cuanto a coliformes totales y enterococos fecales, las tres ciénegas se comportaron igual, Almoloya y Lerma son significativamente diferentes. Lerma es la presenta los valores más altos.

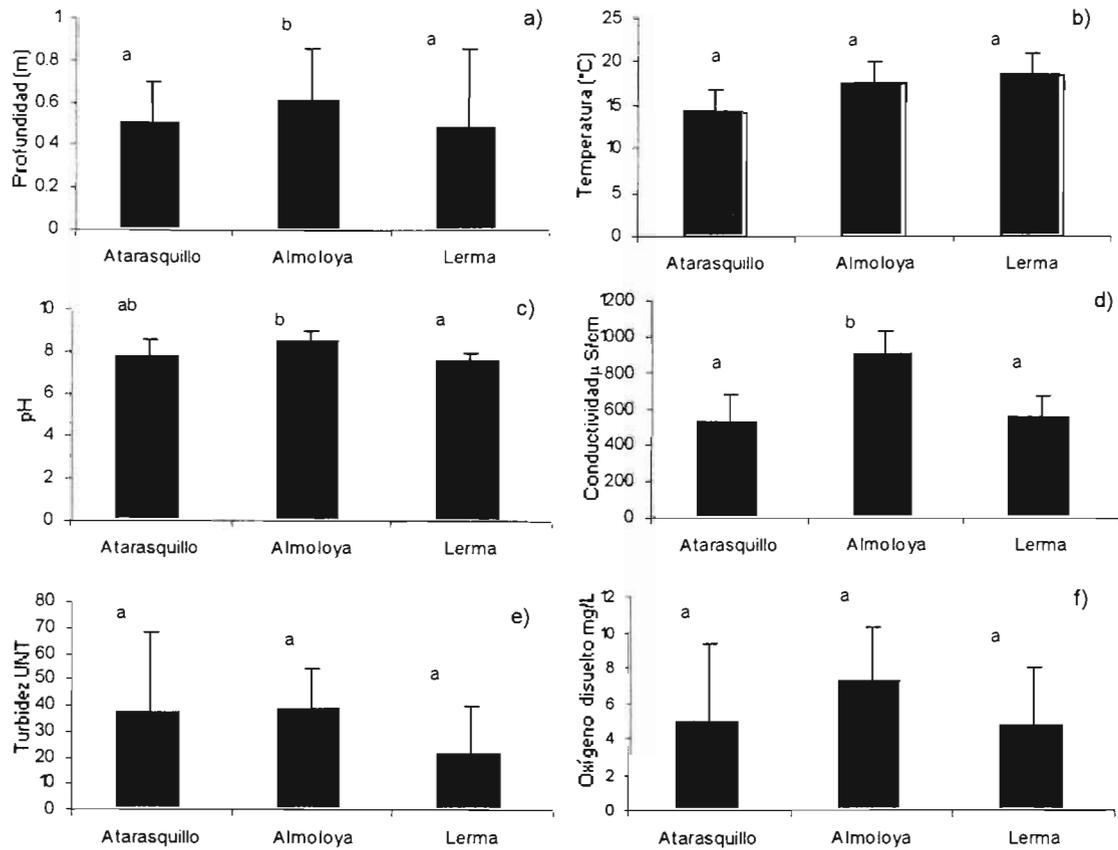


Figura 14. Análisis de varianza entre ciénegas para a) profundidad, b) temperatura, c) pH, d) conductividad, e) turbidez y f) oxígeno disuelto. Letras diferentes indican diferencias significativas $p < 0.05$.

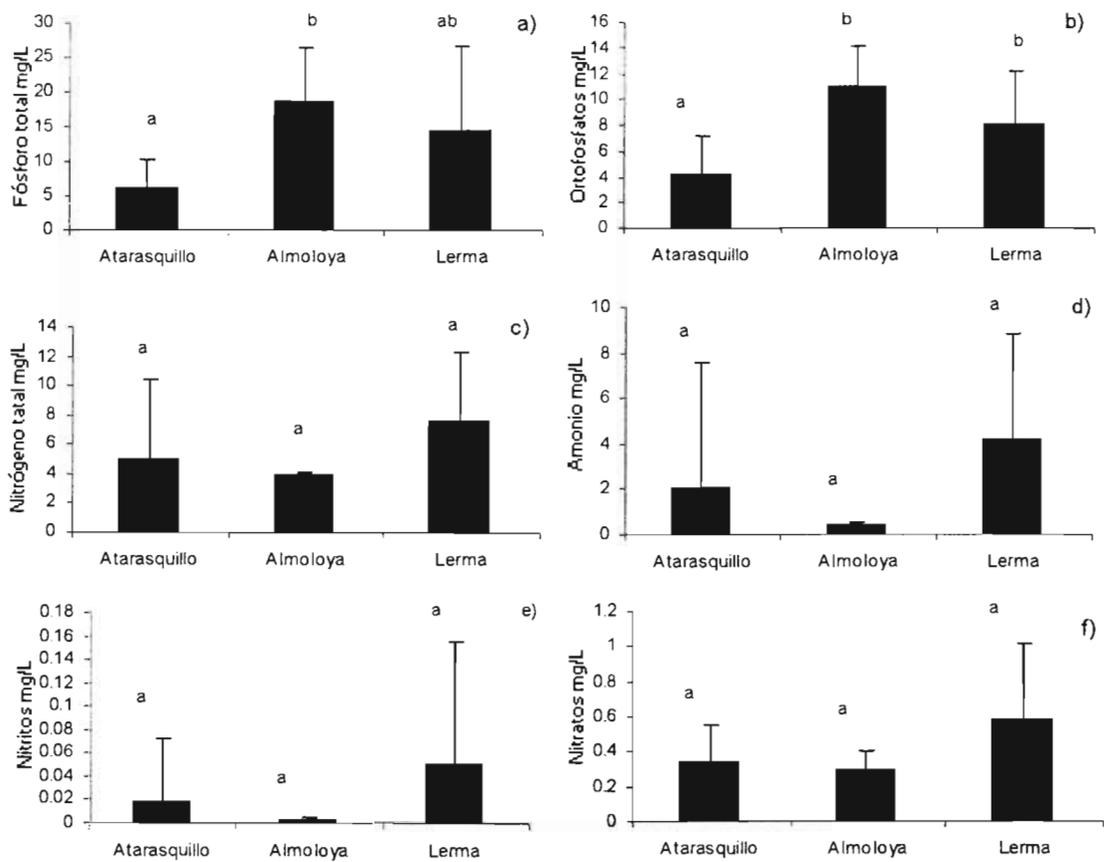


Figura 15. Análisis de varianza entre ciénegas para a) fósforo total, b) ortofósatos, c) nitrógeno total, d) amonio, e) nitritos y f) nitratos. Letras diferentes indican diferencias significativas $p < 0.05$.

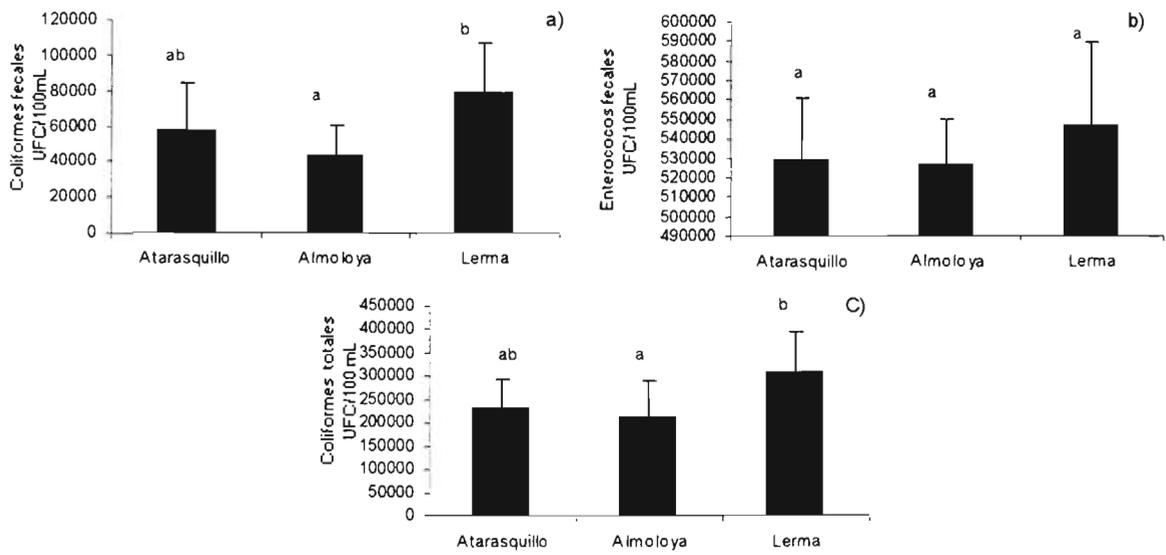


Figura 16. Análisis de varianza entre ciénegas para. a) coliformes totales (CT), b) coliformes fecales (CF) y c) enterococos fecales (EF). Letras diferentes indican diferencias significativas $p < 0.05$.

8. Discusión

8.1 Parámetros fisicoquímicos

Las Ciénegas del Lerma están afectadas estaciones de lluvias y secas, ya que disminuyen las profundidades en la época de secas y se incrementan en la época de lluvias, producto del ingreso del agua tanto del agua de lluvia directamente como por el aporte de algunos arroyos o canales. Es importante señalar que no en todos los sitios de muestreo hay un incremento del nivel en la época de lluvias, algunos sitios mantienen la misma profundidad. Esto se debe a que las ciénegas son heterogéneas en cuanto a su morfometría y en algunos sitios solo se incrementa el área de inundación y no la profundidad.

Para las tres ciénegas, la época de lluvias es esencial, ya que reciben un aporte importante de agua, influenciando los diferentes procesos bióticos y abióticos. Atarasquillo, que recibe en forma directa la entrada del río San Faustino, mientras que Lerma tiene la influencia de ocho arroyos y del río Lerma en su trama inicial, el cual durante la época de lluvias llega a desbordarse, aportando un gran volumen de agua a las ciénegas. Esto ha ocurrido históricamente, generalmente los terrenos que ocupan las ciénegas suelen inundarse, durante los meses de lluvias (Albores, 1992; Martínez, 1993; Sugiera, 1998). En el caso de Almoloya, esta no recibe agua de ningún arroyo, pero si algunos escurrimientos superficiales, ya que los manantiales que la alimentaban han sido entubados (Abasolo *et al.*, 2001). La ciénega de Almoloya es la que posee un volumen constante de agua, mientras que las otras dos disminuyen su área de inundación en forma drástica, así como su volumen durante la época de secas. Mientras que Almoloya, posee zonas que alcanzan más de tres metros de profundidad.

La comparación entre épocas (ANOVA $p < 0.05$) indicó, que existe una diferencia significativa entre épocas, que existe un incremento substancial de los niveles de agua durante la época de lluvias, a pesar de la extracción de agua del subsuelo y del bombeo de agua, para evitar la inundación de las poblaciones aledañas.

