



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**Evaluación bacteriológica de la calidad del  
agua del Río Lerma, México**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A  
**ALBERTO JORGE LIMA MENDOZA**



DIRECTORA: DRA. MARISA MAZARI HIRIART  
ASESOR INTERNO: BIÓL. ANGELICA ELAINE GONZÁLEZ SCHAFF

MÉXICO, D. F.

Enero 2007.



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.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada SEMARNAT-CONACYT-2002-CO1-0249/A, a través del proyecto: “Evaluación del manejo del agua como elemento integrador en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago”.

A mí directora de tesis la Dra. Marisa Mazari Hiriart del Instituto de Ecología, UNAM por la oportunidad de trabajar con ella, su apoyo, su paciencia, así como por sus acertadas observaciones y comentarios hechos para realización del presente trabajo de tesis.

Al Dr. Manuel Guzmán del Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara por las facilidades otorgadas en su laboratorio.

A la Dra. Mayra Gavito del Laboratorio de Microbiología, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO, UNAM) Campus Morelia, Michoacán por las facilidades otorgadas.

A la Dra. Yolanda López Vidal del Laboratorio de Inmunología Molecular Microbiana de la Facultad de Medicina, UNAM, por la identificación de bacterias.

Al Dr. Martín López Hernández cuya amplia experiencia permitió ubicar y llegar a cada uno de los sitios.

A la M. en C. Pilar Islas Macías por su apoyo en el trabajo de campo, el análisis de los parámetros físicos y químicos; así como por la capacitación en las diferentes técnicas analíticas para realizar el presente trabajo, además de sus comentarios y observaciones.

A la M, en C. Alba Esmeralda Zarco Arista por sus valiosos comentarios y en la elaboración del mapa para este trabajo, así como por las muestras de apoyo.

Al Dr. Salvador Hernández Aviles por sus valiosos comentarios y facilidades dadas en las revisiones a mi trabajo de tesis. Así como por su amistad.

A la Bióloga Marisela Arteaga Mejia por sus valiosos comentarios y facilidades dadas en la revisión de mi tesis.

A la M, en C. Angélica Elaine Shaff, por su accesoria y apoyo en la realización de este trabajo, como mí directora interna y por su amistad.

Al Biólogo Raúl Arcos por sus valiosos comentarios y facilidades dadas en la realización de mi tesis.

Al M en C. Armando Cervantes por el apoyo dado en cuestiones de asesoría estadística y por su amistad.

Al Biólogo Jorge Martínez por las asesorías y apoyo dado en la elaboración del presente trabajo en cuestiones estadísticas y por su amistad.

A todos mis compañeros de laboratorio por sus comentarios y muestras de solidaridad: Dra. Ana Cecilia Espinosa, M en C. Gustavo Pérez, M en C. Sara Bonilla y al M en C. Michael "Mich" en la culminación de este trabajo.

A todas aquellas personas que me faltaron mencionar, les agradezco su tiempo, su apoyo y por creer en mí.

**"MUCHAS GRACIAS"**

A mi madre, por creer en mi, por su apoyo, confianza  
y comprensión; por enseñarme que  
en la vida siempre se da todo o nada.

A mis hermanos Ángel "el pequeño",  
Evelia "la dolía", a mi sobrina Lidia "lilibel" y  
a mi cuñado Ángel por estar conmigo siempre.

A mis tíos Víctor e Hilda, a mis primos  
Cinthia, Ivonne, Pedro y Víctor, por brindarme  
su cariño y apoyo en el momento justo.

A mi amiga Beatriz Martines por su valiosa amistad, apoyo  
y consejos.

Pero en especial a ti que eres lo más importante en mi vida,

**Fernanda Yoselin Lima**

Ya que todo lo que hago, lo hago pensando en ti.

## Índice

	Pág.
Agradecimientos.....	I
Índice de tablas.....	IV
Índice de figuras.....	V
Resumen.....	VI
1. Introducción.....	1
1.1. Usos del agua.....	2
1.2. Calidad del agua.....	3
2. Antecedentes generales.....	7
2.1. Origen e importancia del río Lerma.....	7
2.2. Afluentes principales y división por tramos.....	7
2.3. Problemática del río Lerma.....	9
3. Objetivos.....	16
3.1. Objetivo general.....	16
3.2. Objetivos particulares.....	16
4. Métodos.....	17
4.1. Métodos de campo .....	17
4.1.1. Estaciones de muestreo.....	17
4.2. trabajo de campo.....	19
4.3. Métodos bacteriológicos.....	19
4.4. Métodos físicos y químicos.....	20
4.5. Análisis temporal.....	21
4.5.1. Datos de la RNMCA.....	21
5. Resultados.....	23
5.1. Parámetros bacteriológicos.....	23
5.2. Identificación de bacterias.....	26
5.3. Parámetros físicos y químicos.....	33
5.4. Análisis temporal.....	42
5.4.1. Parámetros bacteriológicos.....	42
5.4.2. Parámetros físicos y químicos.....	45
6. Discusión de resultados.....	54
6.1. Parámetros bacteriológicos.....	54
6.2. Bacterias identificadas.....	58
6.3. Parámetros físicos y químicos.....	62
6.4. Análisis temporal .....	69
6.4.1. Parámetros bacteriológicos.....	69
6.4.2. Parámetros físicos y químicos.....	71
7. Conclusiones.....	74
Referencias.....	77
Anexo I	85
Anexo II	86
Anexo III	87
Anexo VI	88

## Índice de tablas

Tabla 1	Afluentes principales del río Lerma	8
Tabla 2	Localización de los sitios de muestreo a lo largo del río Lerma	17
Tabla 3	Fuentes de contaminación de acuerdo con Tchobanoglobus, 1987 y Gerba, 2000	25
Tabla 4	Resultados a partir del uso del cociente en las ocho estaciones durante el 2005 en el cauce principal del río Lerma	26
Tabla 5	Identificación géneros y especies de las bacterias del agua del río Lerma, junio 2005	28
Tabla 6	Identificación de género y especie de las bacterias CT, CF y EF del mes de septiembre del 2005	30
Tabla 7	Cuadro comparativo de las bacterias CT y CF de las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las monitoreadas en el río Lerma del 2005, con las normas vigentes en relación a sus límites permisibles para su uso	69
Tabla 8	Comportamiento de las variables físicas y químicas de las estaciones de la RNMCA del 2003 y las estaciones monitoreadas del río Lerma en el 2005, con respecto a las normas nacionales e internacionales vigentes	71

## Índice de figuras

		Pág.
Figura 1	Localización de las estaciones de muestreo a lo largo del río Lerma	18
Figura 2	Variaciones de CT, CF y EF en las ocho estaciones del mes de junio a lo largo de río Lerma	23
Figura 3	Variaciones de CT, CF y EF en las ocho estaciones del mes de septiembre a lo largo de río Lerma	24
Figura 4	Variaciones en la profundidad (m) en las estaciones del río Lerma	33
Figura 5	Variaciones de la temperatura (°C) en las estaciones del río Lerma	34
Figura 6	Variaciones de pH en las estaciones del río Lerma	34
Figura 7	Variaciones de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) en las estaciones del río Lerma	35
Figura 8	Variaciones de oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en las estaciones del río Lerma	36
Figura 9	Variaciones de sólidos disueltos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en las estaciones del río Lerma	37
Figura 10	Variaciones de dureza total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en las estaciones del río Lerma	38
Figura 11	Variaciones de nitrógeno total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en las estaciones del río Lerma	39
Figura 12	Variaciones de fósforo total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en las estaciones del río Lerma	40
Figura 13	Variaciones de carbono orgánico total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) en las estaciones del río Lerma	40
Figura 14	Variaciones temporales de coliformes totales en las estaciones en el agua de las estaciones de la RNMCA del 2003 y las estaciones de monitoreo del 2005, a lo largo del río Lerma	43
Figura 15	Variaciones temporales de coliformes fecales en el agua de las estaciones de la RNMCA del 2003 y las estaciones del 2005, a lo largo del río Lerma	45
Figura 16	Variaciones temporales de la temperatura en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma	46
Figura 17	Variaciones temporales del pH de las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma	47
Figura 18	Variaciones temporales de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma	49
Figura 19	Variaciones temporales del oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{L}$ ), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma	50
Figura 20	Variaciones temporales de los sólidos disueltos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma	51
Figura 21	. Variaciones temporales de la dureza total ( $\text{mg}/\text{L}$ ), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma	53



## Resumen

El río Lerma es la corriente superficial más aprovechada de la cuenca Lerma-Chapala y representa una zona de alta productividad para México; ya que su agua es almacenada mediante presas y bordos de diversas dimensiones, empleadas para el control de avenidas, generación de energía eléctrica, riego agrícola, ganadería, actividades recreativas, piscicultura, así como uso doméstico.

Desde su origen, recibe descargas de aguas residuales urbanas e industriales de las localidades de Almoloya del Río, Santiago Tianguistengo, San Mateo Atenco, la ciudad de Toluca y del corredor industrial de Toluca-Lerma. Además, en su trayecto existen varias presas (Presa Alzate, Solís, Tepuxtepec, etc.), en las cuales se almacena el agua del río para después utilizarla para la irrigación de las zonas del Bajío; incluyendo a la Ciudad de la Piedad de Cabadas en Michoacán y del corredor industrial Salamanca en Guanajuato, la ciudad de Celaya, Irapuato así como de la ciudad de Salamanca entre las más importantes. Debido a los diferentes usos del agua y al escaso tratamiento la calidad se ha visto afectada.

Para dar una visión actual sobre la problemática de calidad del agua del río Lerma, se ha considerado necesario evaluar la alteración de esta desde el punto de vista bacteriológico para conocer las condiciones en las que se encuentra el río Lerma, mediante el uso de bacterias indicadoras (coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales).

Para llevar a cabo lo anterior, se consideraron dos muestreos uno en el mes de junio y otro en el mes de septiembre del 2005. La selección de las ocho estaciones de muestreo se basó en los siguientes criterios: a) accesibilidad al sitio, b) sitio influenciado por actividades industriales, agrícolas, urbanas y ganaderas, c) que cada sitio seleccionado representara en resumen factores antropogénicos y ambientales a lo largo del cauce y d) sitios localizados antes y después de alguna presa o de entrada de agua de algún río; con esta selección se intentó captar la variabilidad ambiental a lo largo de su trayecto.

Para el análisis bacteriológico del agua se empleó el método de filtración a través de membrana (APHA, 1998), para aislar las bacterias del agua (coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales (UFC/100 mL)). La identificación de bacterias aisladas de las muestras positivas se llevó a cabo a nivel de género y especie, utilizando dos procedimientos de cultivo descritos con agar Sheep Blood y MacConkey al 5% usando un equipo semiautomatizado DADE MicroScan, Auto Scan-4.

Se evaluaron los siguientes parámetros físicos y químicos del agua: profundidad, pH, temperatura, oxígeno disuelto, dureza total, sólidos disueltos totales, nitrógeno total, fósforo total y carbono orgánico total. Los análisis se llevaron a cabo mediante técnicas estándar APHA (1998), y de acuerdo con las técnicas descritas en el manual de operación HACH (2002), utilizando el multiparametro (sension156, HACH), así como el espectrofotómetro portátil HACH.

Los resultados de los análisis bacteriológicos indicaron la presencia de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales, en las ocho estaciones en el mes de junio y septiembre. Comparando los resultados con la NOM-001-ECOL-1996 y con la Ley Federal de Derechos (disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales (2005)), se observó que los ocho sitios rebasan los límites establecidos para uso de suelo, uso agrícola y vida acuática.

De la identificación de bacterias resultó un total de 12 géneros y 18 especies para ambos muestreos; para el muestreo de junio se identificaron nueve géneros y 13 especies y para el muestreo de septiembre se identificaron ocho géneros y 14 especies. De este análisis se lograron identificar cuatro especies que podrían repercutir de manera importante en la calidad del agua: *Escherichia coli*, *Vibrio fluvialis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter agglomerans*. Así como bacterias de diversos grupos tales como: *E. faecium*, *E. avium*, *E. faecalis*, *E. durans/hirae* y *E. casseliflavus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus* sp., *Acinetobacter lwoffii*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter agglomerans*, *Klebsiella oxytoca*, *Hafnia alvei* y *Aeromonas hydrophila*.

De acuerdo con los datos obtenidos de los parámetros bacteriológicos CF, EF y al cociente CF/EF, la fuente de contaminación más importante en los ocho sitios de estudio es de origen humano en ambos muestreos.

En cuanto a los resultados físicos y químicos indicaron una alta variabilidad en las condiciones particulares de cada uno de los ocho sitios en ambos meses, así como una intensa perturbación y entrada de materia orgánica principalmente de origen doméstico, agrícola e industrial.

## 1. Introducción

El agua es el elemento vital para la naturaleza, la vida humana y para la economía del hombre (Baron *et al.*, 2003). En muchas regiones del mundo es un factor limitante para la salud humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial, el mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, e incluso para la estabilidad social y política (Carabias *et al.*, 2006).

La cantidad de agua con la que contamos en la Tierra no aumenta ni disminuye, pero la población humana ha crecido drásticamente, y por lo tanto se ha incrementado la necesidad de este recurso (Mazari-Hiriart, 2005). La salud de un ecosistema acuático es esencial y depende no sólo de la cantidad del agua, sino principalmente de su calidad (Meybeck *et al.*, 1996; Díaz *et al.*, 2005).

A pesar de que 70% de la superficie del planeta está compuesta por agua, el 97.5% de ésta es salada (cerca de 1,400 millones de km<sup>3</sup>), contenida principalmente en los océanos, y sólo 2.5% es agua dulce (alrededor de 35 millones de km<sup>3</sup>). De ésta, 68.9% se encuentra congelada (en bancos de hielo, glaciares y nieves perpetuas) y en la humedad del suelo; el 30.8% se almacena en aguas subterráneas, y poco menos de 0.3% es agua superficial localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales (Shiklomanov y Rodda, 2003; PNUMA, 2004). Por lo cual menos de 1% del agua dulce del mundo (cerca de 200,000 km<sup>3</sup> entre superficial y subterránea) está disponible para el uso humano y el mantenimiento de los ecosistemas naturales (PNUMA, 2004).

Los ríos son corrientes de agua que se originan en lo alto de las montañas por deshielo, por la lluvia atraída por los bosques, o por aguas subterráneas que brotan a través de manantiales (Meybeck *et al.*, 1996; CEVIA, 2005). En su trayecto descendente, fluyen a través de cuencas alimentando a diferentes ecosistemas para los cuales el agua es un elemento fundamental; forman lagos y lagunas; además cruzan pueblos, ciudades y abastecen de agua a múltiples poblaciones humanas, para después desembocar en los océanos (CEVIA, 2005). Por definición los ríos son relativamente grandes volúmenes de agua superficial que se mueven dentro de un canal visible, llevando una misma dirección y está asociado a inundaciones de llanos y vegetación ribereña (Naiman y Bilby, 2001).

Para el hombre una de las principales fuentes de abastecimiento de agua son los ríos, pero debido a la creciente necesidad de agua, se ha dejado pasar por alto los otros beneficios vitales, básicamente el mantener el agua en su curso natural conservando a estos sistemas saludables (Baron *et al.*, 2003), ya que ecológicamente desempeñan servicios que incluyen: el control de las inundaciones, transporte, recreación, purificación de residuos industriales y de desechos humanos; además, de desempeñar un rol importante en los hábitats para plantas y animales (Baron *et al.*, 2003). Para fines útiles al hombre, los ríos se han convertido en un medio receptor de diversas sustancias como: metales, grasas, aceites, derivados de combustibles, disolventes industriales, así como diversos tipos de microorganismos, producto de actividades socioeconómicas de las ciudades y corredores industriales que se ubican en sus cercanías, y como una forma rápida y eficaz de deshacerse de los desechos trasladándolos a otro lugar (Mason, 1984). Esto ha conducido a que una buena parte de las redes hidrológicas en México presenten problemas de contaminación, como consecuencia ante todo, de la multiplicación y crecimiento de los establecimientos industriales, así como la expansión extremadamente rápida de las áreas urbanas que vierten sus aguas residuales, sin ser depuradas alterando la condición natural de las aguas de los ríos (Pesson, 1979), acelerando el deterioro de su calidad.

### **1.1. Usos del agua**

Con relación a los usos en México, la demanda de agua ha aumentado con el desarrollo económico y con el incremento de la población (García, 2000), ya que el mayor volumen que se consume se destina al riego agrícola (83%), abastecimiento a las poblaciones (12%), abastecimiento de las industrias (3%) y acuacultura (2%); Siendo los sectores agropecuario, doméstico e industrial, los mas importantes en cuestiones de demanda, pero también es importante mencionar los usos con fines recreativos de contexto primario (natación), así como la navegación y pesca (García, 2000).

En México se puede decir que los principales usos del agua de acuerdo con CNA (2004a) son:

- Agropecuario, que incluye uso agrícola, pecuario, acuacultura y otros.
- Abastecimiento público, uso urbano y doméstico. En este rubro se incluyen todas las industrias y servicios que toman agua de las redes municipales.
- Uso industrial, para uso de la industria autoabastecida, esto incluye servicios de generación de energía eléctrica.

## **1.2. Calidad del agua**

El agua que es posible utilizar, se determina no solo por la cantidad disponible, sino por las condiciones de calidad. Por ello, no es adecuado hablar de buena o mala en abstracto, sino que cada actividad requiere un agua que llene los requisitos para su uso (Novotny *et al.*, 1994). Sin embargo, existen factores físicos químicos y biológicos que pueden afectar de manera natural su calidad; existen dos formas a través de las cuales se puede contaminar el agua. Una de ellas es por medio de contaminantes naturales, es decir, el ciclo natural del agua puede entrar en contacto con contaminantes que se vierten en las aguas, atmósfera y corteza terrestre por ejemplo: sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión, tales como arsénico, cadmio, bacterias, arcillas, materia orgánica, etc. La otra es a través de los contaminantes generados por el hombre producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o indirectamente en el agua por ejemplo: las sustancias de rellenos sanitarios, sustancias provenientes de desechos industriales, sustancias empleadas en el combate de plagas agrícolas y/o vectores de enfermedades.

La naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de los recursos acuáticos, está directamente relacionada con el uso que le dará el ser humano (Mazari-Hiriart *et al.*, 2005). Para evaluar los cambios en las condiciones del agua, se pueden emplear parámetros tanto físicos, químicos como biológicos, que proporcionan ciertas características al agua; a estos se les denomina “indicadores de la calidad del agua” (Seoáñez, 1999).

La primera impresión de las condiciones en las que se encuentra el agua se basa en las características físicas. De acuerdo con Tchobanoglous y Schroeder (1987) como características físicas podemos considerar: turbidez, sólidos (sedimentables, suspendidos, coloidales o disueltos), color, olor y temperatura.

Para las características químicas según Tchobanoglous y Schroeder (1987) son: pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, conductividad eléctrica, dureza basada en calcio y magnesio, nutrientes como el nitrógeno en forma de nitratos, nitritos, amonio, así como carbono orgánico total y fósforo, entre los más comunes.

Los parámetros biológicos se relacionan principalmente con las poblaciones de microorganismos acuáticos, con un efecto directo en la calidad del agua, siendo el efecto más relevante la transmisión de enfermedades por organismos patógenos (Tchobanoglous y Schroeder, 1987); entre los que se consideran las bacterias (Campos, 2005). Las bacterias son microorganismos unicelulares de < 1 ( $\mu\text{m}$ ) hasta diez  $\mu\text{m}$  de longitud y de 0.2 a 1  $\mu\text{m}$  de ancho (Aurazo, 2005). Las bacterias se encuentran cubiertas por una pared celular fuerte y rígida; están provistas de una cápsula viscosa que representa una capa protectora adicional, lo que le permite su supervivencia en el ambiente por varias horas o días (Aurazo, 2005). Se multiplican por división celular y su velocidad de reproducción depende de varios factores como la temperatura, pH, y disponibilidad de nutrientes (Seóanez, 1999). Proviene básicamente de seres humanos y de animales de sangre caliente (Aurazo, 2005), a través de los cursos de agua de descargas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente, drenaje de lluvias, descarga de plantas de procesamiento de carne de ganado y de aves, así como escorrentías que pasan por los corrales de ganado (caballos, vacas, burros, cerdos) (Aurazo, 2005). Además son causantes de enfermedades intestinales y no suelen multiplicarse en agua limpia (APHA, 1998; Gerba, 2000; Martins y Facklam, 2003; Aurazo, 2005). Las más utilizadas para fines de la evaluación de la calidad del agua son coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales (OMS, 1996; Martins y Facklam, 2003).

Las bacterias coliformes totales, se refieren a un grupo de gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, que no forman esporas (APHA, 1998). Dentro

del grupo de coliformes totales se puede referir a los géneros, *Enterobacteriaceae*, *Citrobacter*, y *Klebsiella*, estos organismos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza (APHA, 1998; Tallon *et al.*, 2005). Pueden existir de vida libre como saprofitas en el tracto intestinal del hospedero de animales de sangre caliente, y son excretadas en gran número en las heces fecales  $2 \times 10^9$  por gramo de heces (Gerba, 2000; Tallon *et al.*, 2005).

Las coliformes fecales, son un subgrupo de las coliformes totales (APHA, 1998; Tallon *et al.*, 2005). Aproximadamente el 94% del grupo de las coliformes fecales esta representado por *Escherichia coli* que esta presente en las heces de origen humano y animal, mientras que un 3.2 a 7.4% están representadas por *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (APHA, 1998; Tallon *et al.*, 2005).

El grupo de enterococos se refieren a cocos gram positivos, catalasas negativas que no forman endosporas ni cápsulas, forman sus colonias en grupos o cadenas. Este grupo incluye los siguientes géneros: *Streptococcus faecalis*, *S. faecalis* subp. *liquefaciens*, *S. faecalis* subp. *zymogenes*, *S. faecium*, *S. equinus*, y *S. avium* (APHA, 1998). Entre las características fisiológicas que distinguen al genero *Enterococcus* se encuentra, la habilidad para crecer en presencia de 6.5% de cloruro de sodio a 10°C y 45°C y a pH 9.6 (Suárez, 2002). Se encuentran de manera natural en muchos organismos, incluidos los humanos, como parte de su flora intestinal (APHA, 1998). Son microorganismos muy resistentes, pues presentan alta tolerancia a condiciones ambientales adversas, altas o bajas temperaturas, concentraciones relativamente altas de sales y ácidos, deshidratación, salinidad y luz solar; por lo que se suelen emplear para determinar la contaminación fecal en agua (Gerba, 2000; Suárez, 2002; Campos, 2005).

Estas bacterias son conocidas como “indicadores biológicas de la calidad del agua” ya que tienen un comportamiento similar a los patógenos (concentración y reacción frente a factores ambientales y barreras artificiales), pero son más rápidas, económicas y fáciles de identificar (Campos, 2005). Una vez identificada su presencia y su concentración en el agua proporciona herramientas indispensables en la evaluación de calidad del agua, así como para la toma de

decisiones en relación al control de vertimientos, tratamientos de aguas y conservación de ecosistemas.

Para cumplir con un indicador ideal en agua dulce y salada según (APHA, 1998; Gerba 2000, Bitton, 2005) sugieren los siguientes criterios:

- Los organismos deben estar presentes cuando los patógenos entericos estén presentes.
- Los organismos deben tener un tiempo de sobrevivencia similar al de los patógenos entéricos.
- Los organismos no deben crecer y producirse en agua.
- Los métodos de prueba deben ser fáciles de realizar.
- La densidad de los organismos indicadores debe tener relación directa con el grado de contaminación fecal.
- Los organismos deben ser miembros de la microflora intestinal de los animales de sangre caliente.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Origen e importancia del río Lerma**

Una de las necesidades básicas para la población en México es el abasto del agua, para lo cual su calidad es importante; así como también el interés en la preservación de los recursos hídricos nacionales (Esparza, 1997; Moreno, 2000).

El río Lerma tiene su origen en varios manantiales permanentes que brotan en jurisdicción del distrito de Tenango, del Estado de México, dentro del cual recibe como afluentes principales a los ríos Almoloya, San Pedro y Tepetitlán en el Estado de México; los ríos La Laja, Guanajuato y Turbio en el estado de Guanajuato; y los ríos Angulo, Ayo el Chico y Duero en el estado de Michoacán (DOF, 1996); fluyendo a través de bosques, tierras de cultivo y áreas urbanas (Scott *et al.*, 2001). Constituye el colector general de la cuenca Lerma-Chapala, en su trayecto pasa por los estados de México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato y Jalisco hasta llegar al Lago de Chapala en Jalisco, drenando una superficie de 41,429 km<sup>2</sup> en un recorrido de 754 km (DOF, 1996a; Aparicio, 2001; Boehm *et al.*, 2002) (ver figura 1).

El río Lerma representa la corriente superficial más importante de la cuenca Lerma-Chapala, ya que su agua es aprovechada mediante presas y bordos de diversas dimensiones, para el control de avenidas, generación de energía eléctrica, riego agrícola, ganadería, actividades recreativas, piscicultura y para uso doméstico (De León *et al.*, 2001; INEGI, 2001).

La Comisión Nacional del Agua para llevar a cabo la evaluación físico, química y bacteriológica evalúa 31 ríos de importancia nacional y 15 cuencas que reciben la mayor carga de contaminantes en el país, en los cuales se realizan mediciones sistemáticas de la calidad del agua desde 1973, entre las cuales se llevan a cabo mediciones en el río Lerma (CNA, 2005).

### **2.2. Afluentes principales y división por tramos**

Para fines de localización, clasificación e importancia de este sistema acuático, en la Tabla 1 se enlistan los principales afluentes del Lerma en su



recorrido. Además de manera general se describen algunas características relevantes de los principales afluentes al río Lerma (ver figura 1).

Tabla 1. Afluentes principales del río Lerma (Moreno, 2000).

Nombre	Área de la cuenca km <sup>2</sup>	Ubicación en el tramo
Río Otzolotepec	212	1
Río la Gavia	554	3
Río Jaltepec	411	3
Río Tlalpujahuá	485	9
Río La Laja	9,651	13
Río Guanajuato	528	16
Río Turbio	4,492	18
Río Angulo	2,064	18
Río Duero	2,318	22

*Confluencia con el río La Laja:* en el punto llamado El Ciprés, ubicado a 3 km al SE de Salamanca Guanajuato, se presenta la confluencia más importante del río Lerma, con el llamado río de La Laja. Este afluente derecho del río tiene un recorrido de 250 km y una cuenca de 9,679 km<sup>2</sup>.

*Confluencia con el río Turbio:* el río Turbio es el afluente derecho que entra al río Lerma 62 km aguas abajo de la confluencia con el río Guanajuato; su cuenca es una de las más amplias, abarca 3,078 km<sup>2</sup> del estado de Guanajuato y 1,414 km<sup>2</sup> del estado de Jalisco. En esta cuenca se localizan varias ciudades importantes, entre las que sobresalen León, San Francisco del Rincón, Manuel Doblado, Pénjamo, Cuitzeo de Abasolo y Cuerámara, en el estado de Guanajuato. Sus afluentes principales son: Arroyo Moctezuma, río San José de las Pilas, arroyo del Zarco, río Colorado, arroyo Hondo y río Pénjamo, después de la unión con este último el río Turbio con gran cantidad de sinuosidades entra al Lerma.

*Confluencia con el río Duero:* el río Duero es el último afluente importante del Lerma. Entrando por la margen izquierda, cerca del poblado de Ibarra, situado a 18 km aguas abajo de La Barca, Jalisco y aproximadamente 17 km aguas arriba de la desembocadura del río Lerma en el Lago de Chapala.

En 1996 la Comisión Nacional del Agua estableció de acuerdo a la capacidad de asimilación y dilución, las metas de calidad del agua, los plazos para

alcanzarlas y los parámetros que deberán considerarse para el cumplimiento de las descargas de aguas residuales la declaratoria del río Lerma (DOF, 1996a); señala que del tramos 1 al 9 que inicia en la Lagunas de Almoloya y termina al inicio de la presa Solís, la calidad del agua debe ser la adecuada para uso agrícola; mientras que para los tramos 10 al 22 que inician a partir de las cortinas de la presa Solís y terminan en la desembocadura al Lago de Chapala, la calidad del agua debe ser la adecuada para abastecimiento de agua potable, tal como se describe en el anexo 1.

### **2.3. Problemática del río Lerma**

El río a lo largo de su cauce es receptor de las descargas de aguas residuales de municipios e industrias, que incorporan al agua del río materia orgánica, metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), por la elaboración de textiles, procesamiento de alimentos, química, farmacéutica, destilación, metalurgia, entre otros (Hansen y van Afferden, 2001a); en su trayecto existen varias presas que utilizan el agua para la irrigación de la zona del Bajío; incluyendo a la ciudad de la Piedad de Cabadas que arroja sus desechos al río Lerma, siendo este lugar uno de los más contaminados (Hansen *et al.*, 1995). Dentro del cauce se pueden observar grandes cantidades de envases de polietileno, bolsas y materiales de difícil degradación; así como aportes de materia fecal de origen tanto humano como animal. Afectando la dinámica natural del río, ocasionado la desaparición y/o extinción de especies animales y vegetales, con una notable reducción en la cantidad y calidad del agua que este río aporta al Lago de Chapala.

En la década de los cincuenta, el impulso de la industrialización en la parte alta del río Lerma empezó a ocasionar cambios desfavorables en los recursos hidrológicos, cuyo problema de contaminación se consideró de alto riesgo y de control inmediato (INEGI, 2001). Este crecimiento urbano-industrial provocó que aproximadamente el 60% de las aguas residuales que provenían de las zonas de industriales de Toluca, Lerma, Ocoyoacac, Santiago Tianguistengo, Pasteje y Atlacomulco, se vertieran al agua del río Lerma (INEGI, 2001); ocasionando que el

tramo comprendido desde el nacimiento del río Lerma, hasta la presa José Antonio Alzate, presentara un alto grado de contaminación y de condiciones sépticas (INEGI, 1999).

Debido al incremento en las extracciones del río en la parte alta (Toluca) en 1960, ocasionado por el sector agrícola, urbano e industrial de los gobiernos municipales, estatales y federales (Estado de México y Querétaro), así como a la escasez en las lluvias, dio como resultado una disminución en el flujo del río Lerma y en su volumen de almacenamiento (Aparicio, 2001), aumentando los problemas de escasez y contaminación del agua en la cuenca (Scott *et al.*, 2001). El 13 de abril de 1989, se firmó un acuerdo histórico entre los gobiernos de los estados de México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato y Jalisco, para promover el manejo del agua en la cuenca con cuatro objetivos principales: a) promover la mejoría en la calidad del agua de los afluentes municipales e industriales mediante el tratamiento de ésta, b) regular y controlar el agua superficial, distribuyendo de manera parcial cantidades de ésta y estableciendo políticas de distribución del agua por usuario, c) incrementar la eficiencia del uso del agua, y d) conservar los ecosistemas que se encuentran en la cuenca del río (Scott *et al.*, 2001).

En el año de 1992 se aprobó la elaboración de un Plan Maestro para la Cuenca Lerma-Chapala. Su propósito fue el de precisar estrategias y programas de corto y largo plazo, a fin concertar acciones específicas para alcanzar un desarrollo sustentable de los aprovechamientos del agua de la cuenca, y a la vez, sistematizar el proceso de planeación y la toma de decisiones que se inició con la constitución del Consejo Consultivo de la Cuenca en 1989 (IMTA, 1998). En este documento se describe el sistema hidrográfico de la cuenca y los niveles de precipitación, con un volumen anual de 10,437 Mm<sup>3</sup> (millones de metros cúbicos) que se concentra principalmente, en los meses de julio a septiembre. Hace mención del problema de la erosión, puntualizando que más del 45% de la superficie de la cuenca presenta erosión moderada y un 35% erosión acelerada. Por otro lado, el 15.5% de la superficie total de la cuenca lo ocupan los distritos de riego, el 8.2% la agricultura de temporal y el resto de la superficie incluyen áreas forestales, así como aquellas que se destinan a otros usos, incluidos los centros

de población y los cuerpos de agua (IMTA, 1998). Datos importantes sobre la extracción total de agua de la cuenca, incluida la proveniente del Lago de Chapala, asciende a 7,968 Mm<sup>3</sup>. El 82% de este volumen se destina a riego, 14% al abastecimiento de agua a poblaciones y 4% al uso industrial. En cuanto a la industria, la extracción total de agua destinada a este giro es de 295 Mm<sup>3</sup> por año, los cuales provienen de agua subterránea. El 90% de las 560 industrias registradas se autoabastecen mediante pozos, mientras que el resto a través de redes municipales. El intenso aprovechamiento del agua de la cuenca genera anualmente alrededor de 400 Mm<sup>3</sup> de aguas residuales, con una carga de contaminante de 169,000 toneladas de DBO por año, lo que aunado a los bajos escurrimientos, han llevado al río Lerma y sus afluentes, Lago de Chapala y los principales acuíferos de la cuenca, a una situación de contaminación (IMTA, 1998).

En este documento también especifica la existencia de 22 estaciones de monitoreo de la calidad del agua en el cauce del río Lerma y sus afluentes, 28 estaciones en el Lago de Chapala y dos laboratorios: uno, en Guadalajara y otro en Celaya, que cuentan con equipo, métodos analíticos y procedimientos de trabajo adecuados, pero con escaso personal calificado. Estas estaciones no disponen de registros para metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas, requeridos para la evaluación de riesgos a la salud derivados de la interacción agua-sedimento tóxicos. En este caso se señala que los acuíferos del Valle de Toluca, Querétaro, León e Irapuato son los que presentan problemas de contaminación ocasionada en general y principalmente por la infiltración esporádica de aguas residuales de origen industrial y agrícola (IMTA, 1998).

En enero de 1993 el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala quedó en turno para consultar y llevar a cabo los cuatro objetivos planteados con representantes de agencias federales, estatales y grupos de usuarios de varios sectores en la cuenca (Scott *et al.*, 2001).

Debido a que los recursos hídricos no solo del río Lerma han sufrido deterioro en su calidad al recibir las descargas provenientes de retornos agrícolas, de procesos industriales y de asentamientos humanos, la Ley de Aguas Nacionales a través la Comisión Nacional del Agua, especificó los parámetros que deberán

cumplir las descargas residuales, determinaron la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales, las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de declaratorias de clasificación de los cuerpos de aguas nacionales como lo es el río Lerma (DOF, 1996a); debido a que esta fuente de abastecimiento debe preservarse para los usuarios de los diferentes sectores de la cuenca (DOF, 1996a).

Numerosos han sido los estudios en la cuenca del río Lerma, con el fin de dar un seguimiento a la evolución de las características del río. Desde el año de 1973, se establece la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA), para realizar mediciones continuas y sistemática en los principales cuerpos de agua (ríos, lagos), como soporte para la realización de proyectos especiales de calidad de agua y del impacto ambiental, con el fin de definir las políticas de saneamiento (Moreno, 2000) por parte de la Comisión Nacional del Agua.

Hansen *et al.* (1995), describen la importancia que tiene el agua del río Lerma para diferentes actividades económicas, el uso y abasto de agua para la irrigación, así como medio receptor de descargas de aguas residuales municipales e industriales. Señalan las diferentes fuentes, riesgos, contaminantes y la acumulación de sustancias tóxicas en diferentes zonas de la cuenca. En suma, la presencia de presas, ciudades y poblados localizados básicamente en la zona del Bajío, han provocado que sus aguas residuales y desechos domestico-agrícola e industriales fueran vertidos al cauce del río sin previo tratamiento (Hansen *et al.*, 1995).

Camacho (1999) describe el impacto de las descargas de la aguas residuales al río Lerma de la refinería Ing. Antonio M. Amor, ubicada en Salamanca, Guanajuato; el cual analiza las descargas superficiales cuando un efluente entra a un cuerpo de agua receptor a través de un canal, mediante la predicción del comportamiento de las concentraciones de sólidos suspendidos totales y cromo en el agua del río Lerma.

Moreno (2000) analiza datos bacteriológicos, físicos y químicos del agua del río Lerma proporcionados por la Comisión Nacional del Agua en cuatro

estaciones: Puente Solís (DIF), Acámbaro (Puente Ferrocarril) Guanajuato y Briseñas, Jalisco; describe que durante los años de 1991 a 1998, coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) se presentan en las cuatro estaciones en todos los años, siendo 1998 el año que presentó el conteo mas alto de  $6.2 \times 10^6$  NMP/100 mL para CT y de  $4.1 \times 10^6$  NMP/100 mL para CF en época de secas; mientras que para época de lluvias todas las estaciones presentaron conteos altos de CT que alcanzaron los  $5.7 \times 10^6$  NPM/100 mL en el año de 1993 y a  $1.9 \times 10^3$  NMP/100 mL en el año de 1995, y para CF solo la estación Briseñas presentó datos que van de los 600 NMP/100 mL a los  $1.2 \times 10^4$  NMP/100 mL de 1991 a 1998; concluyendo que en el periodo de estiaje y el grado de contaminación del agua del río Lerma ha sido mayor en algunos parámetros físicos y químicos, que en el periodo de lluvias. Lo anterior podría pensarse que sea contrario a lo esperado, ya que al haber un mayor escurrimiento, como es el caso de las lluvias, la dilución seria mayor. Sin embargo, también es cierto que un mayor gasto puede producir más arrastre y material contaminante.

Aparicio (2001) describe los aspectos generales de cuenca Lerma-Chapala tales como: topografía, hidrología, clima, suelo, vegetación e infraestructura hidráulica; además de la importancia que tiene el río Lerma para actividades industriales, urbanas y agrícolas. Proporciona una idea general de la problemática de la contaminación, erosión y disponibilidad del agua en zonas aledañas al cauce del río.

De León *et al.* (2001) realizaron una investigación del manejo general de los recursos naturales en la cuenca Lerma-Chapala, en la que describe los diferentes tipos de contaminación del suelo por un alto contenido de metales pesados (Cd, Pb, Zn, Cr y Co), por la producción agrícola de maíz, tomate y alfalfa. Hacen énfasis en la acelerada sobreextracción de agua de acuíferos, el crecimiento poblacional e industrial a lo largo del río Lerma y la falta de planeación para el manejo del agua.

Hansen y van Afferden (2001a) realizaron una evaluación ambiental en la cuenca Lerma-Chapala a través de la estimación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en diferentes zonas de esta, con base en la dinámica de los

contaminantes en el ambiente. Analizaron la presencia de contaminantes orgánicos (generados a partir de cultivos) e inorgánicos, metales pesados (Ag, Zn, Pb, Ni, Cu) y plaguicidas (clorados y compuestos aromáticos policíclicos), que afectan la dinámica tanto en sedimentos como en agua. Encuentran aportes de metales por descargas de aguas residuales de Cr en 464 kg/día, Zn 46 kg/día y Pb 13 kg/día. El estudio se basó en datos de estaciones distribuidas en el río Lerma, río Turbio, León (Guanajuato) y La Piedad, (Michoacán).

La Comisión Nacional del Agua a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) (2002), reportó el análisis de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua de los años 1990 al 2001, para el caso específico de las estación Puente Briseñas de 1991 a 1998 y de la estación La Palmita de los años 1999 al 2001 localizadas en el río Lerma, mostrando incremento en nitratos y sólidos disueltos de 1998 al 2001. Resaltan el incremento en coliformes fecales en el río Lerma de  $6.8 \times 10^4$  NMP/100 mL en 1997 y de  $1.38 \times 10^6$  NMP/100 mL en 1998, con respecto al año 1991 donde no se detectó la presencia de CF y se nota una disminución en 2001 hasta los  $4.0 \times 10^3$  NMP/100 mL (ver anexo 1). Por otro lado los niveles de oxígeno disuelto reportados indicaron que son bajos en 1990 en la estación Puente Briseñas de 2.40 mg/L, aumentando en 1991 a 4.35 mg/L y manteniéndose por debajo de los 4 mg/L en 1992 y 1993; siendo los años de 1994, 1996, 1999 y 2001 los años donde el oxígeno disuelto osciló entre 5.7 y 6.6 mg/L, solo en 1998 el oxígeno se presentó por abajo de 0.8 mg/L, cabe señalar que la estación Puente Briseñas operó de 1990 a 1998 y en su lugar operó la estación La Palmita de 1999 al 2001 (anexo IV).

IMTA (2004a) a través de La Red de Investigaciones del Agua (REDAGUA), realizó una evaluación de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, tomando en cuenta el recurso hidráulico y el impacto ambiental en la calidad del agua, señala que en el tramo Laguna de Almoloya y presa Solís la presencia de coliformes fecales, coliformes totales, nitrógeno amoniacal y materia orgánica, son claro ejemplo de una fuerte carga contaminante urbano-industrial. Para el tramo de presa Solís al lago de Chapala presenta una reducción y mayor fluctuación de carga de

contaminantes coliformes fecales, coliformes totales, nitrógeno amoniacal y materia orgánica. En el lago de Chapala el problema son los nutrientes provenientes de las descargas directas al lago, retornos agrícolas y acarrees del río Lerma.

La Comisión Nacional del Agua, (2004b) realizó un estudio de contaminación difusa en la cuenca baja del río Lerma. Reportó que en total la cuenca baja (parte de los estados de Guanajuato y Jalisco) genera anualmente 7,871 T de nitrógeno y 1,874 T de fósforo. Determina que la contribución de nitrógeno por las fuentes puntuales es del 73% y las difusas del 27%. En lo que respecta al fósforo las fuentes puntuales aportan el 82% y las difusas el 18%. La mayor aportación de estos nutrientes proviene de la subcuenca Corrales que genera el 54% de nitrógeno y el 59% de fósforo, mientras que la subcuenca Angulo es la que menos aporta con 4 y 3% de nitrógeno y fósforo, respectivamente.

El presente trabajo se llevó a cabo evaluando puntualmente la calidad del agua del río Lerma a principios de lluvias y al final de esta del 2005, con el fin de conocer su estado actual, mediante la medición de las condiciones bacteriológicas, físicas y químicas en ocho sitios a lo largo de su cauce.



### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del agua del río Lerma, a partir de parámetros bacteriológicos, físicos y químicos, para obtener una perspectiva general de las condiciones en las que se encuentra actualmente.

#### **3.2. Objetivos particulares**

- Determinar coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales como indicadores bacteriológicos de la calidad del agua.
- Identificar a nivel de género y especie las bacterias aisladas en ocho estaciones de muestreo representativos de la cuenca.
- Identificar la presencia de grupos bacterianos patógenos en ocho estaciones del río Lerma.
- Determinar las características físicas y químicas de la calidad del agua en ocho sitios a lo largo del cauce principal del río Lerma.
- Comparar los datos de las variables bacteriológicas, físicas y químicas de la calidad del agua de las ocho estaciones del río Lerma obtenidos en el 2005, con lo reportado en las estaciones de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) del 2003 (ultima fecha reportada), para observar las tendencias en las concentraciones para los meses de junio y septiembre.

## 4. Métodos

### 4.1. Método de campo

#### 4.1.1. Estaciones de muestreo

La selección de las estaciones de muestreo se basó en los siguientes criterios: a) accesibilidad al sitio de muestreo, b) sitio influenciado por actividades industriales, agrícolas, urbanas y ganaderas, c) que cada sitio seleccionado representara un resumen factores antropogénicos y ambientales a lo largo del cauce del río Lerma, y d) sitios localizados antes y después de alguna presa o de entrada de agua de algún río; con esta selección se intentó captar la variabilidad ambiental a lo largo del río.

Los sitios seleccionados se geoposicionaron con un GPS 12 XLGarmin (1998), su distribución y coordenadas se muestra la Tabla 2 (Figura 1).

Tabla 2. Localización de los sitios de muestreo a lo largo del río Lerma.

Clave	Nombre del sitio	Altitud (msnm)	Norte	Oeste	Estado
L-1	Lerma	2585	19° 16' 59.6"	99° 31' 19"	México
L-2	Atlacomulco	2516	19° 50' 01.5"	99° 55' 23"	México
L-3	Tziritzícuaró	1946	19° 58' 13.8"	100° 27' 10"	Michoacán
L-4	Inchamácuaró	1860	20° 04' 49.6"	100° 49' 41"	Guanajuato
L-5	La Calle	1686	20° 28' 58.2"	101° 37' 23"	Guanajuato
L-6	Pueblo Nuevo	1725	20° 31' 21.3"	101° 22' 01"	Guanajuato
L-7	Yurécuaró	1543	20° 22' 27.0"	102° 00' 10"	Michoacán
L-8	Ibarra	1531	20° 22' 28.7"	102° 00' 17"	Jalisco

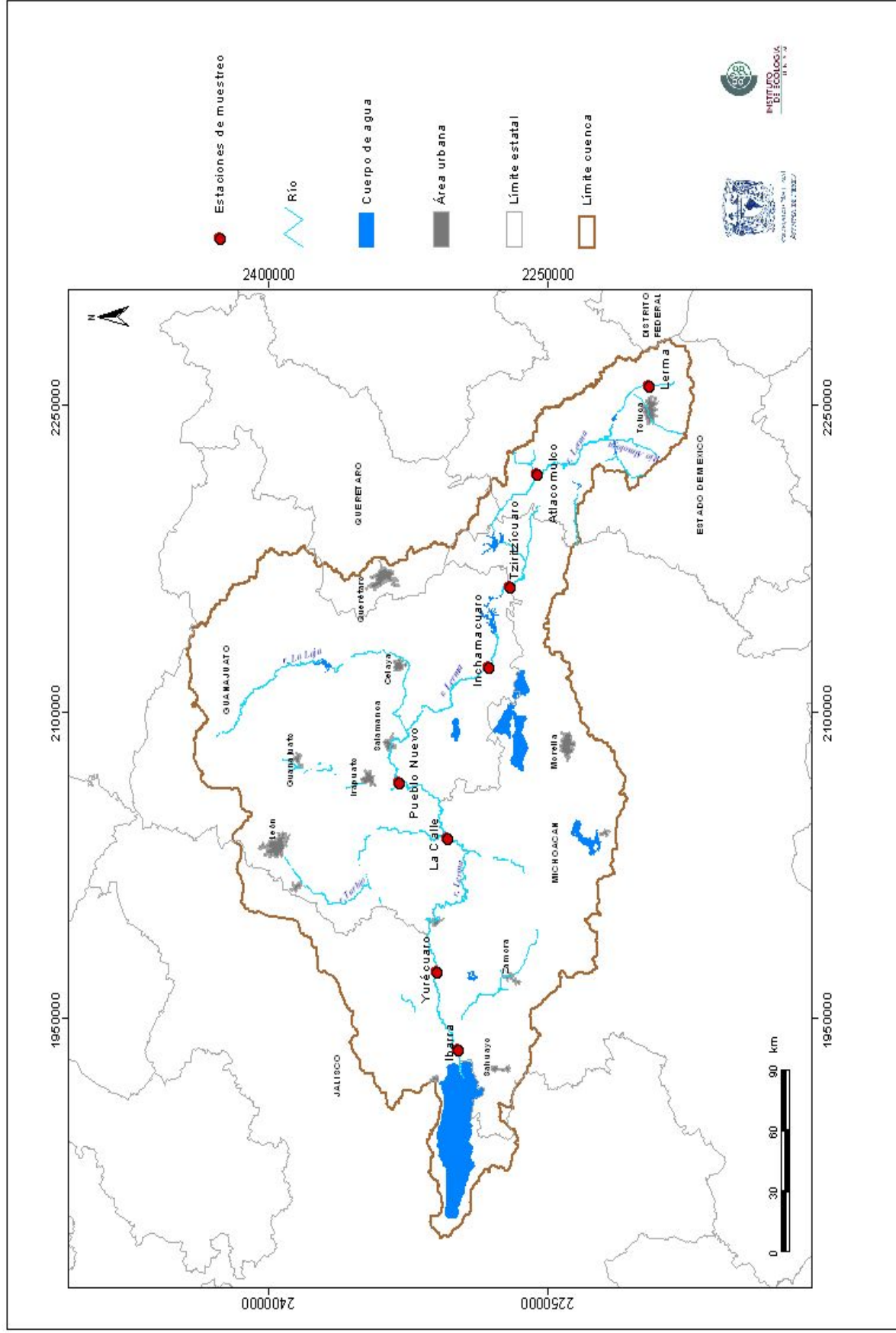


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo a lo largo del río Lerma.

## **4. 2. Trabajo de campo**

La colecta de muestras se llevó a cabo en dos muestreos, el primero en el mes de junio (principio de lluvias) y el segundo en el mes de septiembre (finales de lluvias) durante el ciclo anual del 2005, en ocho estaciones ubicadas a lo largo del cauce principal del río Lerma.

Las muestras se colectaron en botellas de polipropileno marca Nalgene® lavadas y esterilizadas de acuerdo con métodos estándar especificados por parámetro (APHA, 1998), las muestras se tomaron a dos terceras partes de profundidad, considerándose está como una muestra representativa de la columna de agua (Hynes, 1979).

Para la determinación de los grupos bacteriológicos (coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales), se tomó un litro de agua y para los parámetros químicos que incluyen: dureza total, fósforo total, nitrógeno total y carbono orgánico total (COT), se tomaron 1500 mL. Las muestras se mantuvieron a 4° C en hieleras hasta el procesamiento de las mismas.

## **4.3. Métodos bacteriológicos**

Las muestras bacteriológicas del primer muestreo (20 al 26 junio) se procesaron en un lapso menor a 24 horas en la ciudad de Degollado, Jalisco (Lerma, Atlacomulco, Tziritzécuaro e Inchamácuaro) y en el Laboratorio del Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara (La Calle, Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra). Para el segundo muestreo (20 al 24 septiembre) se procesaron en el Laboratorio de Microbiología del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco, UNAM) Campus Morelia, Michoacán.

Se utilizó el método de filtración a través de membrana (APHA, 1998), con membranas MF tipo HA de 0.45 µm de acetato de celulosa cuadrículadas Millipore (Billerica, MA). Debido a que se trata de muestras ambientales y se desconoce el número de bacterias presentes en la muestra, fue necesario realizar series de diluciones ( $10^0$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ) en tubos de ensaye de 15 mL, para ello a cada tubo se le agregaron 9 mL solución estéril salina tamponada a pH neutro

(APHA, 1998; Millipore, 2000). La muestra se homogenizó con un Vortex Maxi Mix II 37600 Mixer, (Barnstead Internacional Bohemia, New York).

Las membranas fueron colocadas en diferentes medios de cultivo: Caldo m-Endo (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para coliformes totales, Caldo m-FC agar (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para coliformes fecales y KF-Streptococcus agar (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para enterococos. La incubación se realizó en una incubadora Millipore (Bedford MA 01730, USA), a  $35 \pm 0.5$  °C para coliformes totales y enterococos fecales por 24 horas.

Para la incubación de las coliformes fecales se utilizó una incubadora tipo (Barnstead Modelo 457810, USA) a  $44.5 \pm 0.2$  °C por 48 horas (APHA, 1998).

Posteriormente se realizaron los conteos y los resultados se reportaron en unidades formadoras de colonia por cada 100 mL (UFC/100 mL) (APHA, 1998).

La identificación de bacterias aisladas de las muestras positivas, se llevó a cabo a nivel de género y especie utilizando dos procedimientos de cultivo con agar Sheep Blood y MacConkey al 5% usando un equipo semiautomatizado DADE MicroScan, Auto Scan-4 (DADE Internacional West Sacramento, CA; en el Laboratorio de Inmunología Molecular Microbiana de la Facultad de Medicina, UNAM, bajo la dirección de la Dra. Yolanda López Vidal.

Como una aproximación general del posible origen de la contaminación, ya sea humana o animal, se utilizó el cociente coliformes fecales/enterococos fecales (CF/EF) (Gerba, 2000).

#### **4.4. Métodos físicos y químicos**

Se evaluaron *in situ* los siguientes parámetros mediante la utilización del multiparametros (sension156, HACH):

- Profundidad ( $\pm 0.1$ m) (f)
- Temperatura ( $\pm 0.01$  °C) (f)
- pH ( $\pm 0.001$ ) (q)
- Sólidos disueltos totales (SDT) mg/L(f)
- Conductividad eléctrica ( $\pm 0.001$   $\mu$ S/cm) (q)
- Oxígeno disuelto ( $\pm 0.01$  mg/L). (q)

Para la determinación de los parámetros químicos, se utilizó un espectrofotómetro portátil HACH (DR/2400) de acuerdo con las técnicas descritas en el manual de operación (HACH, 2002) en un lapso menor a 24 horas, así como con metodologías estándar (APHA, 1998). Para la determinación de concentraciones de nitrógeno total, fósforo total y carbono orgánico total las muestras tuvieron que ser acidificadas y digeridas por 30 minutos para nitrógeno y fósforo total, mientras que para carbono total fueron necesarias dos horas, para el proceso de digestión se utilizó un bloque digestor portátil (HACH/DR200) (HACH, 2002) de acuerdo con APHA (1998).

Los métodos utilizados fueron los siguientes:

- Dureza total por el método colorimétrico.
- Dureza de Ca y Mg por el método colorimétrico.
- Nitrógeno total por el método digestión con persulfato (0.5 a 25.0 mg/L N).
- Fósforo total por el método digestión con molibdato y persulfato ácido (1.0 a 100.0 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ ).
- Carbono orgánico total (TOC) por el método directo (15 a 150 mg/L C).