La temperatura, regula los procesos químicos y biológicos, (Weatherley y Gill, 1989; Tchonbanoglous, 1987; Lampert y Sommer, 1997). En las ciénegas se

registraron cambios importantes en la temperatura del agua, varió entre 12 y 21 °C. La época de lluvias fue la que menor temperatura registró de forma sustancial. Esto provoca que la presencia de organismos acuáticos no resistentes a las variaciones drásticas de temperatura no sobrevivan. Organismos como tilapias y carpas, presentes en las ciénegas, se adaptan a estas variaciones, viven en temperaturas de 15°C y menores a 40°C, (Maitland y Cambell, 1992; SEPECA, 1994).

Para la turbidez, esta tiende a incrementar durante la época de lluvias en las tres ciénegas. En Lerma si hay una marcada diferencia entre Las épocas de muestreo disminuyendo notablemente en promedio de 35 Unidades Nofelométricas de Turbidez (UNT) en lluvias a 7 UNT, en promedio. Generalmente, en agua pura el valor sería de 0, el incremento de la turbidez está ocasionado por la presencia de partículas sólidas en suspensión o coloidales que impiden la transmisión de la luz (Seoáñez, 1999). Aparentemente el desbordamiento de los canales que cruzan el la ciénega y el río Lerma provocan un aumento considerable del material suspendido. Atarasquillo en su estación 5 recibe directamente el río San Faustino, provocando en lluvias un incremento de la turbidez hasta 105 UNT, provocado por el arrastre de materiales en el caudal de este río, de acuerdo con la Organización Mundial del Salud (OMS) el agua potable debe contener entre 5 y 25 UNT (CEPIS, 2004).

En las Ciénegas del Lerma, se registraron valores de pH que oscilaron entre 6.60 y 9.16, esta es una característica de sistemas naturales abiertos (Wetzel, 2001), los valores registrados aumentan durante la época de secas y disminuyen durante la época de lluvias, debido a la disminución del volumen del agua producto de la concentración de sales o iones, (Boyd, 1982; Lampert y Sommer, 1997; Seoáñez, 1999).

De acuerdo con la norma NOM-001-ECOL-1996 para la vida acuática (DOF, 1997) el pH registrado no supera los valores recomendados por la norma (5-10), en valores de pH superiores a 9 muchos organismos disminuyen sus actividades (Lampert y Sommer, 1997). En Atmoloya se registraron valores de pH por encima de 8 durante la época de secas en todas las estaciones. Debido a la

concentración de sales por acumulación, ya que sólo drena una pequeña parte del agua al río Lerma y no recibe agua constantemente, en lluvias aumenta la disolución de sales y disminuyen los valores de pH. Estadísticamente (ANOVA, $P < 0.05$) si se existe diferencia entre las dos épocas en las tres ciénegas, registrándose un incremento significativo en la época de secas.

Tal como ocurre con el pH, la conductividad se incrementa durante la época de secas en las tres ciénegas, debido a que los compuestos disueltos en el agua y disociados en iones, se concentran en un volumen menor (Seoáñez, 1999). La conductividad, además proporciona información acerca del nivel de contaminación del agua, ya que el agua en estado puro no presenta carácter conductor, debido al bajo grado de disolución iónica que presenta. Para agua potable y de desechos domésticos, ha sido reportada entre 50 y 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para aguas de desechos industriales, alcanza los 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (APHA, 1998). En las ciénegas, la conductividad no supera el intervalo para agua de uso domestico, pero si supera la conductividad para agua potable 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de acuerdo con CEPIS (2004), la conductividad registrada en las ciénegas, osciló entre 375 y 1,015 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En Almoloya se registraron los valores altos en secas que en lluvias estas variaron entre 600 y 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hay que recordar que aquí también se presentaron los niveles altos de pH durante el muestreo, aparentemente existe un número importante iones disociados y al mismo tiempo un mayor concentraciones de sales, probablemente indica la presencia de formas bicarbonatadas (Delincé, 1992). En Lerma y Atarasquillo, en la época de secas se registraron valores bajos, generados por la entrada de agua a ambas ciénegas, que contienen diferentes compuestos de origen domestico y agrícola.

El oxígeno disuelto se encuentra en baja concentración en las tres ciénegas durante la época de lluvias. La entrada de agua a las ciénegas y una disminución de la temperatura (aumento de la solubilidad del oxígeno) haría suponer que existiría más oxígeno disuelto (Wetzel, 2001; Tchonbanoglous, 1987; Lampert y Sommer, 1997). Sin embargo, mucha del agua que entra a las ciénegas acarrea un gran cantidad de materia orgánica, en particular en Lerma y Atarasquillo, lo que provoca una disminución del oxígeno, resultado del gasto realizado durante la

oxidación de la materia orgánica en el agua y en la interfase de sedimentos, en la cual la descomposición bacteriana es mucho más intensa (Wetzel, 2001; Goldman y Horne, 1983). Las concentraciones de oxígeno disuelto durante la época de lluvias, en Lerma en las estaciones 2, 3 y 4, alcanzaron niveles mínimos (por debajo de 0.6 mg/L), casi condiciones de anoxia (Lampert y Sommer, 1997), debido al desbordamiento directo del río Lerma, cuya carga de materia orgánica es elevada.

Es importante señalar que en las ciénegas se han llevado siembras de peces como Tilapia y Carpa, peces que son resistentes a variaciones extremas de las condiciones físicas, estos peces pueden vivir en aguas eutroficadas, y con concentraciones bajas de oxígeno (0.7 mg/L) (SEPECA, 1994; Zambrano, 1999). Sin embargo, en lluvias y debido a la entrada de aguas contaminadas a la ciénega de Lerma observamos una gran mortandad de peces, debido en parte a la disminución casi total del oxígeno, además del gran número de compuestos que entran por desbordamiento del agua hacia la ciénega, de uno de los ríos más contaminados del país, el río Lerma (Díaz-Delgado, 2002). Esto sin considerar que hay 3 canales, que cruzan la ciénega de oriente a poniente, desbordándose durante la época de lluvias.

En Atarasquillo en las estaciones 2, 3 y 5, los valores estuvieron por debajo de 0.4 mg/L, durante la época de lluvias. La estación 5 como ya se menciona es la entrada de río San Faustino, que arrastra en su cauce un gran cantidad de materia orgánica producto de desechos urbanos y agrícolas de tierras más elevadas.

Tanto en Lerma como en Atarasquillo, durante la época de secas, las concentraciones de oxígeno disuelto aumentan con respecto a la época de lluvias, debido a la disminución de la materia orgánica, ya que no reciben agua producto del desbordamiento de los ríos, además los sitios de muestreo reciben una gran cantidad de viento que hace circular el agua provocando un aumento de la concentración de oxígeno disuelto, ya que aumenta la solubilidad (Wetzel, 2001). Existe una diferencia marcada en cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, existe un promedio mayor en la época de secas ($p < 0.05$), en las Atarasquillo y Lerma.

En Almoloya los valores en general estuvieron por arriba de 4 mg/L, durante las dos épocas de muestreo, debido que no recibe la entrada de materia orgánica a través afluentes. No obstante, en la estación 4 se obtuvo un valor de 0.47 mg/L durante la época de lluvias, debido a que a un costado se encuentra un Laguna de oxidación que recibe el agua de desecho del poblado de Almoloya del Río. Esta laguna ésta separada por un bordo en teoría impermeable, pero, el agua se filtra, muestra de esto es la baja concentración de oxígeno disuelto. Estadísticamente no hay diferencias significativas entre épocas (ANOVA $p < 0.05$), no obstante se registró más oxígeno en época de secas que en época de lluvias.

El fósforo juega un papel importante en el metabolismo de los ecosistemas acuáticos (Wetzel, 2001), es considerado como uno de los nutrientes más importantes para los organismos. En las ciénegas, el fósforo total (PT) osciló entre 0.4 y 43.6 mg/L, en las dos épocas se encontró la presencia de fósforo. Estas concentraciones elevadas de fósforo pueden estimular el crecimiento de micro y macro organismos fotosintéticos provocando muchas veces la eutroficación (Lampert y Sommer, 1997). Estas concentraciones son superiores a las de las aguas tratadas municipales alcanzan de 3-4 mg/L de PT, mientras las aguas que contienen detergentes alcanzan 20 mg/L (Tchonbanoglous, 1987). Lerma en su estación 3 en lluvias registró 43.6 mg/L y en secas 9.3 mg/L, esta estación se encuentra a un costado del río Lerma, el aporte de las aguas de desborde pueden ser la causa de este incremento de PT, en la estación 5 se registraron valores altos de PT alcanzando 11.20 y 18.90 mg/L, en lluvias y secas respectivamente, ya que recibe agua directamente del poblado de San Pedro.

De forma natural las ciénegas son muy ricos en nutrientes y por lo tanto muy productivos, ya que son lugares de depositación (Wheeler, 1999). No obstante, en el sistema en estudio, las concentraciones de PT son muy elevadas debido a las descargas de aguas residuales domésticas y agrícolas, además del arrastre natural de las partes más elevadas de la cuenca, la concentración de fósforo en aguas naturales no supera 1 mg/L contribuyendo al problema de incremento de contaminación por acumulación de nutrientes APHA (1998).

. Tanto Lerma como Almoloya, superan la norma (NOM-001-ECOL-1996) para la vida acuática que establece 10 mg/L para la vida acuática, el ANOVA $p < 0.05$, mostró que estadísticamente no existen diferencias entre épocas de muestreo en las tres ciénegas, lo cual nos indica que es constante la presencia de fósforo total en concentraciones importantes a lo largo del año.

Los ortofosfatos, se encuentran en las ciénegas entre 1.30 y 17.0 mg/L, el valor más alto se obtuvo en Lerma estación 1 de lluvias, los valores más bajos están en Atarasquillo en las dos épocas, siendo la estación 5 fue la más alta, hay recordar que este sitio tiene influencia directa de aguas residuales que aportan fosfatos. Las concentraciones de ortofosfatos están muy relacionadas con la concentración de PT ya que los ortofosfatos son la forma soluble del fósforo y son una pequeña parte de la cantidad de fósforo presente en el agua (Barceló, 2000). Su presencia es producto de las aguas residuales domesticas. Así mismo, pueden tener su origen en la agricultura, ya que son utilizados en zonas de cultivo, puesto que son un compuesto primordial de los fertilizantes, estos compuestos generalmente son drenados hacia los cuerpos de agua mediante filtraciones de agua de origen pluvial (APHA, 1998). Los fosfatos orgánicos son formados originalmente por procesos biológicos y contribuyen en la contaminación del agua, estos provienen de descargas de agua domesticas a los cuerpos de agua. Estos fosfatos pueden ser producto de procesos biológicos derivados de la biota natural del agua (APHA, 1998). Finalmente, los ortofofatos son la forma del fósforo en la que generalmente asimilan los organismo más fácilmente, lo que puede ser un factor que puede permitir el desarrollo de organismo planctónicos y son un factor para provocar la eutrofización de las ciénegas (Tchonbanoglous, 1987).