#### **4.5. Análisis temporal**

##### **4.5.1. Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA)**

A manera de comparación y seguimiento de las condiciones bacteriológicas físicas y químicas de la calidad del agua del río Lerma, se compararon datos exclusivamente de los meses de junio y septiembre del 2003 (ultimo año reportado para el cual se cuenta con monitoreo de la CNA) provenientes de estaciones que se encontraban próximas a los sitios de muestreo del 2005 tales como: Puente Carretera México-Toluca, Atlacomulco, Canal industrial, Pénjamo, Aguas abajo de la Presa Barraje, El Puente de Guadalupe, San Guillermo (Río Guanajuato), Puente Pastor Ortiz, El Gigante, Tarandacua, Puente FFCC Acámbaro y Yurécuaro, generados por la Comisión Nacional del Agua a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (ver anexo III y IV). Se seleccionaron y analizaron ocho variables que incluyen: pH, temperatura, dureza total (mg/L), oxígeno disuelto (mg/L), SDT (mg/L), conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),

coliformes totales (NMP/100 mL) y coliformes fecales (NMP/100 mL). Es importante señalar que se compara obteniendo medias geométricas para los datos bacteriológicos y medias aritméticas para los datos físicos y químicos, además solo se tomaron estas ocho variables pues eran las que solo son reportadas por la RNMCA.

Para el análisis se consideró comparar las concentraciones reportadas, con los límites permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales relacionadas con calidad del agua para cada uso específico.

- NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (DOF, 1996b).
- Declaratoria del Río Lerma. Establece la capacidad de asimilación y dilución, las metas de calidad del agua, los plazos para alcanzarlas y los parámetros que deberán considerarse para el cumplimiento de las descargas de aguas residuales (DOF, 1996a).
- Organización Mundial de la Salud. Límites permisibles de calidad para el uso de la biota, sedimentos y monitoreo del agua en el ambiente (OMS, 1996).
- DOF, 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales que se reúsen en servicios al público
- Diario Oficial de la Federación. Norma. Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-2000. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (DOF, 2000).
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano (CEPIS, 2002).
- DOF, 2004. Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales.

## 5. Resultados

### 5.1. Parámetros bacteriológicos

Los resultados de los análisis bacteriológicos en las ocho estaciones localizadas a lo largo del río Lerma muestran altos conteos de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF) en los dos muestreos realizados durante el 2005 (Figuras 2 y 3).

Específicamente en el mes de junio las estaciones Lerma y Pueblo Nuevo presentaron conteos elevados de CT, Lerma alcanzó una media geométrica de  $1.8 \times 10^8$  UFC/100 mL seguida de Pueblo Nuevo con  $7.0 \times 10^6$  UFC/100 mL; en menor medida las estaciones Atlacomulco, Tziritzicuaro, Inchamácuaro, La Calle y Yurécuaro presentaron medias mayores a  $1.0 \times 10^6$  UFC/100 mL para CT, mientras que la estación Ibarra presentó media menores a  $9.3 \times 10^3$  UFC/100 mL durante este muestreo para coliformes totales (Figura 2).

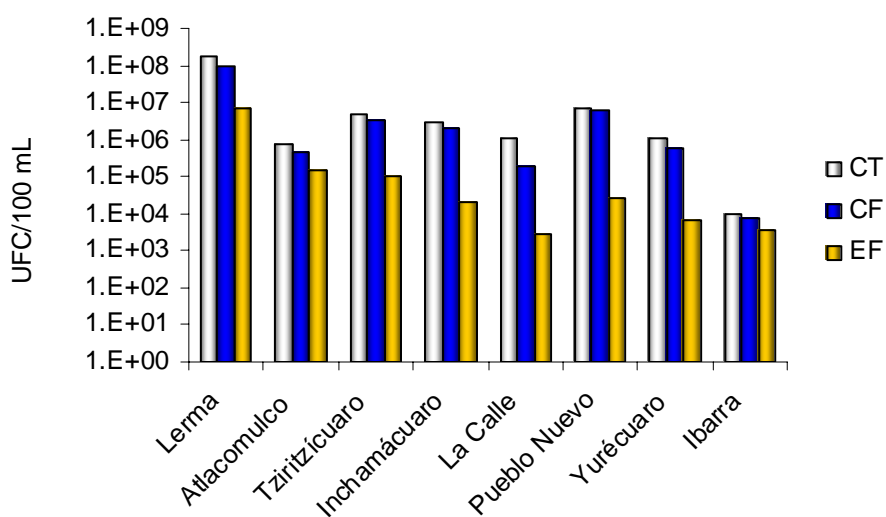


Figura 2. Variaciones de CT, CF y EF en las ocho estaciones del mes de junio a lo largo de río Lerma.

Para CF las estaciones de Lerma y Pueblo Nuevo presentaron medias geométricas de  $9.9 \times 10^7$  UFC/100 mL para Lerma y  $6.7 \times 10^6$  UFC/100 mL para Pueblo Nuevo, seguidas de las estaciones de Tziritzicuaro e Inchamácuaro que presentaron medias geométricas de  $3.1 \times 10^6$  y  $2.0 \times 10^6$  UFC/100 mL, mientras



que las estaciones de Atlacomulco, La Calle, Yurécuaro e Ibarra presentaron medias geométricas entre  $8.0 \times 10^3$  y  $5.7 \times 10^5$  UFC/100 mL (ver figura 2).

En el caso de los EF en el mes de junio la estación de Lerma presentó la media mas alta de  $6.7 \times 10^6$  UFC/100 mL, seguida de Atlacomulco con  $1.4 \times 10^5$  UFC/100 mL y Pueblo Nuevo de  $2.7 \times 10^5$ , mientras que para las estaciones de Tzirizícuaru, Inchamácuaro, La Calle, Yurécuaro presentaron medias geométricas por abajo de  $1.0 \times 10^5$  UFC/100 mL, siendo Ibarra la que presentó la media menor a  $3.4 \times 10^3$  UFC/100 mL (Figura 2).

Para el mes de septiembre en CT, la media geométrica más alta se presentó en la estación Pueblo Nuevo de  $3.2 \times 10^6$  UFC/100 mL, mientras que Lerma, Inchamácuaro y La Calle presentaron medias entre  $1.0 \times 10^6$  y  $2.5 \times 10^6$  UFC/100 mL, seguidas de las estaciones Atlacomulco, Tzirizícuaru, Yurécuaro e Ibarra, con medias geométricas de  $2.4 \times 10^4$  UFC/100 mL a  $2.8 \times 10^5$  UFC/100 mL, siendo la estación Atlacomulco la que presentó la media geométrica más baja de  $2.4 \times 10^4$  UFC/100 mL (Figura 3).

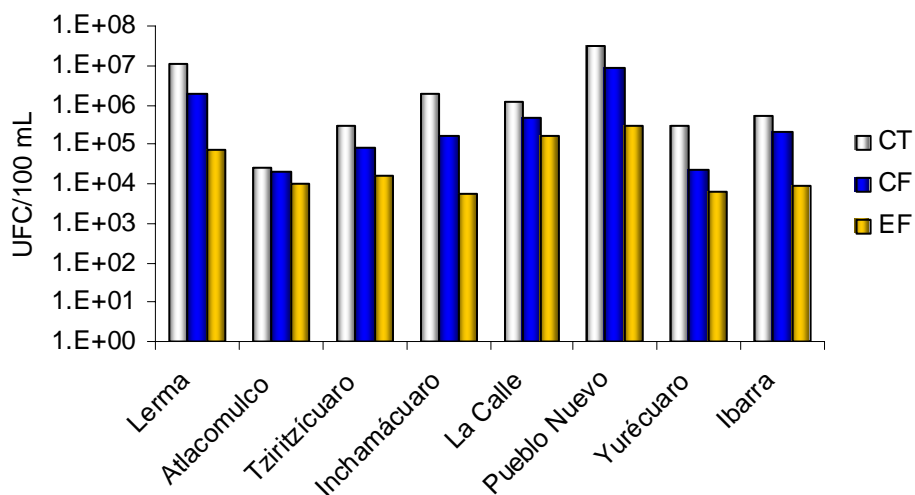


Figura 3. Variaciones de CT, CF y EF en las ocho estaciones del mes de septiembre a lo largo de río Lerma.

Para CF la estación Lerma presentó media geométrica de  $2.0 \times 10^6$  UFC/100 mL, seguida de la estación Pueblo Nuevo con  $8.0 \times 10^6$  UFC/100 mL siendo esta ultimas la mas alta, mientras las estaciones Atlacomulco, Tzirizícuaru,

Inchamácuaro, La Calle, Yurécuaro e Ibarra reportaron medias geométricas por abajo de las  $5.0 \times 10^5$  UFC/100 mL, siendo la estación Atlacomulco la que presentó la media geométrica más baja de  $2.0 \times 10^4$  UFC/100 mL, para el mes de septiembre (Figura 3).

En el caso EF, Pueblo Nuevo y La Calle presentaron medias geométrica alta de  $3.0 \times 10^5$  UFC/100 mL y  $1.5 \times 10^5$  UFC/100 mL, seguidas de las estaciones Lerma, Atlacomulco y Tziritzécuaro reportando por abajo de las  $8.0 \times 10^4$  UFC/100 mL, mientras que Inchamácuaro, Yurécuaro e Ibarra presentaron medias geométricas por abajo de las  $1.0 \times 10^4$  UFC/100 mL, siendo Ibarra la que presentó la media geométrica más bajas de  $8.4 \times 10^3$  UFC/100 mL (Figura 3).

Para tener una idea del posible origen de la contaminación fecal, se utilizó el cociente propuesto por Geldreich y Kenner (Gerba, 2000) que utiliza un cociente del grupo coliformes fecales y enterococos fecales (CF/EF) tal y como se ilustra en la Tabla 3. En la Tabla 4 se muestran los resultados en ambos muestreos en cada una de las ocho estaciones del río Lerma a partir de la utilización del cociente.

Tabla 3. Fuentes de contaminación de acuerdo con Tchobanoglobus, 1987 y Gerba, 2000.

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

Tabla 4. Resultados a partir del uso del cociente en las ocho estaciones durante el 2005 en el cauce principal del río Lerma.

<b>Estación</b>	<b>Nombre del sitio</b>	<b>Muestreo Junio</b>	<b>Muestreo Septiembre</b>
1	Lerma, México	15	28
2	Atacomulco, México	3	8
3	Tziritzícuaró, Michoacán	32	5
4	Inchamácuaró, Guanajuato	100	32
5	La Calle, Guanajuato	70	3
6	Pueblo Nuevo, Guanajuato	241	27
7	Yurécuaró, Michoacán	82	4
8	Ibarra, Jalisco	2	25

## 5.2. Identificación de bacterias

Del análisis bacteriológico del agua se identificaron en total 12 géneros y 18 especies de las ocho estaciones del río Lerma, para el muestreo de junio se identificaron nueve géneros y 13 especies; para el muestreo de septiembre se identificaron ocho géneros y 14 especies a partir de las bacterias CT, CF y EF; en las Tablas 5 y 6 se muestran las bacterias identificadas por género y especie; además de aquellas que se consideran patógenas y patógenas oportunistas en el humano (APHA, 2003); encontradas en cada estación del muestreo del mes de junio y del mes de septiembre.

Tabla 5. Identificación géneros y especies de las bacterias del agua del río Lerma, junio 2005.

<b>Sitio</b>	<b>Grupo Bacteriano</b>	<b><i>Enterococcus</i> sp</b>	<b><i>Pseudomona aeuroginosa</i></b> <b>Bacterias no Enterobacterianas</b>	<b>Enterobacterianas</b>
Lerma Edo de México	Coliformes totales			(P*) <i>Aeromona hydrophila</i> (pO) <i>Klebsiella oxytoca</i> (pO) <i>Enterobacter cloacae</i>
Lerma Edo de México	Coliformes fecales			(P) <i>Escherichia coli</i>
Lerma Edo de México	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus</i> sp. (pO) <i>Enterococcus faecium</i>		
Atlacomulco Edo de México	Coliformes totales			(pO) <i>Hafnia alvei</i> (P) <i>Escherichia coli</i>
Atlacomulco Edo de México	Coliformes fecales			(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Atlacomulco Edo de México	Enterococos fecales			
Tziritzicuaró Edo de Michoacán	Coliformes totales			(P) <i>Escherichia coli</i>
Tziritzicuaró Edo de Michoacán	Coliformes fecales			(P) <i>Escherichia coli</i>
Tziritzicuaró Edo de Michoacán	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecalis</i> (pO) <i>Enterococcus faecium</i>	(pO) <i>Streptococcus</i> sp.	
Inchamácuaro Edo de Guanajuato	Coliformes totales			(pO) <i>Klebsiella ascorbata</i> (pO) <i>Providencia rettgeri</i>
Inchamácuaro Edo de Guanajuato	Coliformes fecales			(P) <i>Escherichia coli</i>
Inchamácuaro Edo de Guanajuato	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecium</i>		
La Calle Edo de Guanajuato	Coliformes totales			(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Enterobacter agglomerans</i>
La Calle Edo de Guanajuato	Coliformes fecales			(P) <i>Escherichia coli</i>
La Calle Edo de Guanajuato	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus</i> sp.		

Evaluación Bacteriológica de la Calidad del Agua del Río Lerma, México.

Sitio	Grupo Bacteriano	<i>Enterococcus</i> sp.	<i>Pseudomona aeuroginosa</i> Bacterias no Enterobacterianas	Enterobacterianas
Pueblo Nuevo Edo de Guanajuato	Coliformes totales			(P) <i>Escherichia coli</i>
Pueblo Nuevo Edo de Guanajuato	Coliformes fecales			(P) <i>Escherichia coli</i> (P) <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Pueblo Nuevo Edo de Guanajuato	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus</i> sp. (pO) <i>Enterococcus durans/hirae</i>		
Yurécuaro Edo de Michoacán.	Coliformes totales			
Yurécuaro Edo de Michoacán.	Coliformes fecales			(P) <i>Escherichia coli</i> (P) <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Yurécuaro Edo de Michoacán.	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecium</i>		
Ibarra Edo de Jalisco	Coliformes totales			(P) <i>Escherichia coli</i> (pO) <i>Enterobacter cloacae</i> (P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> (pO) <i>Klebsiella oxytoca</i>
Ibarra Edo de Jalisco	Coliformes fecales			(pO) <i>Alcaligenes sp</i>
Ibarra Edo de Jalisco	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecium</i> (pO) <i>Enterococcus faecalis</i>		

P=patógenas.

pO=patógenas oportunistas.

P\*=patógenas en animales

Tabla 6. Identificación de género y especie de las bacterias CT, CF y EF del mes de septiembre del 2005.

Sitio	Grupo Bacteriano	<i>Enterococcus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i>	<i>Pseudomona aeuroginosa</i> Bacterias no Enterobacterianas	Enterobacterianas
Lerma Edo de México	Coliformes totales			(pO) <i>Acinetobacter lwoffii</i>	(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> (pO) <i>Enterobacter cloacae</i>
Lerma Edo de México	Coliformes fecales				(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> (P) <i>Escherichia coli</i>
Lerma Edo de México	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus</i> sp. (pO) <i>Enterococcus avium</i>			
Atlacmulco Edo de México	Coliformes totales				(P) <i>Escherichia coli</i> (pO) <i>Enterobacter cloacae</i> (P) <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Atlacmulco Edo de México	Coliformes fecales			(pO) <i>Acinetobacter lwoffii</i>	(P) <i>Escherichia coli</i> (p) <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Atlacmulco Edo de México	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus avium</i> 8pO) <i>Enterococcus</i> sp.			
Tziritzicuaró Edo de Michoacán	Coliformes totales			(pO) <i>Pseudomona stutzeri</i>	(p*) <i>Aeromonas hydrophila</i>
Tziritzicuaró Edo de Michoacán	Coliformes fecales				(pO) <i>Enterobacter agglomerans</i> (P) <i>Escherichia coli</i>
Tziritzicuaró Edo de Michoacán	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecalis</i> (pO) <i>Enterococcus</i> sp.			
Inchamácuaro Edo de Guanajuato	Coliformes totales				(pO) <i>Klebsiella oxytoca</i> (P*) <i>Aeromonas hydrophila</i> (P) <i>Vibrio fluvialis</i> (P) <i>Escherichia coli</i>

Evaluación Bacteriológica de la Calidad del Agua del Río Lerma, México.

Sitio	Grupo Bacteriano	<i>Enterococcus sp</i>	<i>Staphylococcus</i>	<i>Pseudomona aeuroginosa</i> Bacterias no Enterobacterianas	Enterobacterianas
Inchamácuaro Edo de Guanajuato	Coliformes fecales			(pO) <i>Acinetobacter lwoffii</i>	(P) <i>Escherichia coli</i>
Inchamácuaro Edo de Guanajuato	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus durans/hirae</i> (pO) <i>Enterococcus sp.</i> (pO) <i>Enterococcus faecalis</i>			
La Calle Edo de Guanajuato	Coliformes totales				(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> (P) <i>Escherichia coli</i> (P*) <i>Aeromonas hydrophila</i>
La Calle Edo de Guanajuato	Coliformes fecales				(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> (P) <i>Escherichia coli</i>
La Calle Edo de Guanajuato	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus sp.</i> (pO) <i>Enterococcus faecium</i> (pO) <i>Enterococcus durans/hirae</i>			
Pueblo Nuevo Edo de Guanajuato	Coliformes totales			(pO) <i>Acinetobacter lwoffii</i>	(P) <i>Escherichia coli</i>
Pueblo Nuevo Edo de Guanajuato	Coliformes fecales				(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i> (P) <i>Escherichia coli</i>
Pueblo Nuevo Edo de Guanajuato	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus casseliflavus</i> (pO) <i>Enterococcus sp.</i> (pO) <i>Enterococcus faecalis</i>	(pO) <i>Staphylococcus haemolyticus</i>		
Yurécuaro Edo de Michoacán	Coliformes totales				(P) <i>Escherichia coli</i> (P*) <i>Aeromonas hydrophila</i> (pO) <i>Enterobacter cloacae</i>
Yurécuaro Edo de Michoacán	Coliformes fecales				(P) <i>Escherichia coli</i> (pO) <i>Klebsiella pneumoniae</i>

Evaluación Bacteriológica de la Calidad del Agua del Río Lerma, México.

Sitio	Grupo Bacteriano	<i>Enterococcus sp</i>	<i>Staphylococcus</i>	<i>Pseudomona aeuroginosa</i>	Enterobacterianas
					Bacterias no Enterobacterianas
Yurécuaro Edo de Michoacán	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecalis</i> (pO) <i>Enterococcus sp.</i>			
Ibarra Edo de Jalisco	Coliformes totales			(pO) <i>Acinetobacter lwoffii</i>	
Ibarra Edo de Jalisco	Coliformes fecales			(pO) <i>Acinetobacter lwoffii</i>	(P) <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Ibarra Edo de Jalisco	Enterococos fecales	(pO) <i>Enterococcus faecium</i> (pO) <i>Enterococcus sp.</i>			

P=patógenas.  
 pO=patógenas oportunistas.  
 P\*=patógenas en animales



De las muestras de agua de las ocho estaciones localizadas en el cauce del principal del río Lerma se identificaron: cuatro especies consideradas patógenas (Martins *et al.*, 2003, APHA, 2003) o que tienen influencia directa en el hombre: *Escherichia coli*, *Vibrio fluvialis*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter agglomerans*.

De las bacterias patógenas oportunistas (Martins *et al.*, 2003, APHA, 2003) identificadas en las muestras de agua de las ocho estaciones localizadas en el cauce del río Lerma en ambos muestreos (junio y septiembre), se identificaron especies pertenecientes al grupo de los enterococos fecales (*Enterococcus*): *E. faecium*, *E. avium*, *E. faecalis*, *E. durans/hirae* y *E. casseliflavus*.

Para las bacterias coliformes totales y fecales se identificaron especies pertenecientes al grupo de *Pseudomonas aeruginosa* (no Enterobacteriaceae): *Streptococcus sp.* y *Acinetobacter lwoffii* y *Pseudomonas stutzeri*; Así como del grupo *Staphylococcus* solo se reportó *Staphylococcus haemolyticus* en el mes de septiembre. Además del grupo Enterobacterianas se identificaron: *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter agglomerans*, *Klebsiella oxytoca* y *Hafnia alvei*. Cabe señalar que *Aeromonas hydrophila*, se reporta como patógena oportunista en animales.

### 5.3. Parámetros físicos y químicos

La profundidad registrada en las ocho estaciones del río Lerma osciló entre los 0.30 m y 6.0 m en el mes de junio y en el mes de septiembre las profundidades oscilaron entre 1.0 m y 8.0 m; siendo las estaciones Tziritzicuaro e Ibarra las que mantuvieron la misma profundidad de 6 m para los dos muestreos. Cabe señalar que en la estación La Calle existió un aumento de profundidad de 0.40 m en junio a 8.0 m en septiembre, debido a que aumentó el represamiento del agua en esta zona (Figura 4).

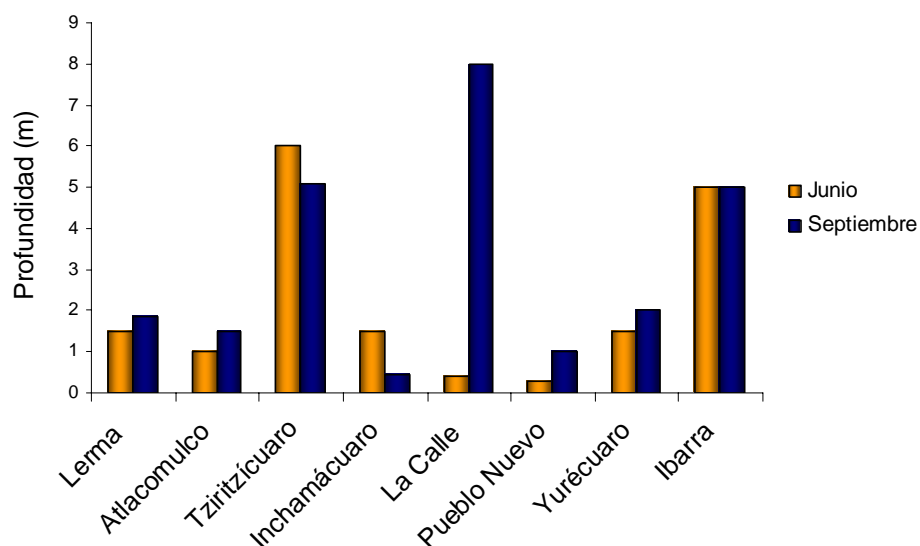


Figura 4. Variaciones en la profundidad (m) en las estaciones del río Lerma.

La temperatura del agua osciló entre 17°C y 25°C en los dos muestreos. En el mes de septiembre se registró la menor temperatura en la estación de Lerma de 17.7°C. En la Figura 5 se esquematiza la tendencia de la temperatura para los meses junio y septiembre en las ocho estaciones

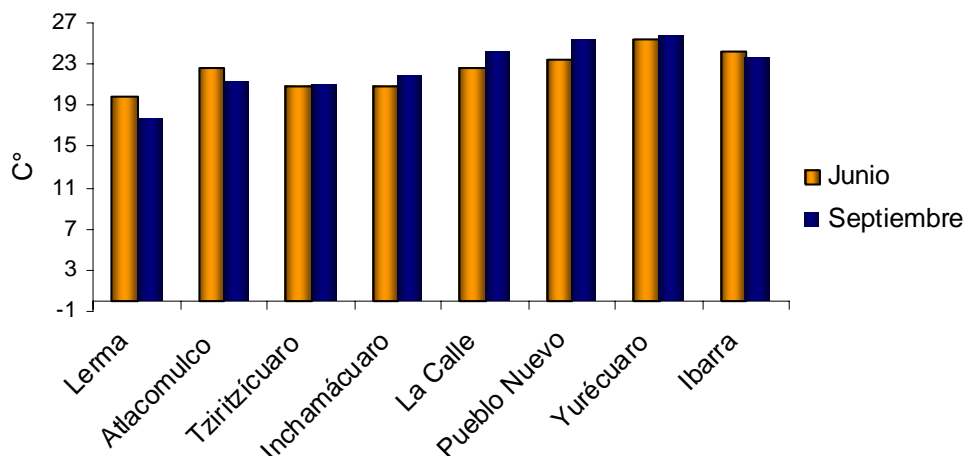


Figura 5. Variaciones de la temperatura (°C) en las estaciones del río Lerma.

En lo que respecta al pH en las ocho estaciones se registraron valores que oscilaron entre 7.0 y 8.5. En general los valores de pH en el agua fueron ligeramente alcalinos en junio incrementándose en septiembre en las estaciones Lerma, Tziritzicuaro, Inchamácuaro, La Calle, Pueblo Nuevo e Ibarra; no siendo así para las estaciones Atlacomulco y Yurécuaro. En la estación de Yurécuaro en junio, Tziritzicuaro y La Calle en septiembre registraron valores de pH por arriba de 8.0 (Figura 6).

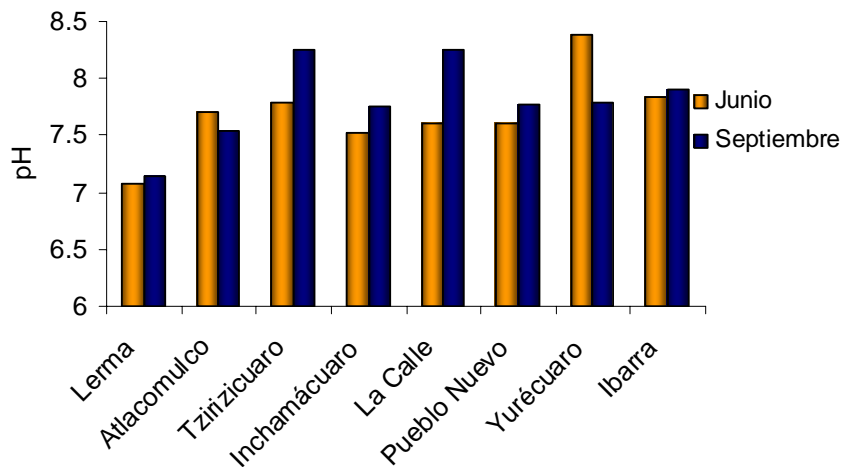


Figura 6. Variaciones de pH en las estaciones del río Lerma.

La conductividad eléctrica registrada en las ocho estaciones para los dos muestreos, osciló entre 276 y 934  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En junio las estaciones de Lerma,

Atacomulco, Tziritzicuaro, La Calle, y Yurécuaro registraron lecturas que oscilaron entre 650 y 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo Tziritzicuaro y La Calle las estaciones que presentaron lecturas de 417 y 476  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente; mientras que Inchamácuaro e Ibarra presentaron lecturas bajas de conductividad 285 y 276  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el mes de septiembre las estaciones de Pueblo Nuevo, Yurécuaro y La Calle presentaron lecturas altas de 934, 745 y 541  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente; por su parte las estaciones de Lerma, Atacomulco, Tziritzicuaro, Inchamácuaro e Ibarra presentaron lecturas entre los 300 y 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cabe señalar que en el muestreo de septiembre la conductividad disminuyó en forma significativa en las tres primeras estaciones (Lerma, Atacomulco y Tziritzicuaro) y aumentaron en las estaciones Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra con respecto al muestreo de junio (Figura 7).

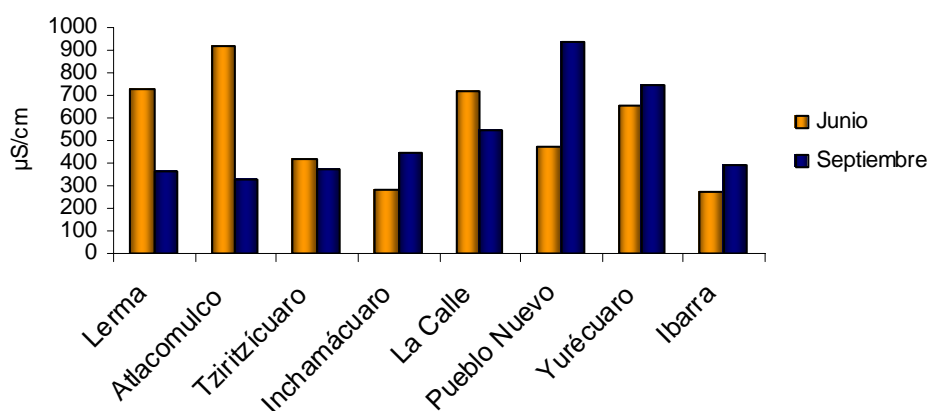


Figura 7. Variaciones de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las estaciones del río Lerma.

En las ocho estaciones del río Lerma en el mes de junio las concentraciones de oxígeno disuelto registradas fueron: Lerma con 0.70 mg/L seguida de Atacomulco con 2.26 mg/L, Pueblo Nuevo con 2.96 mg/L y La Calle con 3.96 mg/L; mientras las estaciones que presentaron concentraciones relativamente altas entre los 5.0 y 7.5 mg/L fueron Tziritzicuaro, Yurécuaro, Inchamácuaro e Ibarra. Para el mes de septiembre el oxígeno disuelto osciló entre 1.15 y 6.47 mg/L; en las estaciones Lerma e Inchamácuaro se registraron concentraciones de oxígeno bajas de 1 y 2 mg/L de oxígeno. Es importante señalar que en las ocho

estaciones solo Tziritzícuaru con 6.06 mg/L, La Calle con 5.45 mg/L, Pueblo Nuevo 6.47 mg/L e Ibarra 6.43 mg/L presentaron concentraciones de oxígeno disuelto relativamente altas para el mes de septiembre (Figura 8). Es importante señalar que sólo Tziritzícuaru e Ibarra mantuvieron concentraciones por arriba de los 5.0 mg/L de oxígeno en los dos muestreos.

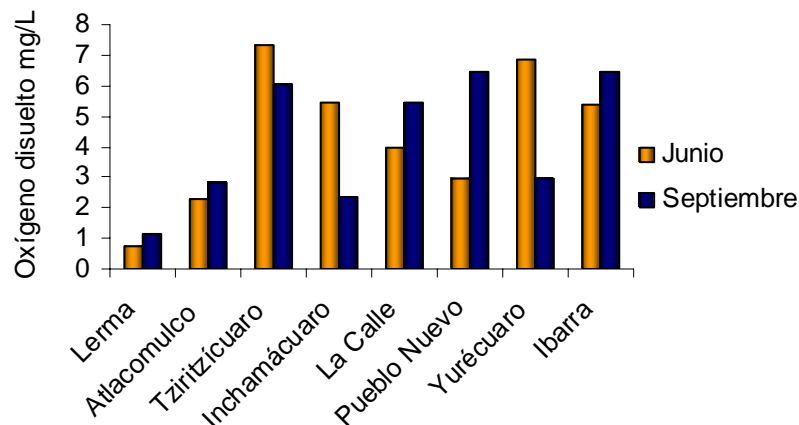


Figura 8. Variaciones de oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones del río Lerma.

Los sólidos disueltos totales (SDT) en el mes de junio oscilaron entre 130 mg/L y 480 mg/L; siendo la estación Atlacomulco con 479 mg/L de SDT como el valor más alto obtenido, seguida de Lerma con 396 mg/L, mientras las estaciones de La Calle, Yurécuaro, Tziritzícuaru, Pueblo Nuevo, Inchamácuaro e Ibarra presentaron valores entre 130 mg/L y 320 mg/L de SDT. En septiembre los valores de SDT oscilaron de 160 mg/L a 460 mg/L de SDT en las ocho estaciones de muestreo, siendo las estaciones de Pueblo Nuevo y Yurécuaro, las que presentaron concentraciones altas de 459 mg/L y 354 mg/L de SDT (Figura 9).

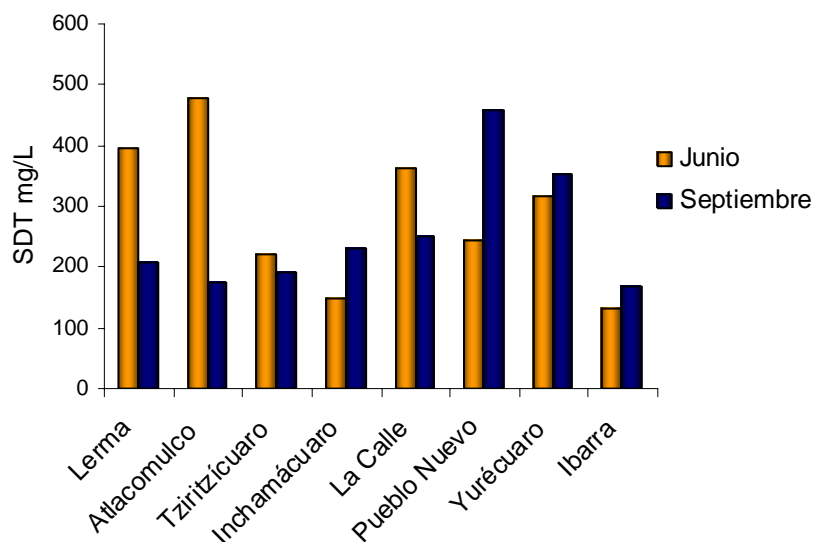


Figura 9. Variaciones de sólidos disueltos totales (mg/L) en las estaciones del río Lerma.

Por otro lado los datos indican que para el mes de septiembre, existe tendencia a la disminución en la entrada de SDT en las dos primeras estaciones Lerma y Atlacomulco, ya que presentaron concentraciones por debajo de las reportadas en el mes de junio de 400 mg/L y 490 mg/L a 200 mg/L y 180 mg/L de SDT en septiembre, al mismo tiempo las demás estaciones se vieron alteradas con respecto a la concentración en junio; provocando así una ligera disminución de SDT en las estaciones de La Calle y Tziritzicuaro en septiembre, no siendo así para Ibarra e Inchamácuaro en septiembre.

En lo que respecta a la dureza total del agua para los dos muestreos es dada por el ion magnesio, pues la presencia del ion calcio se registró por debajo del límite detectable en el agua de <0.07 mg/L, las concentraciones obtenidas oscilaron entre <0.07 mg/L y 2.55 mg/L. Es importante señalar que en el mes de septiembre la dureza total aumentó ligeramente en las estaciones Atlacomulco, La Calle, Yurécuaro e Ibarra con respecto al mes de junio (Figura 10).

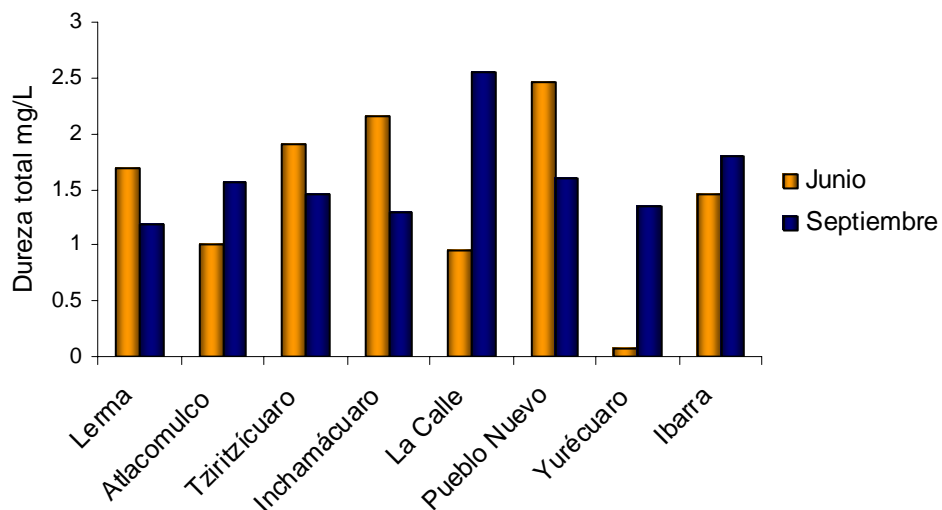


Figura 10. Variaciones de dureza total (mg/L) en las estaciones del río Lerma.