El nitrógeno total (NT), en las estaciones 5 de Lerma lluvias y Atarasquillo secas, destaca sobre el resto alcanzando valores de NT de 17.60 y 13.9 mg/L respectivamente. En general, las concentraciones altas se registraron en las estaciones de la ciénega de Lerma durante la época de lluvias. De forma natural, los compuestos nitrogenados tienen dos tipos de fuentes: una externa o alóctona y otra interna o autóctona. La primera se refiere a aquellos compuestos inorgánicos

disueltos como nitratos o amonio, los cuales son utilizados por las plantas. Los compuestos de origen autóctono son el resultado de procesos de fijación llevados a cabo por bacterias y algas (Reid y Wood, 1976). En las ciénegas la fuente primordialmente de nitrógeno es externa, ocasionados por contaminación, al parecer el principal aporte de nitrógeno son las aguas residuales. En general, en aguas residuales, el contenido de nitrógeno total es 20-70 mg/L mientras que en ríos y aguas sin contaminación fuerte es de 0.1-3 mg/L (Campbell, 1987).

Durante la época de lluvias, en todas las estaciones el NT es más alto en que durante la época de secas aparentemente la entrada de aguas residuales a las ciénegas provocan este aumento, en conjunto con el lavado de suelos agrícolas ricos en fertilizantes nitrogenados que circundan las ciénegas. Disminuyendo en secas, debido a su uso por los organismos acuáticos y plantas acuáticas, por sedimentación por formación de compuestos nitrogenados (Wetzel, 2001; Lewis, 1996, Hambright *et al.*, 1998) y plantas enraizadas en el suelo de las ciénegas que lo utilizan para la generación de biomasa (Campbell, 1987). En cuanto a la norma (NOM-001-ECOL-1996) para la vida acuática que establece 25 mg/L de NT como límite permisible, solo la estación 5 de Lerma supera este límite ya que alcanza 27 mg/L en la época de lluvias; debido que se encuentra cerca de San Pedro y muchos de los drenajes a cielo abierto llegan a este sitio. El ANOVA $p < 0.05$, muestra diferencias entre las épocas para Almoloya y Lerma, sin embargo, siempre existe presencia de nitrógeno total en cantidades que sobrepasan 1 mg/L. Cabe resaltar que la estación 5 de Atarasquillo en secas registró 18 mg/L de NT, debido a la entrada del río San Faustino que en esta época lleva aguas residuales en su mayoría.

En las ciénegas se encontró presencia amonio, aunque el nitrógeno en forma de amonio se presenta naturalmente en aguas superficiales producto de la hidrólisis de urea (APHA, 1998). También es aportado por desechos domésticos y agrícolas, además puede ser resultado de procesos industriales (Seoáñez, 1999). En las ciénegas en las estación 5 de Lerma lluvias y Atarasquillo secas, se registraron los valores más altos, producto de su estrecho contacto con el poblado de San Pedro, que vierte sus desechos directamente a la ciénega. En Lerma se

obtuvieron los registros más elevados de amonio durante la época de lluvias debido al desbordamiento de los canales y ríos que la cruzan. La estación 5 de Atarasquillo en secas registró el valor más alto de 17.60 mg/L debido a la entrada del río San Faustino que en esta época lleva aguas residuales en su mayoría. Como observamos la concentración de NT en esta estación parece ser originada por el aporte principalmente de amonio (Figura 10 y 11). La presencia de amonio en concentraciones que sobrepasan 1mg/L, son características de agua con contaminación reciente, y pueden resultar de gran peligro potencial para la salud, son aguas que contienen la mayoría del nitrógeno como nitrógeno amoniacal (Seoánez, 1999).

De acuerdo con el ciclo del nitrógeno una concentración alta de nitrógeno es característica de una contaminación fresca o reciente. El amonio es el producto inicial en la descomposición del nitrógeno orgánico. A medida que transcurre el tiempo, en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos y estos en nitratos, los cuales son el producto final de la descomposición del nitrógeno orgánico. En otras palabras, en el estado reducido, N en el estado trivalente negativo, puede ser oxidado en nitritos por las bacterias nitrificantes.

En aguas superficiales el peligro para la salud decrece con la edad de la contaminación o tiempo de envejecimiento de está (autopurificación) y con la temperatura. En muchas aguas se encuentra en cantidades pequeñas de nitrógeno amoniacal en forma natural. Un incremento súbito del contenido normal de nitrógeno amoniacal de un agua implica la presencia de contaminación por aguas residuales y el correspondiente incremento en la demanda de cloro.

Aguas con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal presentan serios problemas de purificación, generalmente están asociadas con altas concentraciones de hierro, así como una alta demanda de cloro. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos (Campbell, 1987; Seoánez, 1999; Wetzel, 2001).

Para nitritos, el valor más alto se registró en la ciénega de Lerma en la época de lluvias (0.336 mg/L). También Atarasquillo en su estación 5 registró en valor sobresaliente de 0.170 mg/L, de acuerdo con la USEPA (2002), estos valores no pasan el límite presumible para agua potable de 1 mg/L, este se considera tóxico cuando sobrepasa 5 mg/L, (OMS, 1993). En programas de control de contaminación, es necesario conocer los valores de las formas de nitrógeno en forma de nitritos. El nitrógeno en forma de nitratos, es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de fitoplancton (Campbell, 1987). El nitrógeno en forma de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores a 1 mg/L, aun en afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Su presencia es generalmente indicativa de procesos activos biológicos en el agua ya que es fácil y rápidamente convertido en nitratos.

Por otra parte, para nitratos, que es un elemento disponible para los organismos acuáticos (Lampert y Sommer, 1997). Existe presencia de nitratos durante los dos muestreos, se puede establecer que su origen es producto de la entrada de agua con este nutriente o bien es producto de la oxidación de otras fracciones de nitrógeno como amonio. Se considera como producto de contaminación una ocurrida un largo tiempo antes de efectuarse el análisis (Seoáñez, 1999).

8.2 Estado trófico de las Ciénegas del Lerma

La eutroficación es un proceso natural, producto de la acumulación de nutrientes en un lago u otros cuerpos de agua. Los nutrientes son elementos químicos esenciales para el crecimiento de plantas y la nutrición animal. Tanto el nitrógeno como el fósforo son los nutrientes más importantes para el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, concentraciones altas de estos nutrientes pueden ser considerados como contaminantes (Lamper y Sommer, 1997). Las actividades humanas pueden acelerar la eutroficación, tal como el uso de fertilizantes en cultivos, desechos urbanos e industriales.

Existen muchas definiciones de eutroficación, basadas en un conjunto de condiciones asociadas a la productividad. Sin embargo, todas coinciden en que la

eutrofización es un aumento de las tasas de crecimiento de los seres vivos acuáticos (Wetzel, 2001). La eutrofización ha sido medida por diferentes investigadores, principalmente a través de la concentración de clorofila en la producción primaria, así como por la medición de nitrógeno y fósforo.

Salas y Martino (1990) basados en fósforo total, mencionan que un cuerpo oligotrófico tiene <0.03 mg/L, un cuerpo mesotrófico se encuentra entre 0.03 y 0.070 mg/L y un cuerpo eutrófico tiene >0.070 mg/L.

De acuerdo con Manson (1991), basado en las concentraciones de fósforo total los cuerpos de agua oligotróficos tiene <0.01 mg/L, los mesotróficos se encuentran entre 0.01 y 0.02 mg/L y los eutróficos tienen >0.02 mg/L. Manson (1991) menciona que para nitrógeno total (NT) los cuerpos de agua oligotróficos tiene <0.20 mg/L, los cuerpos mesotróficos oscilan entre 0.200 y 0.50 mg/L y los eutrófico tienen >0.50 mg/L.

Aunque los humedales no presentan una dinámica semejante a la de los lagos, los análisis realizados para PT y NT nos permiten establecer que el estado trófico de las ciénegas, como eutrófico. Debido a que PT tiene el valor mínimo es de 0.4 mg/L en las dos épocas de muestreo, y el NT se encuentra en concentraciones por arriba de 1 mg/L; por lo tanto superan cualquiera de las concentraciones propuestas por los diferentes autores. La alta productividad de las ciénegas es resultado tanto de la dinámica natural estos sistemas, como producto de la actividad humana, por el aumento poblacional la urbanización, la agricultura y el aporte de aguas residuales y de desecho de la industria. Uno de los fenómenos más frecuentes en humedales eutróficos es la presencia, de cambios evidentes relacionados con en el aspecto y la calidad del agua. Tales alteraciones están asociadas principalmente con una alta concentración de nutrientes como el fósforo y el N.

EL agua eutrofica de las ciénegas puede provocar que la diversidad del fitoplancton disminuya. Lo que conduce a que prevalezcan las cianobacterias. Diferentes factores ambientales favorece el predominio de estas últimas, las temperaturas elevadas (18 a 20°C), las condiciones de luz energética (óptimas de la primavera al otoño (Ramírez *et al.*, 2004)

8.3 Bacteriología

La calidad del agua depende de varios parámetros, las bacterias son un indicador de la calidad del agua. Son organismos unicelulares que se multiplican por división celular y su velocidad de reproducción depende de varios factores como temperatura, pH y disponibilidad de alimento (Seoánez, 1999). Generalmente se emplean las bacterias coliformes como indicadores, debido a que reflejan eventos de contaminación fecal en agua, por especies homeotermas, ya que están presentes en el intestino de estos organismos de sangre caliente. Además son causantes de enfermedades intestinales y no suelen multiplicarse en agua limpia (Toranzos, 1991; APHA, 1998; Gerba, 2000; Rose y Grimes, 2001).

Las coliformes fecales son un grupo de bacterias gram negativas, areobicas o facultativas, dentro de este grupo se incluyen los géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, y *Klebsiella*, estos organismos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, habitan en el intestino de animales de sangre caliente incluyendo al hombre. Se considera que no son patógenos bajo saprofitos de vida libre. La ausencia de coliformes fecales en un abastecimiento de agua es empleado como la base de los lineamientos del agua potable. En las aguas de las Ciénegas del Lerma se encontró presencia de coliformes, de las coliformes fecales (CF) que son un subgrupo de las coliformes totales (Gerba, 2000). El grupo de coniformes fecales es un indicador de contaminación este grupo se encuentran en cantidades que sobrepasan los límites permisibles para aguas residuales y de uso agrícola NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997). El límite permisible de unidades formadoras de colonia (UFC) de coliformes fecales (CT) permitidas en el agua es de 1,000 UFC/100 mL. En casi todas las estaciones es igual o se sobrepasa este número. En Atarasquillo la estación 5 durante las dos épocas es la más contaminada, ya que se cuantificaron 400,000 UFC/100 mL en lluvias y 600,000 UFC/100 mL en secas. Aparentemente y como ya se había observado en el nitrógeno en esta estación, recibe agua residual domestica y agrícola en secas, lo que incrementa el número de forma significativa. En

Almoloya, se incrementan en secas, debido a la disminución del volumen de agua y a la concentración de los compuestos y sustancias presentes.

La estación 5 que se encuentra a un costado de la laguna de oxidación del poblado de Almoloya del Río, es la que presenta cuantificaciones altas, 5,000 UFC/100 mL en secas. Aparentemente el bordo no es impermeable, y se propaga el agua de la laguna de oxidación a la ciénega. La estación 2, que se encuentra en la zona conservada de la ciénega, en lluvias fue la menos contaminada.

La ciénega de Lerma, recibe directamente el agua del río Lerma y de canales que la cruzan y que se desbordan durante la época de lluvias. La estación 5 que se encuentra a un costado de San Pedro, fue la más contaminada (55'000,000 UFC/100 mL), está recibe agua directamente de las casas. Las estaciones 1, 2 y 3, son alteradas profundamente por el desbordamiento, en estas se cuantificaron arriba de 200,000 UFC/100 mL. Pero en secas en la estación se cuantificaron 3'650,000 UFC/100 mL de agua, la influencia del poblado parece ser determinante, aunque disminuye el número se mantiene con números altos que pasan el límite propuesto por la normatividad.

Debido a las condiciones que guardan las tres ciénegas, son un medio adecuado para la proliferación de bacterias. El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de microorganismos, ya que poseen una temperatura adecuada para desarrollarse, disponibilidad de nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo, que abundan en estos sistemas (Seónaez, 1999).

El cociente coliformes fecales/enterococos fecales, es un indicador útil para establecer el origen de la contaminación bacteriana. Ya que su uso proporciona resultados rápidos, además es un método que no requiere un conocimiento amplio y puede ser usado en muestras con contaminación reciente (Scott *et al.*, 2002). Sin embargo, su uso es limitado ya que en ambientes tropicales el grupo de coliformes fecales está presente de manera natural en estos ambientes (Toranzos, 1991). No obstante, nos proporciona una idea general del origen de la contaminación que puede ser corroborada con las observaciones hechas en campo.

De acuerdo con el cociente para establecer el origen de la contaminación ya sea humana o animal coliformes fecales/enterococos fecales, CF/EF. La principal fuente de contaminación en la ciénega de Lerma es de origen humano. En la época de lluvias con excepción de la estación 2 que tiene alta evidencia de contaminación animal. Sin embargo, en las observación hechas en campo se registró el desbordamiento de las agua de uno de los canales de forma directa lo que hace suponer que la contaminación es de origen humano, ya que existen un gran número de asentamientos humanos que desechan su agua en este río (Geldreich y Kenner, 1969; Gerba, 2000) (Anexo III). En secas en las estaciones 1 a 4, la contaminación es predominantemente de origen animal, mientras la estación 5, la contaminación es de origen humano en las dos épocas.

En Almoloya, predomina la contaminación de origen animal en las dos épocas, y en Atarasquillo hay una mezcla de contaminación animal y humana. La estación 5 recibe un canal directo de aguas residuales provenientes del poblado de Atarasquillo, por lo cual, su contaminación es predominantemente humana en las dos épocas del año. Para las estaciones 1, 2 y 3, el origen de la contaminación predominante es de origen animal en las dos épocas, mientras que la estación 4 predomina la contaminación humana en la época de secas y la animal en lluvias.

El análisis de varianza mostró, que en Atarasquillo la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales, se mantiene durante las dos épocas de muestreo y no cambia de forma significativa. En Lerma si existe diferencia significativa entre las dos épocas debido a que se incrementa la concentración de bacterias por la entrada de aguas residuales, lo mismo ocurre en Almoloya (Tablas 9, 10 y 11).

8.4 Metales Pesados

Los metales y otros elementos, están presentes en forma natural en plantas y animales, incluso como componentes esenciales de algunos. Sin embargo, estas concentraciones han aumentado en mayor o menor medida por las actividades humanas, alcanzando en algunos sitios niveles tóxicos (Mireles *et al.*, 2004; Mireles, 2004). Las descargas de desechos industriales y domésticos contribuyen

al incremento de metales pesados en el ambiente, que constituyen una fuente de contaminación peligrosa (Rosales-Hoz *et al.*, 2000).

El análisis realizado en agua de las ciénegas, el análisis de metales pesados en el agua de las ciénegas mostró que la presencia de metales pesados es baja, y que no representan por el momento un riesgo de contaminación y no sobrepasan los límites permisibles para la vida acuática ni para humedales, NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997). En un estudio interdisciplinario realizado por la COMEDES y Canadá (1995), no se encontraron niveles de metales pesados que pudieran sugerir contaminación en las ciénegas, lo que coincide con nuestros resultados.

Para evaluar la contaminación por metales pesados en sistemas acuáticos, el análisis en sedimentos resulta útil, debido a que los sedimentos son acarreadores, absorber, quelar y acumular metales (Fostner, 1985; Rosales-Hoz *et al.*, 2000). Por lo que los sedimentos pueden reflejar los cambios del sistema a lo largo del tiempo. Sin embargo, la concentración de metales dependerá de las condiciones de salinidad, pH, gases producto de actividad bacteriana y efectos de erosión. A diferencia de otras sustancias los metales pesados no son biodegradables, para moverse en sistemas acuáticos se relacionan con las partículas acumulándose en sedimentos, por lo cual estos se convierten en sus receptores donde la superficie desempeña un papel importante en la absorción de metales (Yasuo, 1993).

El análisis realizado a través del método PIXE, para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb (Mireles *et al.*, 2004), en los sedimentos de las ciénegas reveló la presencia de metales pesados, que en concentraciones altas pueden constituir un riesgo tóxico.

El plomo se registró en las tres ciénegas, oscilando entre 27.8 y 379.1 mg/kg, en la estación 1 de Lerma y 3 de Almoloya. De acuerdo con Müller *et al.*, (1992) el valor permisible para plomo en sedimentos es de 20 mg/kg. En la mayor parte de los sitios de muestreo se supera este límite por lo cual se puede considerar, la presencia de plomo como un riesgo para la vida acuática.

Vaca-Paullín *et al.*, (1997), reporta en el río Lerma y la presa Alzate, en sitios ubicados cerca de las Ciénegas del Lerma y a menor altitud,

concentraciones de plomo de 47.0 y 18.0 mg/kg, respectivamente. Por lo tanto en las ciénegas existe una mayor concentración de plomo, esto debido probablemente a la acumulación por el uso de balas que contienen plomo, en las actividades cinegéticas, como la cacería de aves migratorias (Unidos para Conservación, 2004), ya que, no existe ninguna industria que genere este tipo de desechos (INEGI, 2001). Además, la presa Alzate (aguas abajo) recibe desechos industriales y la concentración de plomo promedio se encuentra por debajo de las registradas en las ciénegas. En sedimentos del lago de Chapala se encontraron concentraciones promedio de 81.7 mg/kg, adjudicando su presencia a contaminación por industria (Rosales-Hoz *et al.*, 2000). Las Ciénegas del Lerma, reciben agua residual de origen doméstico, por lo tanto, se puede suponer que el origen del plomo es causado por las actividades cinegéticas. El plomo es un metal que no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos. Debido a su tamaño y la carga el plomo este puede sustituir al calcio acumulándose en tejido óseo; en el torrente sanguíneo puede producir nefrotoxicidad e hipertensión (OMS, 2003).

Contrario a lo que se puede pensar, la ciénega de Almoloya, en apariencia la más conservada, presenta el nivel más alto de plomo. En su estación 3, con 379.1 mg/kg, esta estación es una zona con abundante vegetación acuática, y sin la influencia de canales de agua residual (Tabla 9). Posiblemente la causa, es la acumulación por el uso de balas para cacería de aves migratorias, ya que no existe otra fuente probable y la cacería es una actividad que se ha realizado por años. Al comparar los valores encontrados con estándares para suelos, (Cajuste *et al.*, 1991). Los niveles tóxicos en suelos exceden 150 mg/kg y solo en la estación 3 de Almoloya se supera esta concentración registrada es de 379 mg/kg. Al parecer en este sitio ocurre una acumulación de plomo.

Desde el punto de vista de salud pública el arsénico, níquel, y zinc constituyen un riesgo, si se comparan con la norma para suelos. Estos metales, sobrepasan la norma NOM-001-ECOL-1996 (suelos agrícolas). Se ha establecido que el río Lerma es uno de los más contaminados del país y es afectado por gran número de industrias de diferentes tipos (Orozco y Sánchez, 2004). Pero éstas se

encuentran aguas abajo y no afectan la región que ocupan las ciénegas. En un estudio realizado por Mora (1996) en suelo agrícolas de Almoloya de Río y el Barrio de Guadalupe, no se encontró evidencia de contaminación por metales pesados, Cu, Ni y Zn.

El zinc, es un elemento esencial para los seres vivos y por lo general se le considera uno de los elementos menos peligrosos (OMS, 2003). De acuerdo con Müller *et al.*, (1992) el valor permisible en sedimentos debe ser menor a 100 mg/kg. En la ciénegas de Atarasquillo y Almoloya, se supera este valor, en casi todas sus estaciones. Sin embargo, no es considerado como de riesgo para la vida, ya que solo puede afectar al metabolismo en dosis superiores de 150 mg diarios, en seres humanos. Se detectó la presencia de cobre, níquel, y arsénico en concentraciones altas de acuerdo con lo propuesto por Rosales-Hoz *et al.*, (2000) y Vázquez *et al.*, (1999), Mireles *et al.*, (2004) y Müller *et al.*, (2002), no se encuentran en niveles tóxicos.

Existe una concentración importante de plomo en sedimentos de las ciénegas, mientras que en agua las concentraciones resultaron ser muy bajas, probablemente por que los metales son precipitados a los sedimentos o bien son adsorbido por plantas acuáticas como el tule y el lirio. Ya que la vegetación es capaz de adsorber muchas formas de elementos metálicos combinados con la materia orgánica (Seónes, 1999). Además en sedimentos existe una gran cantidad de materia orgánica, lo que provoca un aumento considerable en la retención de metales pesados ya que forma complejos por quelación lo que provoca una retención de elementos metálicos.

8.6 Rehabilitación de las Ciénegas del río Lerma

El deterioro ambiental que han sufrido la Cuenca Alta del río Lerma, se manifiesta en la disminución de la calidad del agua, debido a las descargas de drenajes urbanos e industriales, la extracción de agua para el abastecimiento de agua potable y el creciente interés para el consumo humano. Al realizar un recorrido por los sitios de muestreo, se observa que los cuerpos de agua en nuestros días son drenajes de zonas urbanas o industriales, han sido secados con fines agrícolas y

de extracción de agua, o mantienen una calidad de agua que hace imposible la sobrevivencia de las especies en estas condiciones.

Cualquier intento para realizar planes de manejo y conservación deberá contemplar una evolución del estado de conservación actual de las especies y su hábitat, además del establecimiento de zonas prioritarias para conservación y manejo de las especies.