Para nitrógeno total (NT), en el mes de junio la estación Lerma presentó 34 mg/L de NT siendo la concentración más alta, seguida de Atlacomulco con 19.15 mg/L NT; mientras que las estaciones Tziritzicuaro, Inchamácuaro, La Calle, Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra presentaron concentraciones que oscilaron entre los 0.90 mg/L hasta 4.30 mg/L de NT. Con relación al mes de septiembre las concentraciones de NT se vieron disminuidas en las estaciones de Lerma a 8.95 mg/L y Atlacomulco 7.15 mg/L con respecto a junio; sin embargo, la estación Pueblo Nuevo registró la concentración más alta de 10.10 mg/L de NT, mientras que las estaciones de Tziritzicuaro, Inchamácuaro, La Calle, Yurécuaro e Ibarra presentaron concentraciones entre 5.00 mg/L y 7.90 mg/L de NT (Figura 11).

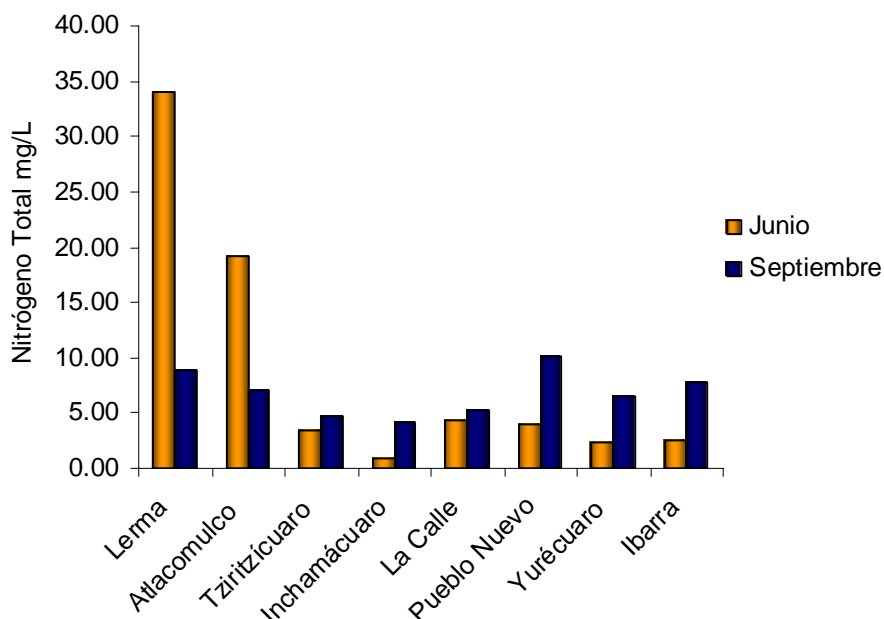


Figura 11. Variaciones de nitrógeno total (mg/L) en las estaciones del río Lerma.

En lo que respecta al fósforo total en el mes de junio las estaciones de Lerma y Atlacomulco presentaron concentraciones altas de 17.05 mg/L y 13.70 mg/L de fósforo total, mientras que en las estaciones Tziritzícuaro y La Calle reportaron concentraciones de 3.15 mg/L para la primera y 2.20 mg/L de fósforo total para la segunda, registrándose las concentraciones más bajas en Inchamácuaro, Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra con concentraciones por abajo de 2.00 mg/L de fósforo total. En comparación con el mes de septiembre las estaciones de Pueblo Nuevo y Yurécuaro presentaron un incremento en sus concentraciones de 1.75 a 10.45 mg/L de fósforo total para la primera y 1.05 a 11.50 mg/L fósforo total para la segunda, en comparación con el mes de junio, no así para las estaciones de Lerma y Atlacomulco en los que disminuyó la concentración con respecto a junio de 17.05 a 7.35 mg/L para Lerma y 13.70 a 7.50 mg/L fósforo total para Atlacomulco; con respecto a las estaciones de Tziritzícuaro, Inchamácuaro, La Calle e Ibarra aumentaron en concentración con respecto al mes de junio (Figura 12).



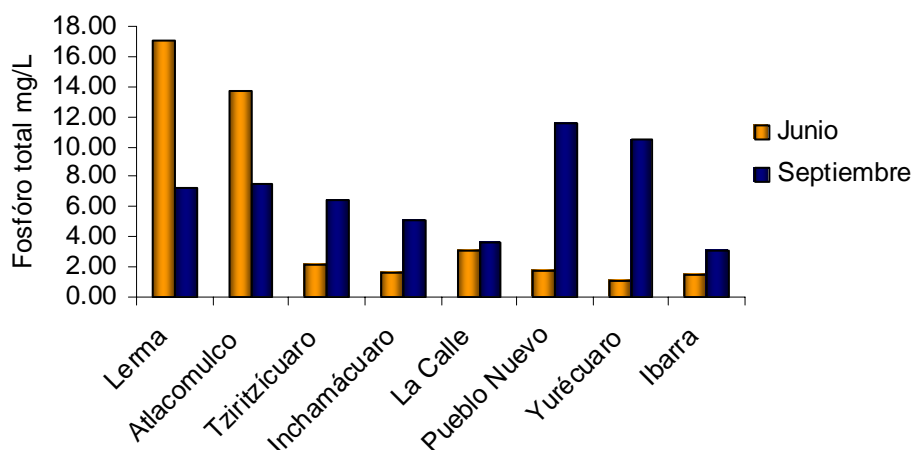


Figura 12. Variaciones de fósforo total (mg/L) en las estaciones del río Lerma.

Para carbono orgánico total (COT) las concentraciones reportadas de las estaciones Inchamácuaro y La Calle fueron las mas altas, ambas de 10.80 mg/L de COT, mientras que para las estaciones Lerma, Atacomulco, Tziritzicuaro, Pueblo Nuevo, Yurécuaro, e Ibarra presentaron concentraciones que oscilaron entre 9.00 y 9.80 mg/L de carbono orgánico total respectivamente en el mes de junio (Figura 13).

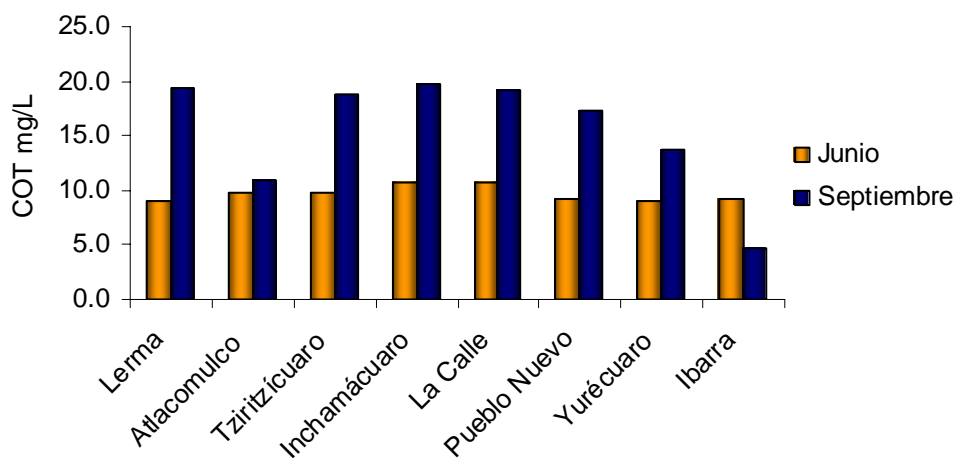


Figura 13. Variaciones de carbono orgánico total (mg/L) en las estaciones del río Lerma.

En el mes de septiembre las estaciones de Lerma, Inchamácuaro y La Calle, presentaron las concentraciones más altas de 19.30 mg/L, 19.80 mg/L y 19.20

mg/L de COT respectivamente, mientras que las estaciones de Atlacomulco, Tziritzécuaro, Pueblo Nuevo y Yurécuaro presentaron concentraciones que oscilaron entre 10.95 y 18.80 mg/L de carbono orgánico total, dejando a la estación Ibarra como la que presentó la concentración más baja de 4.70 mg/L de COT (Figura 13). Cabe señalar que en el mes de septiembre las concentraciones de carbono orgánico total aumentaron casi el doble su concentración con respecto al mes de junio.

## 5.4. Análisis temporal

### 5.4.1. Parámetros bacteriológicos

Las CT en el 2005, la estación Lerma reportó  $1.8 \times 10^8$  UFC/100 mL para el mes de junio y septiembre las CT tendieron a disminuir a  $1.0 \times 10^7$  UFC/100 mL; para la estación Puente México-Toluca de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) se reportaron  $1.0 \times 10^3$  NPM/100 mL de CT en junio del 2003, no reportaron conteos para el mes de septiembre; de acuerdo con estos datos la tendencia de las CT fue un aumento del 2003 al 2005. Para la estación Atlacomulco en junio del 2005 las CT fueron de  $7.7 \times 10^6$  UFC/100 mL de CT y para el mes de septiembre las CT tendieron a disminuir a  $2.4 \times 10^4$  UFC/100 mL; para la estación Atlacomulco de la RNMCA en junio del 2003 se reportaron en 1000 NMP/100 mL de CT, no se reportaron conteos para el mes de septiembre del 2003; la tendencia de las CT fue un aumento importante del 2003 al 2005. Para la estación Tziritzícuaro en junio del 2005 se registraron  $4.5 \times 10^6$  UFC/100 mL de CT, disminuyendo en el mes de septiembre a  $2.8 \times 10^5$  UFC/100 mL de CT; para la estación El Gigante de la RNMCA en junio del 2003, las CT se registraron en 1000 NMP/100 mL, no se reportaron conteos para el mes de septiembre del 2003; la tendencia de las CT fue un aumento del 2003 al 2005. La estación Inchamácuaro del 2005 en junio registró  $2.8 \times 10^6$  UFC/100 mL de CT, y de  $2.0 \times 10^6$  UNF/100 mL en septiembre; con relación a la estación de la RNMA Puente Acámbaro, en junio del 2003 las CT registraron  $4.6 \times 10^5$  NMP/100 mL de CT, en septiembre aumentaron a  $2. \times 10^6$  NMP/100 mL de CT; la tendencia de las CT fue un aumento del 2003 al 2005 solo en los meses de junio, y disminución en septiembre. En la estación La Calle en junio del 2005 las CT registraron  $1.1 \times 10^6$  UFC/100 mL de CT, aumentando ligeramente a  $1.19 \times 10^6$  UFC/100 mL de CT en el mes de septiembre del 2005; para la estación Pénjamo de la RNMCA en junio del 2003 las CT se registraron en  $1.0 \times 10^5$  NMP/100 mL, para septiembre las CT disminuyeron a  $4.6 \times 10^4$  NMP/100 mL; la tendencia de las CT fue un aumento del 2003 al 2005, pero disminuyeron de junio a septiembre del 2005. Para la estación Yurécuaro en junio del 2005, las CT registraron  $1.1 \times 10^6$  UFC/100 mL, disminuyendo en septiembre a  $2.7 \times 10^5$  UFC/100 mL; para la estación Yurécuaro

de la RNMCA en junio del 2003 las CT reportaron  $1.0 \times 10^3$  NMP/100 mL, no reportaron conteos en septiembre del mismo año; la tendencia de las CT fue un aumento del 2003 al 2005. En la Figura 14 se ejemplifican las variaciones temporales de las CT en el agua del río Lerma, para las estaciones de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua de los meses junio y septiembre del 2003, además de las estaciones monitoreadas en el 2005 para los mismos meses.

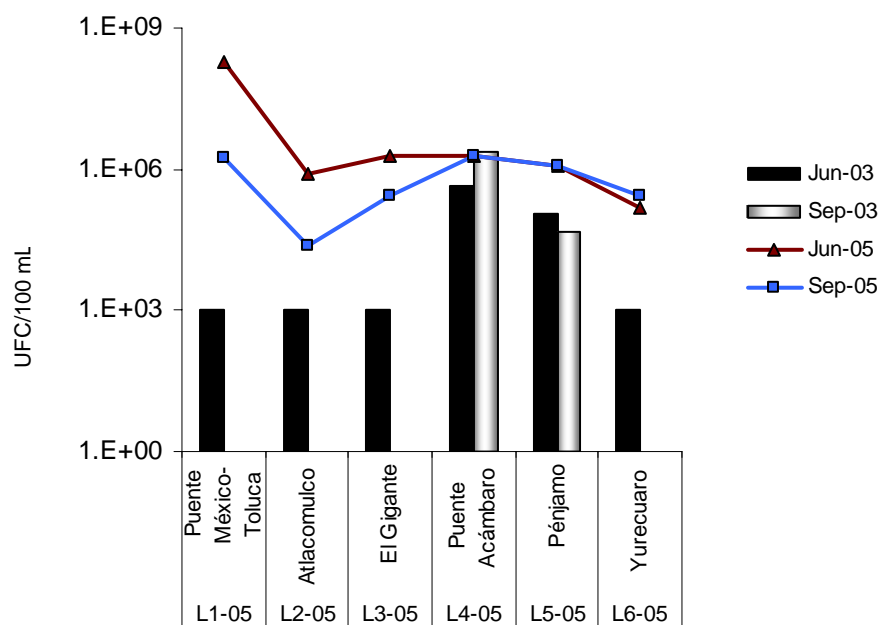


Figura 14. Variaciones temporales de coliformes totales en las estaciones en el agua de las estaciones de la RNMCA del 2003 y las estaciones de monitoreo del 2005, a lo largo del río Lerma.

En lo que respecta a las CF en el 2005, la estación Lerma reportó  $9.9 \times 10^7$  de UFC/100 mL de CF, y en septiembre en  $2.0 \times 10^6$  de UFC/100 mL de CT; para la estación Puente México-Toluca de la RNMCA en junio del 2003 se registraron  $1.0 \times 10^3$  NMP/100 mL de CF, y en septiembre no se reportaron conteos; la tendencia de CF fue un aumento del 2003 al 2005; para la estación Atlacomulco en junio del 2005 registraron  $4.4 \times 10^5$  UFC/100 mL, y en septiembre  $2.0 \times 10^4$  UFC/100 mL de CF; para la estación Atlacomulco de la RNMCA en junio del 2003 registró  $3.0 \times 10^6$  NMP/100 mL de CF, y para septiembre de ese mismo año no reportaron conteos; la tendencia de las CF fue una disminución del 2003 al 2005.

En la estación Tziritzícuaró en junio del 2005 se registraron  $3.1 \times 10^6$  UFC/100 mL de CF, y en septiembre  $7.7 \times 10^4$  UFC/100 mL de CF; para la estación El Gigante de la RNMCA en junio del 2003 se reportaron  $8.0 \times 10^3$  NMP/100 mL de CF, y para septiembre no reportaron conteos; la tendencia de la CF fue un aumento del 2003 al 2005; la estación Inchamácuaro en junio del 2005 reportaron  $2.0 \times 10^6$  UFC/100 mL de CF y en septiembre  $1.7 \times 10^5$  UFC/100 mL de CF; para la estación Acámbaro de la RNMCA en junio del 2003 se registraron  $4.6 \times 10^5$  NMP/100 mL de CF, disminuyendo a  $9.3 \times 10^4$  NMP/100 mL de CF en septiembre; la tendencia de las CF fue un incremento del 2003 al 2005; por otro lado en la estación La Calle en junio del 2005 se registraron  $2.0 \times 10^5$  UFC/100 mL de CF, aumentando en septiembre a  $4.5 \times 10^5$  UFC/100 mL de CF; para la estación Pénjamo de la RNMCA en junio del 2003 se reportaron  $4.6 \times 10^4$  NMP/100 mL de CF y disminuyeron a  $2.4 \times 10^4$  NMP/100 mL de CF; la tendencia de las CF fue un aumento del 2003 al 2005; para la estación Yurécuaro en junio del 2005 se reportaron  $5.7 \times 10^5$  UFC/100 mL de CF y disminuyeron a  $2. \times 10^4$  UFC/100 mL de CF en septiembre; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 reportaron  $2.4 \times 10^4$  NMP/100 mL de CF, y para el mes de septiembre de ese mismo año no se reportaron conteos; la tendencia de las CF fue un aumento del 2003 al 2005 (Figura 15).

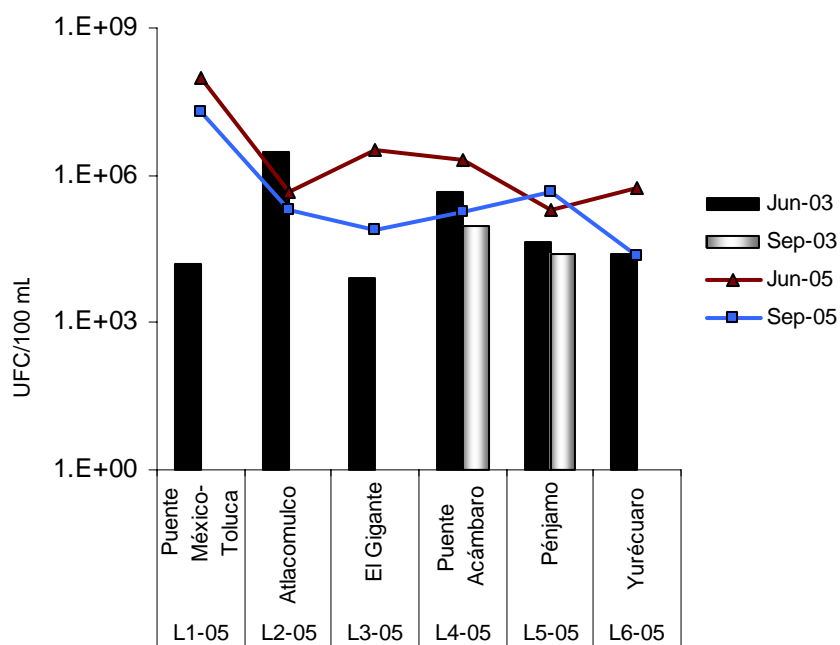


Figura 15. Variaciones temporales de coliformes fecales en el agua de las estaciones de la RNMCA del 2003 y las estaciones del 2005, a lo largo del río Lerma.