Actualmente, no existe una política de conservación dirigida hacia este grupo o su hábitat para frenar la tendencia encontrada por Soto-Galera (1998), en el periodo 1985-1993, en la cual el Alto Lerma presenta una desaparición del 56% del hábitat acuático; esto se debe a que todos los ríos y lagos están en la parte más baja del valle y la contaminación por cualquier vía (escurrimientos, filtraciones o lluvia) siempre llega a estos sitios y es prácticamente imposible detener la modificación de los sistemas acuáticos (Méndez-Sánchez *et al.*, 2002).

7.6.1 Atarasquillo

En el caso de Atarasquillo es necesario reducir los niveles de contaminantes en agua del río San Faustino, que es el único aporte directo de agua la entrada de agua residual altera en forma substancial, las condiciones del medio acuático, además la dinámica hidrológica afecta las condiciones del ecosistema (Labadz *et al.*, 2002). De forma natural la ciénega es capaz de amortiguar los niveles de contaminación. Pese a esto, es indispensable el incremento de los bordos del perímetro de la ciénega, ya que son bordos de no más de 1 m de ancho y 20 cm sobre el nivel agua y el dragado eficaz de los canales que circundan la ciénega, permitirían el mejoramiento de las condiciones del agua. Estas acciones podrían permitir que al agua de las ciénegas no tuviera influencia de agua de residual, de acuerdo con nuestros resultados en época de secas disminuyen los contaminantes biológicos (coliformes fecales), excepto en aquellos sitios donde entra agua residual todo el año. Así mismo, disminuirían las concentraciones de nutrientes. Sin embargo, la ciénega requiere de la entrada de agua para mantener sus niveles, por lo que es necesario el aporte de agua del río San Faustino, por lo que se requiere un tratamiento previo de limpieza, es decir se



requiere la instalación de al menos una planta de tratamiento que permita la eliminación por cloración y coagulación de bacterias patógenas y sólidos suspendidos, para obtener niveles de contaminantes característicos de aguas residuales tratadas.

Es importante señalar de acuerdo a las comparaciones estadísticas ($p < 0.05$), entre épocas no existen cambios significativos, lo que sugiere que no hay una variación estacional marcada y que los contaminantes siempre están presentes en esta ciénega en las mismas concentraciones, ya que recibe un aporte constante de aguas residuales, por esta razón es importante eliminar el agua residual sin un tratamiento previo de purificación (Viesman y Hammer, 1998) (Tabla 9).

7.6.2 Almoloya

Almoloya, es la ciénega más conservada, y tiene un mayor volumen de agua. La presencia de contaminantes es menor, aunque por ser una cubeta con pocas entradas de agua tiende a concentrar sales y sólidos sedimentables que aumentan el pH (Wetzel, 2001). Una ventaja importante que tiene esta ciénega es que tiene cuatro lagunas de oxidación, que debido al número de pobladores que arrojan desechos, es un medio adecuado para el tratamiento de agua residual. Ya que las lagunas de oxidación pueden considerarse con una solución adecuada para el tratamiento de aguas residuales para poblaciones de no menos de 10, 000 habitantes (Viesman y Hammer, 1998). Estas permiten mediante una acción física y fundamentalmente por una conjunción de procesos desarrollados por bacterias y algas, se puede lograr una depuración eficiente de las aguas residuales, con un bajo costo de mantenimiento. A pesar de estas ventajas las lagunas no son funcionales, por lo tanto se requiere una reactivación de estos sistemas para garantizar la entrada de agua residual baja en contaminantes a la ciénega de Almoloya.

Existe una laguna de oxidación improvisada, en la cual son vertidos los desechos urbanos en la actualidad, sin embargo, es indispensable revisar el bordo de la laguna de oxidación, ya que no es impermeable y permite el paso de

agua con altos niveles de contaminantes, lo cual influencia directamente sobre la calidad del agua de esta ciénega.

7.6.3 Lerma

En el caso de las Ciénegas del Lerma, es indispensable eliminar los aportes de agua residual que entran a las ciénegas, debido a las condiciones que generan permiten la sobrevivencia de pocas especies. En varias zonas el caso de la ciénega de Lerma ya no existen peces debido al alto grado de contaminación, de la ciénega (estaciones 2, 3, 4 y 5) y baja concentraciones de oxígeno, además los peces que existen en las ciénegas son especies introducidas.

Debido a los procesos de inundación de las ciénegas, la extracción de agua, contaminándose en lluvias, y en secas al perderse este contacto, el ecosistema de forma natural disminuye los niveles de contaminación. Plantas como el tule y el lirio, tiene como característica absorber contaminantes como metales pesados o excesos de nutrientes convirtiéndolos en biomasa, además los sedimentos hacen tienen misma esta función. Los humedales de forma natural son depuradores, recuperan la calidad del agua, disminuyendo los niveles de contaminantes bacteriológicos y químicos, tal es el caso de nutrientes N y P (RAMSAR, 2004b). En el mundo se han creado humedales artificiales que son usados como depuradores en la industria de aguas contaminadas (Mccarney y De la Hera, 2004).

La ciénega de Lerma es la que presenta más problemas de las tres, influenciada directamente por varios poblados como es el caso de San Pedro, San Mateo Atenco y un sin número de nuevos asentamientos que generan una gran cantidad de aguas residuales. Además sus niveles de contaminación son altos, por lo tanto es indispensable delimitar a través de bordos el área de la ciénega con la finalidad de evitar la fragmentación y por tanto la disminución del área de la ciénega, y la entrada de agua contaminada. La manipulación de los flujos que llevan aguas a las ciénegas es indispensable, ya que en su mayoría es agua residual urbana y entra directamente a las ciénega. La creación de un bordo perimetral, que encause el agua a un mismo punto parece ser la solución, ya que

son alrededor de 9 canales los que entran a las ciénega, sin contar los pequeños arroyos que desembocan a las ciénegas. De ahí la importancia de la instalación de plantas de tratamiento de agua residual, que disminuyan los niveles de contaminantes. Existe un planta de tratamiento de agua residual, sin embargo; no ha sido efectiva ya que las aguas residuales no están dirigidas hacia ella, ya que de los dos canales que cruzan la ciénega y que la parten en dos solo uno pasa por la planta. Como ya se menciona, las ciénegas son deparadores naturales, no obstante se requiere del control de afluentes ya que la ciénega no es capaz de disminuir los niveles de contaminación, debido a los grandes volúmenes de agua.

Es indispensable evitar la entrada de agua a través del bordeo de la ciénega. Antes de pensar que especies se pueden introducir o reintroducir, se tiene que poner énfasis, en la limpieza y rehabilitación del agua como medio fundamental del ecosistema. Ya que se encuentra muy deteriorado.

Finalmente, en el caso de las tres ciénegas es indispensable mencionar que se encuentran en la parte más baja de la cuenca Alta del Lerma, es decir, todos los cambios ambientales que ocurran arriba afectaran a este ecosistema (RAMSAR, 2004b) por lo cual es indispensable realizar un análisis de esta cuenca la cual esta habitada por más de 1 millón de personas (INEGI, 2001).

Para concluir, los sistemas acuáticos o ecosistemas hoy en día son los más deteriorados por las actividades humanas y a pesar de su gran valor como recurso no se le ha dado el valor que tiene y probablemente debido a su contaminación, pérdida de su calidad y sobre todo por su importa en las diferentes actividades humanas. Y si bien la restauración ecológica se enfoca sobretodo a comunidades vegetales, los sistemas acuáticos deben ser estudiados y restaurados o rehabilitados en conjunto con la cuenca hidrográfica, lo que representa un verdadero estudio integral, se requieren estudios en todos los ámbitos, ya que existe una interacción entre los factores tanto bióticos como abióticos, lo que permite conservar las funciones de los ecosistemas acuáticos.

8. Conclusiones

Existe un marcada diferencia entre la épocas de lluvias y secas, el nivel del agua afecta directamente los procesos, fisicoquímicos y biológicos en la Ciénegas del Lerma, estadísticamente si hay diferencias significativas.

Desde el punto de vista estadístico, las tres ciénegas son diferentes parámetros, los análisis indican que Almoloya y Lerma son los sistemas más contrastante.

Los niveles de oxígeno bajos se pueden explicar por la entrada de materia orgánica a las ciénegas, disminuyendo los niveles de oxígeno hasta un estado anóxico, esto ocurre en las ciénegas de Lerma y Atarasquillo.

Los niveles de pH, fósforo total y nitrógeno total, no rebasan los límites establecidos en la (NOM-001-ECOL-1996) para la vida acuática, ni para humedales naturales.

Los niveles de nitritos y nitratos, son bajos y no resultan tóxicos de acuerdo con los máximos propuestos para agua por USEPA, (2002). Los niveles de orto fosfatos se encuentran en nivel bajo y no son peligrosos.

Si clasificamos a las ciénegas en relación a su estado trófico, y basados en nitrógeno total y fósforo total, el estado es eutrófico.

Los análisis bacteriológicos para coliformes fecales (CF) indican que las ciénegas rebasan los niveles propuestos para agua residuales tratadas y aguas de uso agrícola (NOM-001-ECOL-1996) en la mayor parte de las estaciones en las dos épocas (excepto en la época de lluvias estación 2 de Almoloya y 4 de Atarasquillo) y representan un riesgo sanitario.

De acuerdo con el cociente de para establecer el origen de la contaminación ya sea humana o animal, CF/EF (coliformes fecales/enterococos fecales) la principal

fuelle de contaminación en la ciénega de Lerma es de origen humano, en Almoloya predomina la contaminación de origen animal en las dos épocas y en Atarasquillo hay una mezcla de contaminación animal y humana.

La presencia de metales Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, y Pb, no fue significativa, en agua, los niveles son bajos y no representan un riesgo para la vida acuática, ni para la salud humana. En sedimentos si se encontraron concentraciones altas, pero no en niveles tóxico.

Las estaciones que se encuentran problemas de contaminación alto son la estación 3 y 5 de Atarasquillo, 2, 3 y 5 de Lerma y 4 y 5 de Almoloya, ya presentan altos niveles de PT, NT, CF y bajos niveles de oxígeno durante el período de muestreo. Estas estaciones requieren un monitoreo constante.

Dadas las condiciones actuales en la región, no es posible llevar a cabo una restauración ecológica de las ciénegas, pero si es posible rehabilitar las ciénegas, por medio de una manipulación física del sistema del ecosistema acuático a través de control de los afluentes de las ciénegas y de la calidad del agua de estos aportes. En el caso de Aloya es indispensable la reactivación de las lagunas de oxidación.

9. Recomendaciones

Se debe establecer con claridad cuales son los principales aportes de agua en cada una de las tres ciénegas, ya estos son un factor importante en la contaminación de estos cuerpos de agua.

Las ciénegas son diferentes entre si, requieren de estudios particulares, ya que a pesar de estar afectadas por la contaminación, cada una tiene un grado particular de contaminación. Por lo cual los diferentes estudios deben estar enfocados por ciénega y en algunos casos por sitios.

Debido a las alta concentración de grupos bacterianos es indispensable realizar la identificación bacteriana, ubicando las bacterias patógenas, así mismo, se requieren estudios sobre otros grupos, como Vibrio.

Es necesario realizar estudios de metales pesados en plantas acuáticas y organismos, como aves (músculo e hígado), con la finalidad de establecer cual es el destino final de los metales pesados. Si son absorbidos y concentrados.

Es importante señalar que es necesario establecer plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, en las ciénegas. Sin embargo, son numerosos los aportes de agua, lo que complica la ubicación por lo cual, es necesario delimitar físicamente las ciénegas por medio de bordos y reencausar y controlar los flujos de agua para permitir el uso de plantas de tratamiento. En Almoloya En esta ciénega es necesario reforzar el borde que separa ciénega y laguna de oxidación para evitar la entrada de contaminantes.

El trabajo en la cuenca alta del río Lerma es indispensable, actividades de conservación y reforestación de bosques. Estas son indispensables para mantener la recarga hídrica de esta cuenca.

10. Referencias

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation (APHA). 1998. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20^a ed. United Book Press. Washington. D. C.

Abasolo, P. V., S. C. Ortiz, G. H. Navarro y H. D. Pájaro. 2001. Cambio tecnológico y agricultura en San Pedro Tlaltizapán, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 8 (2): 125-132.

Albores, Z. B. 1992. *El modo de vida lacustre en el Alto Lerma*. Tesis Doctorado. Doctorado en Antropología Física. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. 179 p.

Albores, Z. B. 1995. *Tules y sirenas: el impacto ecológico y cultural de la industrialización en el alto Lerma*. El Colegio Mexiquense: Estado de México, Secretaria de Ecología. 478 p.

Albores, Z. B. 2002. Apuntes sobre la agricultura maicera de humedad y temporal en Mateo Atenco, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 9 (3): 249-259.

Banderas-Tarabay, A. y González-Villela, R. 2002. La Investigación Limnológica y el Manejo de los Recursos Acuáticos. En: De la Lanza-Espino, G. y García-Calderón, J. L. (compiladores). *Lagos y Presas de México*. D. F. México: 621-648 p.

Barceló, Q. I. D. 2000. *Estudio de la movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en sedimentos de la presa José Antonio Alzate en el Estado de México*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería, CIRA, Universidad Autónoma del Estado de México.

Baró, J. y R. Alemany. 2000. *Estadística II*. Fundación por la Universidad Abierta de Catauña. Barcelona, España. 420 p.

Boyd, C. E. 1982. *Water Quality Management For Ponds Fish Culture*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York, USA. 318 p.

Bradshaw, A. D. 2002. Introduction and philosophy. En: Perrow, R. M. y A. J. Davy. (Eds.). *Handbook of Ecological Restoration. Restoration in practice*. Cambridge University Press. Vol.2. London, U K: 3-9 p.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS). 2004. *Normas internacionales para la calidad de agua de bebida*. CEPIS/ cepis.ops-oms.org

Delincé, G. 1992. *The ecology of the fishpond ecosystem*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. 230 p.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2000. Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*. Noviembre 22 de 2000: 73-79.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1997. Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*. Enero 6 de 1997: 68-41.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. Decreto por el cual se declara Área Natural Protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Ciénegas del Lerma. *Diario Oficial de la Federación*. Noviembre 27 de 2002: 3-11.

Díaz-Delgado, C., D. Antón, E. Quentin, M. V. Esteller, y J. A. García. 2002. *Desarrollo de una metodología entrópica de gestión hídrica aplicable a la cuenca del alto Lerma*. CIRA. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Proyecto CGlyEA-UAEMEX 1461/2001.

Díaz-Pardo, E., M. A. Godínez-Rodríguez, E. López-López y E. Soto Galera. 1993. Ecología de los peces de la cuenca del río del Lerma, México. *An. Esc. Nac. Cien. Biol. México* 39: 103-127.

Dobson, A., A. D. Bradshaw y A. J. M. Baker. 1997. Hopes for future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277: 515-521.

Campbell, R. 1987. *Ecología microbiana*. Ed. Limusa, Segunda edición. México. 268 p.

Clewell, A. y J. P. Rieger. 1997. What practitioners need from restoration ecologists?. *Restoration Ecology* 5(4): 350-354.

Cajuste, L. J., R. Carrillo, E. Cota y R. Laird. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air and Soil Pollution* 57(58): 763-771.

COMEDES. 1995. *Proyecto comunitario por la Ciénega del Río Lerma. Cooperación entre Alianza por el medio ambiente de Canadá y COMEDES*. 19 p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004. *Cabecera del río Lerma*. [www. Conabio.gob.mx](http://www.Conabio.gob.mx)

(CRAE). 1992. *Restoration Aquatic ecosystems. Science, Technology and public policy*. National Academy Press. Washington D. C. USA: 1-714 p.

- Ehrenfeld, J. 2000. Defining the limits of the restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology* 9(1): 2-9.
- Esteller, M. V. y C. Diaz-Delgado. 2002. Environmental effects of aquifer overexploitation: A case study in highlands of Mexico. *Environmental Management* 2(2): 266-278.
- Ezcurra, E. y M. Mazari-Hiriart. 1996. Are megacites viable?. *Environment* 90(1): 3-35.
- Flacklam, R. R. y D. F. Sahm. 1995. Enterococcus. En: Murray P. R., E. J. Baron, M. A. Pfaller, F. C. Tenover y R. H. Tenover. (Eds.) *Manual of Clinical Microbiology*. 6ª ed. ASM Press. Washington, D. C. USA: 308-314 p.
- Fostner, U. 1985. Chemical forms and reactivities in sediments. En: R. Leschber, R. D. Davis y P. L. Hermite. (Eds.). *Chemical Methods for Assessing Bio-available metals in sludges and soils*. Elviseer. Londres, UK: 1-31 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. 2ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 217 p.
- García-Quintero. 1948. *Estudio Hidrológico Integral de la Cuenca del río Lerma Santiago*. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de hidrología. México.
- Ghermandi, G., R. Cecchi y P Laj. 1996. Procedures for target preparation to improve PIXE efficiency in environmental research. *Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B* 109: 63-70.
- Geldreich, E. y B. A. Kenner. 1969. Comments on fecal streptococci in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federal* 41: R336-R341.
- Gerba, C. P. 2000. Indicador microorganisms. En: Mair, R. M., I. M. Pepper, y C. P. Gerba. (Eds.) *Environmental Microbiology*. Academic Press. San Diego, California. USA: 491-503 p.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 1993. Atlas ecológico de la cuenca hidrográfica del Río Lerma. Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México. Tomo 1. Cartografía. 407 p.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2003. Los Santuarios del agua. *Agua y Desarrollo Sustentable* 1(1): 10-14.
- Goldman, R. C. y J. A. Horne. 1983. *Limnology*. McGraw-Hill. New York. USA. 464 p.

- HACH. 2002. *Water analysis Handbook*. 4^a. Ed. HACH COMPANY. California USA. 1260 p.
- Hambright, K. D., I. Barr-Ilan y W. Eckert. 1998. General water chemistry and quality in newly-created subtropical wetland lake. *Wetland Ecology and Management* 6: 121-132.
- Hansen, A. M. y M. van Afferden. 2001. *The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management*. Kluwer Academia/Plenum Publisher. New York, USA. 337 p.
- Higgs, E. S. 1997. What is good ecological restoration?. *Conservation Biology* 8(2): 338-348.
- Hynes H. B. N. 1979. *The ecology of running waters*. 4^a ed. Liverpool University Press. Great Britain: 1-13 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2001. *XI Censo de Población y Vivienda 2000*. Resultados definitivos por municipio. México.
- Kenndy V. J. y A. Markwitz. 2002. Heavy metal pollution studies of suspended sediments in Waiwhetu stream water by PIXE. *International Journal of PIXE* 12 (3-4):189-197.
- Labadz, J. C., D. P. Butcher y D. Sinnott. 2002. Wetlands and still waters. En: Perrow, R. M. y A. J. Davy. (Eds.). *Handbook of ecological restoration. Restoration in practice*. Cambridge University Press. Vol. 2. UK:106-132 p.
- Lampert, W. y U. Sommer. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. New York, USA. 382 p.
- Lewis, W. M. J.r. 1996. Tropical lakes: how latitude make a difference. En: Schimer, F. y K. T. Boland. (Eds.). *Perspectives in Tropical Limnology*. SPB Academic Publishing Amsterdam: 43-64 p.
- Lewis, W. M. J.r. 2002. Basis for protection and management of tropical lakes. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5:35-48.
- Lyons, J. 1995. Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in West-Central Mexico. *Conservation Biology* 9: 469-584.
- Luna, P. V., A. A. Alando y A. B. Bernal. 2004. Cuerpos de agua superficiales. En: Bautista, F. Z., H. G. Delfín y J. L. P. Palacio. (Eds.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. UNAM Dirección General Estudio Posgrado. 507 p.

- Maderey, R. L. E. y R. A. Jiménez. 2001. Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la Cuenca Alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 45: 24-38.
- Madrigal, U. D., T. A. González y L. P. Mireles. 1994. Geodinámica de los problemas ambientales del Valle de Toluca, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 1(2): 169-174.
- Maitland, P. S. y R. N. Cambell. 1992. *Freshwater fishes*. Harper Collins. London, UK: 75-80 p.
- Manson, C. F. 1991. *Biology of Freshwater Pollution*. Logran Scientific & Technical. New York, USA: 95-138.
- Margalef, F. 1983. *Limnología. Omega*. Barcelona, España. 1010 p.
- Martínez-Contreras, Y. 1993. *La Evolución de la Superficie de las Lagunas del Lerma*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Maxwell, J. A., J. L. Cambell y W. T. Teesdale. 1989. The Guelph PIXE software pack. *Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B* 43:218.
- Mccarney M. P. y A. De la Hera. 2004. Hydrological assessment for wetland conservation. *Wetlands Ecology and management* 12: 189-204.
- Méndez-Sánchez, J. F., E. Soto-Galera, J. P. Maya y H. M. A. Hernández. 2002. Ictiofauna del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 9(1): 87-90.
- Mestre-Rodríguez, J. E. 2002. La Cuenca Lerma-Chapala. En: De la Lanza-Espino, G. y J. L. García-Calderón (compiladores). *Lagos y Presas de México*. D. F. México: 286-294 p.
- Meza, H. M. 2004. *Diagnostico ambiental, región VI Toluca. Gobierno del Estado de México*. 42 p.
- Mireles, D. A. 1994. *Desarrollo y optimización de técnicas de preparación de muestras y análisis cuantitativo de elementos traza en frutas y verduras mediante PIXE*. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 94 p.
- Mireles, D. A., C. Solís, E. Andrade, M. Lagunas-Soler, C. Piña y R. G. Flocchini. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B* 219-220 187-190.

Mohan, K. W., N. M. Safaya y F. Evrendilek. 2002. The Americas: whit special reference to United States of America. En: Perrow, R. M. y A. J. Davy. (Eds.). *Handbook of Ecological Restoration. Restoration in practice*. Cambridge University Press. Vol. 2. Londos, UK: 3-31 p.