#### 5.4.2. Parámetros físicos y químicos

La temperatura en la estación Lerma en junio del 2005 que registró fue de 19.8°C y 17.7°C en septiembre; en junio del 2003 la estación Puente México-Toluca registró 18 °C, no registraron temperatura en septiembre del mismo año; la tendencia de la temperatura fue un aumento de 2.0°C del 2003 al 2005; para la estación Atlacomulco en junio del 2005 la temperatura se reportó en 22.6°C disminuyendo a 21.3°C en septiembre del 2005; para la estación Atlacomulco de la RNMCA en junio del 2003 la temperatura reportada fue de 17.0°C, no reportaron temperatura en septiembre del mismo año; la tendencia de la temperatura es de un aumento de 4.0°C del 2003 al 2005; para la estación Tzirizícuaru en junio del 2005 la temperatura se registró en 21.0°C en ambos meses; para la estación el Gigante de la RNMCA en junio y en septiembre no reportaron temperatura, por lo tanto no se puede dar un seguimiento en cuanto a las variaciones que pudieran haberse suscitado en los meses ya mencionados de un año a otro. Para la estación Inchamácuaro en junio del 2005 las temperaturas que se registraron

fueron de 21.0°C, aumentando a 22.0°C en septiembre del 2005; para la estación Acámbaro de la RNMCA en junio del 2003 la temperatura se registró en 23.0°C y disminuyó a 22.0°C en septiembre del 2003; la tendencia de la temperatura fue una disminución del 2003 al 2005. Con relación a la estación La Calle en junio del 2005 la temperatura que se registró fue de 22.6°C, y septiembre 24.5°C; para la estación Pénjamo de la RNMCA la temperatura se registró en 24.0°C, disminuyendo a 23.0°C en el mes de septiembre de ese mismo año; la tendencia de la temperatura fue una disminución en junio del 2003 al 2005 y de un aumento en septiembre del 2003 al 2005. Para la estación Yurécuaro en junio y septiembre del 2005 la temperatura que se registró fue de 25.0°C, en ambos meses; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 la temperatura que se registró fue de 20.0°C; no registrando lectura en el mes de septiembre del mismo año; la tendencia de la temperatura fue un aumento de casi 5.0 °C de temperatura del 2003 al 2005 (Figura 16).

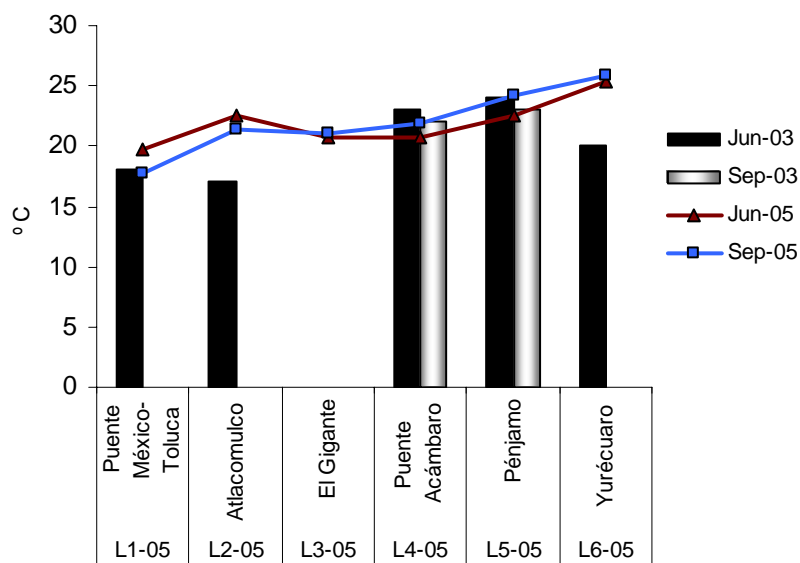


Figura 16. Variaciones temporales de la temperatura en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma.

El pH de las estaciones Puente México-Toluca y Atlacomulco en junio y septiembre del 2003 no reportan pH, por lo cual es imposible saber la tendencia del 2003 al 2005 con respecto a las estaciones Lerma y Atlacomulco; para la

estación Tziritzícuaro en junio del 2005 el pH registrado fue de 7.78, y en septiembre el pH fue de 8.3; para la estación El Gigante en junio del 2003 de la RNMCA registró pH de 8, no reportaron pH en septiembre del 2003; la tendencia del pH es disminución del 2003 al 2005; para la estación Inchamácuaro en junio del 2005 se registró un pH de 7.5, y aumento en septiembre a pH de 7.7; para la estación Acámbaro en junio del 2003 de la RNMCA registró pH de 7; la tendencia del 2003 al 2005 fue un aumento de 0.7; para la estación La Calle en junio del 2005 se registró pH de 7.6, aumentando en septiembre a un pH de 8.3; para la estación Pénjamo de la RNMCA en junio y septiembre del 2003 se registró un pH de 7; la tendencia fue de un aumento de 1.3; para la estación Yurécuaro en junio del 2005 registró pH de 8.4, y en septiembre de 7.8; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 registró pH de 7, no reportando pH para el mes de septiembre del 2003; la tendencia fue de un aumento de 1.4 (Figura 17).

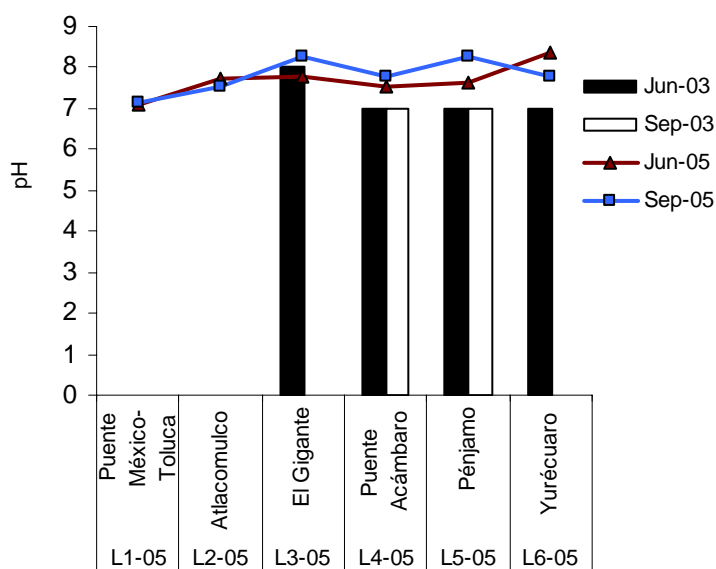


Figura 17. Variaciones temporales del pH de las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma.

Con relación a la conductividad eléctrica del agua la estación Lerma en junio del 2005 se registró por arriba de los 700  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , disminuyendo en septiembre a 370  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ; para la estación Puente México-Toluca de la RNMCA en junio del 2003 se registraron en 440  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , no registraron conductividad eléctrica para septiembre del mismo año; la tendencia de la conductividad eléctrica fue un



aumento de junio del 2003 al 2005; para la estación Atlacomulco en junio del 2005 la conductividad se registró en 919  $\mu\text{s/cm}$ , disminuyendo en septiembre a 330  $\mu\text{s/cm}$ ; para la estación Atlacomulco de la RNMCA en junio del 2003 la conductividad eléctrica se registró en 220  $\mu\text{s/cm}$ , no reportaron conductividad en septiembre del mismo año; la tendencia fue de un aumento del 2003 al 2005; para la estación Tziritzícuaró en junio del 2005 la conductividad eléctrica se registró en 417  $\mu\text{s/cm}$ , y para septiembre en 375  $\mu\text{s/cm}$ ; para la estación El Gigante de la RNMCA en junio del 2003 la conductividad eléctrica que se registró fue de 346  $\mu\text{s/cm}$ , no reportaron conductividad eléctrica para septiembre del mismo año; la tendencia fue un incremento del 2003 al 2005; para la estación Inchamácuaro en junio del 2005 la conductividad eléctrica se registró en 285  $\mu\text{s/cm}$ , y para septiembre en 450  $\mu\text{s/cm}$ ; para la estación Acámbaro de la RNMCA en junio del 2003 la conductividad eléctrica se registró en 430  $\mu\text{s/cm}$ , y para septiembre en 142  $\mu\text{s/cm}$ ; la tendencia fue un aumento del 2003 al 2005; para la estación La Calle en junio 2005 la conductividad eléctrica se registró en 715  $\mu\text{s/cm}$ , y para septiembre en 541  $\mu\text{s/cm}$ ; para la estación Pénjamo de la RNMCA en junio del 2003 la conductividad eléctrica se registró en 411  $\mu\text{s/cm}$  y para septiembre en 422  $\mu\text{s/cm}$ ; la tendencia fue un aumento del 2003 al 2005; para la estación Yurécuaro en junio del 2005 la conductividad eléctrica que se registró fue de 654  $\mu\text{s/cm}$ , y para septiembre de 745  $\mu\text{s/cm}$ ; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 la conductividad eléctrica que se registró fue 440  $\mu\text{s/cm}$ , no reportaron conductividad eléctrica para septiembre del 2003; la tendencia fue un aumento del 2003 al 2005 (Figura 18).

## Evaluación Bacteriológica de la Calidad del Agua del Río Lerma, México.

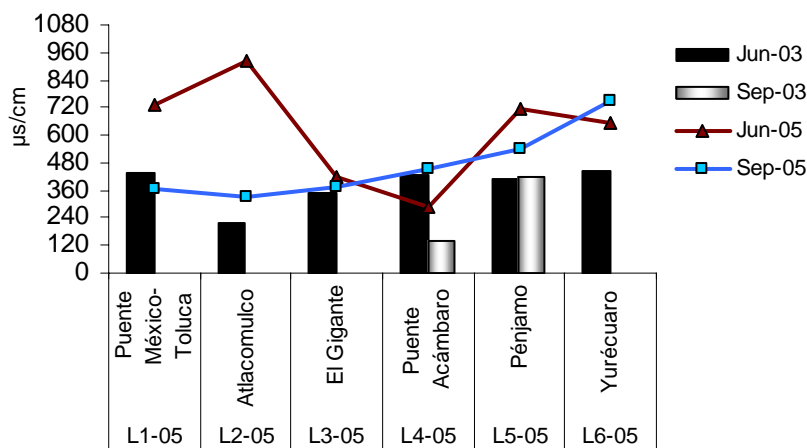


Figura 18. Variaciones temporales de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma.

En referencia al oxígeno disuelto en el agua de las estaciones de la RNMCA del año 2003 y las muestreadas en el 2005 no se puede hacer una comparación entre los años debido a la carencia de datos de oxígeno para el 2003.

Para la estación Atlacomulco en junio del 2005 el oxígeno se registró en 2.3 mg/L y en septiembre de 2.8 mg/L; para la estación Atlacomulco de la RNMCA en junio del 2003 el oxígeno se registró en 3.7 mg/L, no se reportan concentraciones de oxígeno disuelto para el mes de septiembre; la tendencia fue de una disminución del 2003 al 2005; para la estación Tziritzécuaro en junio del 2005 el oxígeno que se registró fue de 7.36 mg/L, disminuyendo en septiembre a 6 mg/L. En la estación El Gigante de la RNMCA el oxígeno disuelto que se registró fue de 7 mg/L, no reportaron concentraciones de oxígeno para el mes de septiembre; la tendencia fue un aumento de junio del 2003 a junio del 2005; para la estación Inhamácuaro en junio del 2005 el oxígeno que se registró fue de 5.4 mg/L y en septiembre de 2.3 mg/L; para la estación Acámbaro de la RNMCA en junio del 2003 el oxígeno disuelto que se registró fue de 6 mg/L, disminuyendo en septiembre a 4.7 mg/L de oxígeno; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación La Calle en junio del 2005 el oxígeno disuelto que se reportó fue de 3 mg/L y para septiembre en 5.45 mg/L; para la estación Pénjamo de la RNMCA el oxígeno que se registró fue de 0.81 mg/L en junio y en septiembre en 2 mg/L; la tendencia fue un aumento del 2003 al 2005; para la

estación Yurécuaro en junio del 2005 el oxígeno disuelto se reportó en 6.9 mg/L, y en septiembre de 3 mg/L; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 el oxígeno disuelto que se registró fue de 3.4 mg/L, no reportaron concentraciones de oxígeno para el mes de septiembre del 2003; la tendencia fue un aumento del mes de junio del 2003 a junio del 2005 (Figura 19).

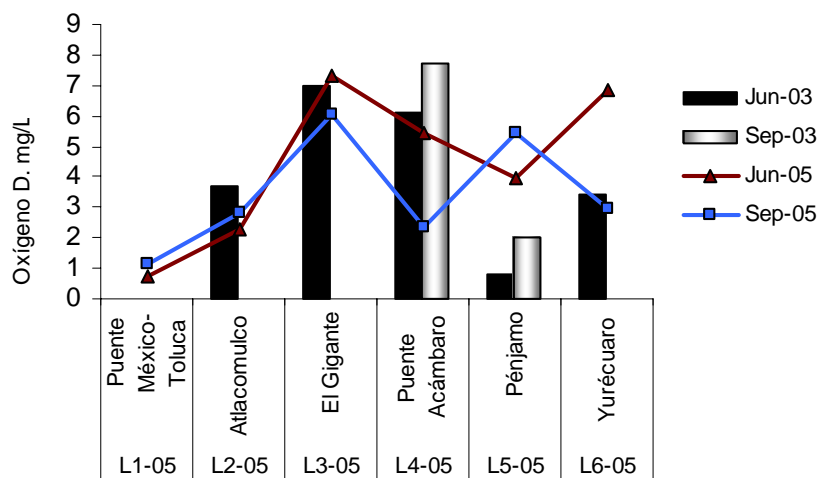


Figura 19. Variaciones temporales del oxígeno disuelto (mg/L), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma.

Con respecto a los sólidos disueltos totales (SDT) en el agua de las estaciones de la RNMCA del año 2003 y las muestreadas en el 2005, las concentraciones no se reportaron para los meses de junio y septiembre del 2003 para las estaciones de Puente México-Toluca y Atlacomulco; por lo cual es imposible comparar los datos entre los años 2003 y 2005.

Para la estación Tzirizícuaru en junio del 2005 los SDT se registraron en 220 mg/L, disminuyendo en septiembre a 192.5 mg/L de SDT; para la estación El Gigante de la RNMCA en junio del 2003 los SDT se registraron en 636 mg/L, no reportaron concentraciones de SDT para septiembre del 2003; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación Inchamácuaro en junio del 2005, los SDT se registraron en 147 mg/L, aumentado en septiembre a 231 mg/L de SDT; para la estación Acámbaro de la RNMA en junio del 2003 los SDT se

registraron en 312 mg/L, aumentando en septiembre a 896 mg/L de SDT del 2003; la tendencia fue un aumento del 2003 al 2005; para la estación La Calle en junio del 2005 los SDT se registraron en 364 mg/L y para septiembre en 252 mg/L de SDT; para la estación Pénjamo de la RNMCA en junio del 2003 los SDT se reportaron en 608 mg/L y para septiembre de 398 mg/L de SDT; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación Yurécuaro en junio del 2005 los SDT se registraron en 315 mg/L y para septiembre de 354 mg/L de SDT; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 los SDT se registraron en 884 mg/L, no reportaron concentraciones de SDT para septiembre del 2003; la tendencia fue de una disminución del 2003 al 2005 (Figura 20).

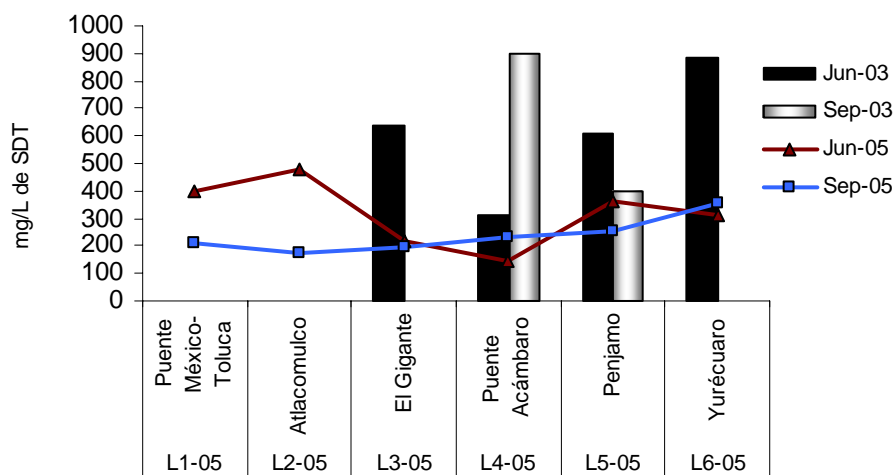


Figura 20. Variaciones temporales de los sólidos disueltos totales (mg/L), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma.