Müller, W. H., B. Schwaighofer y W. Kahman. 1992. Heavy metals contet in river sediments. *Water, Air and Soil Pollution* 72: 191-203.

Murray, P. R., E. J. Baron, M. A. Pfaller, F. C. Tenover y R. H Yolken. (eds). 1995. *Manual of Clinical Microbiology*. American Society for Microbiology. Washington D. C. USA. 1482 p.

Mora, H. S. I. 1996. *Evaluación de algunos elementos potencialmente tóxicos (Cd, Cu, Ni y Zn) en suelos con alto contenido de materia orgánica (>20%) bajo cultivo en el curso Alto de la Cuenca Alta del río Lerma, Edo. de Méx.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. 69 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 1993. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Vol. 1. Recommendations. 2ª Ed. World Health Organization. Geneva. 188 p.

Ezcurra, E. 1990. *ORDEN Versión 3.1*. Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Orozco, H. E. y S. M. T. Sánchez. 2004. Organización socioeconómica y territorial en la región del Alto Lerma, Estado de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 53: 163-184.

Ramírez, P., E. Martínez, M. Martínez y C. Eslava. 2004. Cianobacterias, Microorganismos del Fitoplancton y su relación con la salud Humana. En: Rosas, I., A. Cravioto y E. Ezcurra. *Microbiología ambiental*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México: 83-106.

Ramos, V. L. 1999. *Estudio de la flora y la vegetación acuática vasculares de la cuenca alta del Río Lerma, en el Estado de México*. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 146 p.

RAMSAR. 2004a. *Importancia de los humedales*. www.ramsar.org

RAMSAR. 2004b. *Depuración de aguas. Los humedales, valores y funciones*. www.ramsar.org

RAMSAR. 2004c. *The list of the Wetlands of International Importance*. www.ramsar.org

- Reid, G. K. y R. D. Wood. 1976. *Ecology of Inland Waters and Estuaries*. Edit. D. Van Nostrand. 2^a ed. New York. 485 p.
- Romero, Q. J. 1993. *Anexo del atlas ecológico de la cuenca hidrográfica del río Lerma*. Gobierno del estado de México. Comisión coordinadora para la recuperación ecológica de la cuenca del río Lerma. 308 p.
- Romero, R. J. A. 1999. *Calidad del agua*. 2^a Ed. Ediciones Alfaomega. México. 273 p.
- Romero, R. J. A. 1999b. *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. 3^a Ed. Ediciones Alfaomega. México. 281 p.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y M. López-Hernández. 2000. Heavy metals in sediments of a large, turbid tropical lake affected by anthropogenic discharges. *Environmental Geology* 39 (3-4): 378-383.
- Rose, J. B. y D. J. Grimes. 2001. *Reevaluation of microbial Water: Powerful new tools for detection and risk assessment*. American Academic of Microbiology. Washinton D. C, USA.
- Salas, H. J. y P. Martino. 1991. A simple phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Resource* 25(3): 341-350.
- Salas, H. J. y P. Martino. 2001. *Metodologías simplificadas para la evolución de la eutrofización en lagos calidos tropicales*. OPS-OMS. CEPIS/ cepis.ops-oms.org. 63 p.
- Scott, T. M., J. B. Rose, T. M. Jenkins, S. R. Farrah, y J. Lukasik. 2002. Microbial Source tracking: Current methodology and future directions. *Applied and Environmental Microbiology* 68(12): 5796-5803.
- Semeniuk, V. y C. A. Semeniuk. 1997. A geomorphic approach to global classification for natural inland wetlands and rationalization of the system used by the Ramsar Convention a discussion. *Wetlands Ecology and Management* 5: 145-158.
- Seoáñez, C. M. 1999. *Aguas residuales, tratamiento por humedales artificiales*. *Fundamentos Científicos, tecnología y diseño*. Ed. Mundi-Prensa. España: 23-73 p.
- SEMARNAP. 2001. *La gestión Ambiental en México*. SEMARNAP, México. 565p.
- SEPESCA. 1994. *Piscicultura rural*. Unidad de Comunicación social de la Secretaría de Pesca. SEPESCA. 25 p.

- Shiklomanov, A. I. 1993. World fresh water resources. En: *Water in crisis*. Oxford University Press. New York. USA: 13-24 p.
- Soto-Galera, E., J. Barragán y E. López-López. 1991. Efectos del deterioro ambiental de la ictiofauna Lermense. *Universidad: Ciencia y Tecnología* 1(4):61-68.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López y J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 267-276.
- Sugiura, Y. Y. 1998. *La caza, la pesca y la recolección: etnoarqueología del modo de subsistencia lacustre en las ciénegas del Alto Lerma*. Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM. 246 p.
- STATGRAPHIC. 1999. STATGRAPHIC Plus for Windows Versión 4. Statiscal Graphics Corp. www.statgraphics.com.
- Tchobanoglous, G. y E. D. Schroeder. 1987. *Water Quality. Characteristics, Modeling, Modification*. University of California AT Davis, USA. 768 p.
- Toranzos, G. 1991. Current and posible alternate indicators of fecal contamination in tropical waters: a short review. *Enviromental Toxicology and Water Quality* 6: 121-130.
- Unidos para la Conservación. 2004. *Programa de plan de manejo (propuesta). Área de Protección de Flora y Fauna "Ciénegas del Lerma"*.
- USEPA. 2002. *Current drinking water standards*. EPA. 816-F-02-013.
- Vaca-Paulín, R., G. Hernández-Silva y J. A. Lugo-De la Fuente. 1997. Extracción secuencial de Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en sedimentos de la Cuenca Alta del Río Lerma. *Actas INAGEQ* 4: 85-96.
- Vaca-Paulín, R. 1999. *Especiación de metales pesados en suelos y sedimentos de la cuenca alta y media del Río Lerma*. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. 119 p.
- Vázquez, R. H. 2004. *Preferencias de hábitat por la avifauna presente en la Laguna Chimaliapan, Ciénegas de Lerma, Lerma, Estado de México*. Tesis Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 131 p.
- Vázquez, G. F., G. Enciso y J. W. Morales. 1999. Metal ions in water and sediments of Pom-Atasta lagoon, Mexico. *Environmental Internationatal* 25(5): 599-604.

- Viesman, W. Jr. y M. J. Hammer. 1998. *Water Supply and Pollution Control*. Addison-Wesley, USA. 827 p.
- Weatherley, A. H. y H. S. Gill. 1989. *The biology of fish growth*. Academic Press. London. 443 p.
- Wetzel, G. R. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3rd ed. San Diego : Academic. San Diego C. A. 1006 p.
- Wheeler, B. D. 1999. Water in plants in freshwater wetland. En: Baird, A. y R. L. Wilby. *Hydroecology: Plants and water in terrestrial and aquatic ecosystem*. Lodon, UK: 127-180 p.
- Wheeler, B. D., R. P. Money y S. Shaw. 2002. Freshwater wetland. En: Perrow, R. M. y A. J. Davy. (Eds.). *Handbook of Ecological Restoration. Restoration in practice*. Cambridge University Press. Vol. 2. London, UK: 325-354 p.
- Yasuo, Y. 1992. *Selected papers on Environmental hydrology from 29 international congress*.
- Zambrano, L. 1999. *Cambios en la dinámica del sistema dulceacuícola por la introducción de carpas (Cyprinus carpio) en las pozas del municipio de Acambay, Estado de México*. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología, UNAM. 114 p.
- Zambrano, L., M. Scheffer y M. Martínez-Ramos. 2001. Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction. *Oikos* 94: 344-350.

ESTA TESIS NO SALI
DE LA BIBLIOTECA

Anexo I. Listado de aves presentes en las Ciénegas del Lerma, de acuerdo con Vázquez, R. H. (2004) y CONABIO Clave de la AICA C-11.

	Especie	Abundancia	Estacionalidad
1	<i>Podilymbus podiceps</i>	NO DISPONIBLE	ND
2	<i>Podiceps nigricollis</i>	NO DISPONIBLE	ND
3	<i>Botaurus lentiginosus</i>	NO DISPONIBLE	ND
4	<i>Ixobrychus exilis</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE
5	<i>Casmerodius albus</i>	NO DISPONIBLE	ND
6	<i>Bubulcus ibis</i>	NO DISPONIBLE	ND
7	<i>Nycticorax nycticorax</i>	NO DISPONIBLE	ND
8	<i>Nyctanassa violacea</i>	NO DISPONIBLE	ND
9	<i>Plegadis chihi</i>	NO DISPONIBLE	ND
10	<i>Rallus elegans</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE
11	<i>Rallus limicola</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE
12	<i>Porzana carolina</i>	NO DISPONIBLE	ND
13	<i>Gallinula chloropus</i>	NO DISPONIBLE	ND
14	<i>Fulica americana</i>	NO DISPONIBLE	ND
15	<i>Pluvialis squatarola</i>	NO DISPONIBLE	ND
16	<i>Charadrius alexandrinus</i>	NO DISPONIBLE	ND
17	<i>Charadrius wilsonia</i>	NO DISPONIBLE	ND
18	<i>Charadrius semipalmatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
19	<i>Charadrius vociferus</i>	NO DISPONIBLE	ND
20	<i>Himantopus mexicanus</i>	NO DISPONIBLE	ND
21	<i>Aix sponsa</i>	NO DISPONIBLE	ND
22	<i>Anas crecca</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
23	<i>Anas platyrhynchos</i>	NO DISPONIBLE	ND
24	<i>Anas acuta</i>	MUY ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
25	<i>Anas discors</i>	MUY ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
26	<i>Anas cyanoptera</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
27	<i>Anas clypeata</i>	MUY ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
28	<i>Anas strepera</i>	RARA	RESIDENTE DE INVIERNO
29	<i>Anas americana</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
30	<i>Aythya valisineria</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE DE INVIERNO
31	<i>Aythya americana</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE DE INVIERNO
32	<i>Aythya collaris</i>	NO DISPONIBLE	ND
33	<i>Aythya affinis</i>	RARA	RESIDENTE DE INVIERNO
34	<i>Oxyura jamaicensis</i>	RARA	RESIDENTE DE INVIERNO
35	<i>Coragyps atratus</i>	NO DISPONIBLE	ND
36	<i>Circus cyaneus</i>	NO DISPONIBLE	ND
37	<i>Accipiter striatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
38	<i>Buteo swainsoni</i>	NO DISPONIBLE	ND
39	<i>Buteo jamaicensis</i>	NO DISPONIBLE	ND
40	<i>Falco sparverius</i>	NO DISPONIBLE	ND
41	<i>Falco femoralis</i>	NO DISPONIBLE	ND
42	<i>Recurvirostra americana</i>	NO DISPONIBLE	ND
43	<i>Tringa melanoleuca</i>	NO DISPONIBLE	ND
44	<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	MUY ABUNDANTE	TRANSITORIO
45	<i>Actitis macularia</i>	NO DISPONIBLE	ND
46	<i>Numenius americanus</i>	NO DISPONIBLE	ND
47	<i>Limosa fedoa</i>	NO DISPONIBLE	ND
48	<i>Arenaria interpres</i>	NO DISPONIBLE	ND
49	<i>Calidris bairdii</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO

50	<i>Calidris melanotos</i>	NO DISPONIBLE	ND
51	<i>Calidris himantopus</i>	NO DISPONIBLE	ND
52	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	NO DISPONIBLE	ND
53	<i>Gallinago gallinago</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
54	<i>Phalaropus tricolor</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
55	<i>Phalaropus lobatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
56	<i>Larus delawarensis</i>	NO DISPONIBLE	ND
57	<i>Columba livia</i>	NO DISPONIBLE	ND
58	<i>Zenaida asiatica</i>	NO DISPONIBLE	ND
59	<i>Zenaida macroura</i>	NO DISPONIBLE	ND
60	<i>Columbina inca</i>	NO DISPONIBLE	ND
61	<i>Colaptes auratus</i>	NO DISPONIBLE	ND
62	<i>Tyto alba</i>	NO DISPONIBLE	ND
63	<i>Glaucidium gnoma</i>	NO DISPONIBLE	ND
64	<i>Caprimulgus vociferus</i>	NO DISPONIBLE	ND
65	<i>Aeronautes saxatalis</i>	NO DISPONIBLE	ND
66	<i>Cyananthus sordidus</i>	NO DISPONIBLE	ND
67	<i>Cyananthus latirostris</i>	NO DISPONIBLE	ND
68	<i>Hylocharis leucotis</i>	NO DISPONIBLE	ND
69	<i>Amazilia violiceps</i>	NO DISPONIBLE	ND
70	<i>Lampornis clemenciae</i>	NO DISPONIBLE	ND
71	<i>Eugenes fulgens</i>	NO DISPONIBLE	ND
72	<i>Selasphorus rufus</i>	NO DISPONIBLE	ND
73	<i>Ceryle alcyon</i>	NO DISPONIBLE	ND
74	<i>Melanerpes formicivorus</i>	NO DISPONIBLE	ND
75	<i>Contopus pertinax</i>	NO DISPONIBLE	ND
76	<i>Contopus sordidulus</i>	NO DISPONIBLE	ND
77	<i>Empidonax affinis</i>	NO DISPONIBLE	ND
78	<i>Empidonax fulvifrons</i>	NO DISPONIBLE	ND
79	<i>Sayornis nigricans</i>	NO DISPONIBLE	ND
80	<i>Sayornis phoebe</i>	NO DISPONIBLE	ND
81	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	NO DISPONIBLE	ND
82	<i>Tyrannus vociferans</i>	NO DISPONIBLE	ND
83	<i>Eremophila alpestris</i>	NO DISPONIBLE	ND
84	<i>Tachycineta thalassina</i>	NO DISPONIBLE	ND
85	<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	NO DISPONIBLE	ND
86	<i>Hirundo pyrrhonota</i>	NO DISPONIBLE	ND
87	<i>Hirundo rustica</i>	NO DISPONIBLE	ND
88	<i>Corvus corax</i>	NO DISPONIBLE	ND
89	<i>Catherpes mexicanus</i>	NO DISPONIBLE	ND
90	<i>Thryomanes bewickii</i>	NO DISPONIBLE	ND
91	<i>Troglodytes aedon</i>	NO DISPONIBLE	ND
92	<i>Cistothorus platensis</i>	NO DISPONIBLE	ND
93	<i>Cistothorus palustris</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE
94	<i>Regulus satrapa</i>	NO DISPONIBLE	ND
95	<i>Sialia mexicana</i>	NO DISPONIBLE	ND
96	<i>Catharus occidentalis</i>	NO DISPONIBLE	ND
97	<i>Catharus guttatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
98	<i>Turdus migratorius</i>	NO DISPONIBLE	ND
99	<i>Dumetella carolinensis</i>	NO DISPONIBLE	ND
100	<i>Mimus polyglottos</i>	NO DISPONIBLE	ND
101	<i>Toxostoma ocellatum</i>	NO DISPONIBLE	ND
102	<i>Toxostoma curvirostre</i>	NO DISPONIBLE	ND
103	<i>Anthus rubescens</i>	NO DISPONIBLE	ND

104	<i>Bombycilla cedrorum</i>	NO DISPONIBLE	ND
105	<i>Ptilogonys cinereus</i>	NO DISPONIBLE	ND
106	<i>Lanius ludovicianus</i>	NO DISPONIBLE	ND
107	<i>Vireo huttoni</i>	NO DISPONIBLE	ND
108	<i>Vermivora pinus</i>	NO DISPONIBLE	ND
109	<i>Vermivora celata</i>	NO DISPONIBLE	ND
110	<i>Vermivora ruficapilla</i>	NO DISPONIBLE	ND
111	<i>Parula superciliosa</i>	NO DISPONIBLE	ND
112	<i>Dendroica petechia</i>	NO DISPONIBLE	ND
113	<i>Dendroica coronata</i>	NO DISPONIBLE	ND
114	<i>Dendroica nigrescens</i>	NO DISPONIBLE	ND
115	<i>Dendroica townsendi</i>	NO DISPONIBLE	ND
116	<i>Dendroica occidentalis</i>	NO DISPONIBLE	ND
117	<i>Melospiza melodia</i>	NO DISPONIBLE	ND
118	<i>Melospiza lincolnii</i>	NO DISPONIBLE	ND
119	<i>Agelaius phoeniceus</i>	NO DISPONIBLE	ND
120	<i>Sturnella magna</i>	NO DISPONIBLE	ND
121	<i>Mniotilta varia</i>	NO DISPONIBLE	ND
122	<i>Oporornis tolmiei</i>	NO DISPONIBLE	ND
123	<i>Geothlypis trichas</i>	NO DISPONIBLE	ND
124	<i>Geothlypis speciosa</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE
125	<i>Wilsonia pusilla</i>	NO DISPONIBLE	ND
126	<i>Myioborus miniatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
127	<i>Piranga rubra</i>	NO DISPONIBLE	ND
128	<i>Guiraca caerulea</i>	NO DISPONIBLE	ND
129	<i>Passerina cyanea</i>	NO DISPONIBLE	ND
130	<i>Passerina versicolor</i>	NO DISPONIBLE	ND
131	<i>Atlapetes pileatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
132	<i>Pipilo fuscus</i>	NO DISPONIBLE	ND
133	<i>Aimophila ruficauda</i>	NO DISPONIBLE	ND
134	<i>Aimophila rufescens</i>	NO DISPONIBLE	ND
135	<i>Spizella passerina</i>	NO DISPONIBLE	ND
136	<i>Chondestes grammacus</i>	NO DISPONIBLE	ND
137	<i>Passerculus sandwichensis</i>	NO DISPONIBLE	ND
138	<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	ABUNDANTE	RESIDENTE DE INVIERNO
139	<i>Quiscalus mexicanus</i>	NO DISPONIBLE	ND
140	<i>Molothrus aeneus</i>	NO DISPONIBLE	ND
141	<i>Icterus cucullatus</i>	NO DISPONIBLE	ND
142	<i>Carpodacus mexicanus</i>	NO DISPONIBLE	ND
143	<i>Carduelis psaltria</i>	NO DISPONIBLE	ND
144	<i>Passer domesticus</i>	NO DISPONIBLE	ND
145	<i>Anas diazi</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE
146	<i>Coturnicops goldmani</i>	NO DISPONIBLE	RESIDENTE

Anexo II. Geoposición de los sitios de muestreo en las Ciénegas del Lerma

Ciénega	Sitio	Ubicación	Altitud Msnm	Observaciones
Atarasquillo	1	N19° 21' 23.0" W99° 30' 28.4"	2585	Numerosas plantas acuáticas, zona poco perturbada.
	2	N19° 21' 27.6" W99° 30' 41.5"	2582	Cerca del borde del límite de la ciénega, influencia de un canal de desagüe.
	3	N19° 21' 27.9" W99° 31' 07.0"	2582	Cerca de la unión de de dos canales de aguas negras, fin de la ciénega, a 400m del río Lerma
	4	N19° 20' 42.4" W99° 30' 13.82	2580	Zona con vegetación y conservada, puestos de caza
	5	N19° 21' 10.8" W99° 29' 42.1"	2580	Entrada a la ciénega del río San Faustino, único tributario.
Almoloya	1	N19° 09' 05.5" W99° 29' 55.7"	2577	Centro de la ciénega, zona conservada
	2	N19° 09' 08.3" W99° 29' 33.1"	2577	Embarcadero de la ciénega
	3	N19° 08' 11.9" W99° 30' 31.1"	2585	A un costado de la zona de cultivo, vegetación densa de tules
	4	N19° 09' 43.6" W99° 29' 54.5"	2587	A un costado de la laguna de oxidación
	5	N19° 09' 43.1" W99° 30' 10.9"	2593	Inicio del río Lerma
Lerma	1	N19° 13' 23.2" W99° 29' 17.6"	2592	Zonas de pastoreo
	2	N19° 13' 49.4" W99° 29' 58.0"	2591	Centro de la ciénega, zona conservada con influencia de canales de agua residual
	3	N19° 13' 57.2" W99° 30' 08.3"	2575	Cerca del río Lerma, zona de pesca
	4	N19° 14' 12.7" W99° 30' 35.1"	2576	Zona conservada, desarrollo de pesca
	5	N19° 15' 39.0" W99° 30' 22.0"	2594	A un costado del poblado de San Pedro

Anexo III. Fuentes de contaminación de acuerdo con Geldreich y Kener (1969).

CF/EF	Fuentes de contaminación probables
>4.0	Fuerte evidencia de contaminación humana
2.0-4.0	Predomina la contaminación humana (mezcla humana-animal)
0.7-2.0	Predomina la contaminación animal (mezcla humana-animal)
<0.7	Fuerte evidencia de contaminación animal

Anexo IV. Límites permisibles en materia de agua contaminada.

Parámetros		Embalses naturales y artificiales					Ríos					
		LFDMA 1998	NOM-001- ECOL-1996 Uso en riego agrícola		NOM-001- ECOL-1996 Uso público urbano.		NOM-001-ECOL- 1996 Uso en riego agrícola		NOM-001-ECOL- 1996 Uso público urbano		NOM-001-ECOL-1996 Protección de vida acuática	
		PM	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Contaminantes	Temperatura °C		40	40	40	40	NA	40	40	40	40	40
	pH	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10
	Nitrógeno Total mg/L	40	40	60	15	25	40	60	40	60	15	25
	Fósforo Total mg/L	20	20	30	5	10	20	30	20	30	5	10
Metales pesados	Arsénico mg/L	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2
	Cadmio mg/L	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
	Cobre mg/L	4	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
	Cromo mg/L	0.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1
	Mercurio mg/L	0.005	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
	Níquel mg/L	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
	Plomo mg/L	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc mg/L	10	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	

PM: Promedio mensual, PD: Promedio diario, NA: No aplicable.