Por ultimo la dureza total (DT) en el agua de las estaciones de la RNMCA del año 2003 y las muestreadas en el 2005, la estación Lerma en junio del 2005 la DT se reportó 1.69 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  y disminuyó en septiembre a 1.18 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; para la estación Puente México-Toluca la DT se reportó 128 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , no reportan dureza total en septiembre del 2003; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación de Atlacomulco en junio del 2005 la DT se reportaron 1.01 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , y aumento en septiembre a 1.57 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ;

para la estación Atlacomulco de la RNMCA en junio del 2003 la DT se reportaron 79 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , no reportaron dureza total en septiembre del 2003; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación Tzirtzícuaru en junio del 2005 la DT se reportaron 1.90 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  y disminuyó en septiembre a 1.45 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; para la estación El Gigante de la RNMCA en junio del 2003 la DT se registraron 82 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , no reportaron dureza total en septiembre del 2003; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación Inchamácuaro en junio del 2005 la DT se registraron 2.16 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  y disminuyó en septiembre a 1.29 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; para la estación Acámbaro de la RNMCA en junio del 2003 la DT se reportaron 120 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , y para septiembre 85 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación La Calle en junio del 2005 la DT se reportaron 0.96 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , y para septiembre 2.55 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; para la estación de Pénjamo de la RNMCA en junio del 2003 la DT se reportaron 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , y para septiembre 115 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005; para la estación Yurécuaro en junio del 2005 la DT se reportaron 0.07 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , y para septiembre 1.35 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; para la estación Yurécuaro de la RNMCA en junio del 2003 la DT se reportaron 102 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , no reportaron dureza total en septiembre del 2003; la tendencia fue una disminución del 2003 al 2005 (Figura 21).

Evaluación Bacteriológica de la Calidad del Agua del Río Lerma, México.

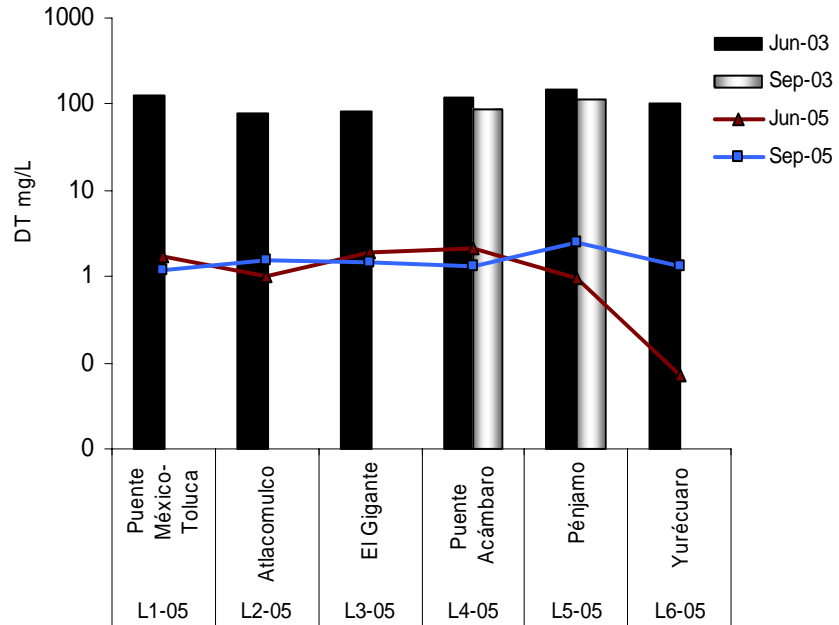


Figura 21. Variaciones temporales de la dureza total (mg/L), en las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las estaciones monitoreadas en el 2005, a lo largo del río Lerma.

## **6. Discusión de resultados**

### **6.1. Parámetros bacteriológicos**

Los conteos reportados para coliformes totales obtenidas en las ocho estaciones del río Lerma, sugieren una fuerte contaminación microbiológica en el mes de junio y septiembre; siendo las estaciones de Lerma, Tziritzécuaro, Inchamácuaro, La Calle y Pueblo Nuevo las que presentaron las medias más altas en junio; mientras que las estaciones Lerma, Inchamácuaro, La Calle y Pueblo Nuevo presentaron las medias geométricas más altas en septiembre. De manera general estas bacterias coliformes son indicadores generales de la existencia de contaminación de origen fecal en el aguas, por lo que se puede decir que el agua no es segura para actividades recreativas, para consumo humano y podría provocar enfermedades gastrointestinales (Gerba, 2000; Pitt *et al.*, 2001; Koneman *et al.*, 2003; Tallon *et al.*, 2005).

Las coliformes fecales se consideran como un grupo que refleja mejor la presencia de contaminación fecal (Campos, 2005). Niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos (Cortes, 2003; Koneman *et al.*, 2003), ya que comprenden cerca del 1% de la biomasa total bacteriana (Tallon *et al.*, 2005); si existen condiciones adecuadas de materia orgánica, pH y humedad su población crece (Campos, 2005; Bitton, 2005). Comparando los conteos de CF de las ocho estaciones localizadas a lo largo del río Lerma, con los límites permisibles para uso urbano, agrícola y vida acuática establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996b) y en Ley Federal de Derechos. (DOF, 2004) de 1000 NMP/100 mL, los conteos rebasan estos límites en junio y septiembre del 2005. También se compararon con los límites establecidos en la NOM-003-ECOL-1997, para servicio directo al público (240 NMP/100 mL de CF) y para servicio al público contacto indirecto u ocasional (1000 NMP/100 mL de CF); además, con los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales vertidas en aguas, bienes nacionales y uso agrícola (1000 NMP/100 mL promedio mensual y 2000 NMP/100 mL promedio diario) (OMS, 1996; DOF, 1997); también los conteos rebasan estos límites en ambos meses.

De acuerdo con los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-2000, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límite permisible de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, las coliformes totales y coliformes fecales no deben estar presentes en el agua; comparando con los conteos del 2005 todas las estaciones en los dos muestreos rebasan este límite; lo cual sugiere que las concentraciones de bacterias reportadas en las estaciones Lerma, Tziritzécuaro, Inchamácuaro, La Calle y Pueblo Nuevo en el mes de junio, así como Lerma, Inchamácuaro, La Calle y Pueblo Nuevo en el mes de septiembre, se encuentran dentro de los intervalos de composición típica de aguas de desecho domestico no tratadas (  $1 \times 10^6$ - $10^7$  intervalo bajo y  $1 \times 10^7$ - $10^8$  intervalo medio) (Tchobanoglous, 1987).

Es importante señalar que de acuerdo con la declaratoria de clasificación del río Lerma, que establece su capacidad de asimilación y dilución, las metas de calidad del agua, los plazos para alcanzarla y los parámetros que deberán considerarse para el cumplimiento de las descargas de aguas residuales (DOF, 1996a), la calidad del agua en su primer plazo en el 2005, debería alcanzar en los tramos 1 al 9 del río Lerma la correspondiente a riego agrícola, y en los tramos 10 al 22 la sugerida como fuente de abastecimiento de agua potable, tal como se define en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (DOF, 1996a); así como del criterio ecológico CE-CCA-001/89, los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml (DOF, 1989); comparando con los muestreos de junio y septiembre del 2005, la estación de Lerma localizada dentro del tramo 1, Atlacomulco en el tramo 4, y Tziritzécuaro en el tramo 9 exceden los límites establecidos para riego agrícola (DOF, 1996a); para la estación de Inchamácuaro localizada en el tramo 11, La Calle y Pueblo Nuevo localizadas en el tramo 14, así como de la estación Yurécuaro en el tramo 19 e Ibarra en el tramo 22, exceden los límites correspondientes a fuentes de abastecimiento de agua potable en ambos muestreos. Suponemos que la entrada de agua residual, infiltración de aguas residuales sin tratar, lixiviados de los rellenos sanitarios, infiltraciones de los



tanques sépticos, la defecación a campo abierto de animales domésticos y silvestres en las inmediaciones de las estaciones; así como la escorrentía natural pluvial, podrían ser factores que contribuyen al crecimiento de la masa bacteriana (Aurazo, 2005, Bitton, 2005).

Las guías de calidad del agua de la Agencia de Protección del Ambiente siglas en ingles (EPA), establece con relación a los enterococos fecales para aguas recreativas y aguas limpias el límite de 33 UFC/100mL (USEPA, 1997; APHA, 1998; Koneman *et al.*, 2003); al compararlo con los conteos de las ocho estaciones del río Lerma, estos sobrepasan el límite en los dos muestreos. Se puede mencionar que la relativa resistencia de los enterococos a condiciones adversas, como la tolerancia a condiciones extremas de temperaturas, pH y salinidad (salinidad solo en casos de muestras en agua de mar), es ventajosa. Sin embargo, a causa de la habilidad de los enterococos para crecer en ambientes lejanos de la fuente original de contaminación fecal, se recomienda precaución y discreción en atribuirle un uso al agua del río para riego de alimentos con alta presencia de enterococos y estreptococos fecales (Suárez, 2002, Carvajal, 2005); ejemplo de esto es el uso que se le da al agua del río Lerma en las inmediaciones del las estaciones Atlacomulco, Inchamácuaro, La Calle, Pueblo Nuevo y Yurécuaro, pues es utilizada para riego de maíz, alfalfa, sorgo y flores; observando además salidas de drenajes sanitarios directamente al río, tal es el caso de las estaciones de Tziritzécuaro, Ibarra, Inchamácuaro y Pueblo Nuevo, lo cual podría sugerir que este tipo de contaminación puede contener una gran variedad de microorganismos patógenos que pueden ocasionar serios problemas gastrointestinales, disentería, cólera o tifoidea por mencionar algunos en las salud de los pobladores o animales (Chapman y Kimstach; 1996; OMS, 1996).

Por otro lado la Organización Mundial de la Salud (1996), propone límites para aguas residuales de origen municipal que van de 10 a 100 millones de bacterias coliformes/100 mL CF, y de 1 a 50 millones de enterococos fecales, comparando con los conteos de las estaciones del río Lerma, estos se encuentran dentro de estos límites.

Para tener una idea del posible origen de la contaminación fecal se utilizó el cociente coliformes fecales/enterococos fecales (CF/EF), propuesto por Geldreich y Kenner (1969). Su uso proporciona resultados generales y que cuando ha sido seriamente criticado da una idea del origen de la contaminación, sin requerir un amplio conocimiento y puede ser usado en muestras de contaminación reciente (24 horas) (Tallon *et al.*, 2005; Pérez, 2005). Sin embargo, su uso es limitado ya que en ambientes tropicales el grupo de coliformes fecales está presente de forma natural en suelo y agua (Toranzos, 1991). No obstante, nos proporciona una idea del posible origen de la contaminación del agua que puede ser corroborada con las observaciones hechas en campo y con un análisis bacteriológico más detallado en laboratorio (Pérez, 2005).

Con base en este cociente para establecer el origen de la contaminación humano-animal, coliformes fecales/enterococos fecales (CF/EF), se determinó que la principal fuente de contaminación es humana para el primer muestreo realizado en junio en las estaciones Lerma, Tziritzícuaru, Inchamácuaro, La Calle y Pueblo Nuevo, mientras que en las estaciones Atlacomulco e Ibarra predominó una fuerte contaminación humana, (mezcla humana-animal); por otro lado en el segundo muestreo realizado en septiembre las estaciones de Lerma, Atlacomulco, Tziritzícuaru, Inchamácuaro, Pueblo Nuevo, Yurécuaru e Ibarra predominó una fuerte contaminación humana, y solo la estación La Calle presentó contaminación predominantemente humana (mezcla humana-animal). Es probable que esto pueda deberse al lavado de los suelos, con materia orgánica, nutrientes y desechos orgánicos de animales al inicio de la época de lluvias que pudieron haber beneficiado el crecimiento, transporte y protección de las bacterias en todas las estaciones (APHA, 1998).

Cabe señalar que las bacterias CT, CF y EF en las estaciones del río Lerma tienden a presentarse en mayores conteos en junio y tienden a disminuir en septiembre; es importante mencionar que en el caso particular las estaciones de Lerma, La Calle y Pueblo Nuevo no tienden a variar significativamente en los dos muestreos; sin embargo, los altos conteos de bacterias CT, CF y EF encontrados en estas estaciones, suponen que se vieron influenciadas por la entrada de agua

residual doméstico-industrial del corredor industrial Lerma-Toluca y el corredor industrial Salamanca. Para darnos una idea aproximada de los aportes que son vertidos al río Lerma según datos de la Oficina regional Lerma-Santiago-Pacífico en 1994, sobre descargas industriales de nutrientes, sólidos y materia orgánica, en ese año se vertieron 8 Ton/día de nitrógeno (NT), 275 Ton/día (SDT) de sólidos disueltos totales y 70 Ton/día de sólidos suspendidos totales (SST) (Hansen y van Afferden, 2001a) de los 65 municipios de las más de 3,500 empresas de toda la cuenca cerca del río Lerma (Hansen y van Afferden, 2001b).

## 6.2. Bacterias identificadas

De los 12 géneros y 18 especies identificadas de las bacterias CT, CF y EF de las muestras de las ocho estaciones localizadas a lo largo del cauce del río Lerma en ambos muestreos (junio, septiembre), se identificaron cuatro especies que se consideran patógenas para el hombre: *Escherichia coli*, *Vibrio fluviales*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter agglomerans* (Collins *et al.*, 1989; Baker *et al.*, 1990; Pitt *et al.*, 2001; Abbott, 2003; APHA, 2003). En este sentido el término organismo patógeno se refiere a la habilidad del microorganismo para causar enfermedades; su virulencia corresponde a los factores y propiedades que permiten que se establezca un microorganismo para producir enfermedades (Granato, 2003).

La bacteria *Escherichia coli* se presentó en las ocho estaciones del río Lerma en el mes de junio; de igual forma para las estaciones muestreadas en el mes de septiembre con excepción de la estación Tziritzícuaró. Básicamente esta bacteria es de origen humano y animal y encontrándose en gran número en las heces de individuos enfermos de  $10^8$  por gramo de heces, además de forma natural se encuentran en los intestinos de los mamíferos (Aurazo, 2005); su presencia en el agua puede provocar problemas gastrointestinales que pueden tener complicaciones potenciales fatales (Gray, 2003; Koneman *et al.*, 2003). Es probable que la presencia de esta bacteria se pudiera deber al aporte de agua residual de origen doméstico (drenajes domésticos y establos) localizados en las cercanías del río Lerma; un ejemplo de esto son: las cantidades de materia fecal

animal aportada por la ciudad de La Piedad de Cabadas en Michoacán y materia fecal humana de las ciudades de Lerma en el estado de México, Atlacomulco, Salamanca, Acámbaro, Pastor Ortiz en Guanajuato y La Barca en Jalisco.

Para la bacteria *Klebsiella pneumoniae* en el mes de junio se presentó en las estaciones de Atlacomulco, La Calle, Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra; con respecto al mes de septiembre se presentó en todas las estaciones excepto en la estación Tziritzícuaro. La bacteria *Klebsiella pneumoniae* es un patógeno que en el ambiente se puede encontrar en agua y alimentos, es colonizador de piel y mucosas de pacientes hospitalizados que pueden presentar infecciones invasoras como bactericemias o septicemias; por otro lado, puede contribuir a procesos geoquímicos y bioquímicos en el ambiente que puede causar también enfermedades al hombre colonizando el tracto intestinal, urinario y respiratorio (Abbott, 2003). En México existen algunos reportes que muestran a *K. pneumoniae* como uno de los principales organismos causantes de infecciones intrahospitalarias, que causan niveles significativos de morbilidad y mortalidad (Koneman *et al.*, 2003; Andrade y Silva, 2004); podríamos suponer que de manera natural y por los aportes de aguas residuales de los poblados aledaños a las estaciones podrían ser factores que permiten que esta bacteria esté presente en el agua del río.

Con respecto a *Vibrio fluvialis* se presentó solo en la estación de Inchamacuaro en el mes de septiembre y no se presentó en ninguna estación del muestreo de junio; hay que señalar que este tipo de bacterias son habitantes naturales acuáticos de agua salobre o salada en el nivel mundial, que depende de la temperatura y de la concentración de  $\text{Na}^+$ , del contenido de nutrientes en el agua, de plantas y de animales; están asociados con enfermedades por la ingesta de agua contaminada; además de la contaminación de pescados y mariscos. La infección se puede desarrollar cuando se entra en contacto con heridas del cuerpo, algunas especies de *Vibrio* en humanos puede causar gastroenteritis (Koneman *et al.*, 2003; Farmer III *et al.*, 2003); es probable que su presencia se deba a las altas concentraciones de materia orgánica por aguas residuales de la población y zonas de cultivo aledañas a la estación.

La bacteria *Enterobacter agglomerans* se presentó solo en las estaciones de La Calle en el mes de junio y Tziritzícuaru en el mes de septiembre, se distribuye en plantas, suelo, agua y en intestinos de animales, así como de humanos; puede causar infecciones en el tracto urinario, cititis primaria, acompañado de infecciones en el sistema nervioso central, respiratorio, sepsis y meningitis adquiridos en hospitales (Farmer III *et al.*, 2003). La presencia de *Enterobacter agglomerans* en las estaciones Tziritzícuaru y La Calle se puede deber a la entrada de drenajes sanitarios, basura y excretas de animales (caballos, vacas, etc.) que se localizaban cerca al cauce del río.

Se identificaron también bacterias patógenas oportunistas pertenecientes al grupo de *Enterococcus*: *E. faecium*, *E. avium*, *E. faecalis*, *E. durans/hirae* y *E. casseliflavus*. En lo que respecta a este grupo la mayoría de sus integrantes se encuentran identificados en las ocho estaciones del río Lerma con excepción de la estación Atlacomulco en el muestreo de junio, su presencia se podría atribuir a su ventajosa resistencia en ambientes severos y su persistencia en casi todas partes. Los enterococos se distribuyen en la naturaleza básicamente en suelo, agua, alimentos, plantas y animales incluyendo a mamíferos, aves e insectos (Koneman *et al.*, 2003; Teixeira y Facklam, 2003). En humanos y animales se encuentran distribuidos en el tracto gastrointestinal y la cavidad oral. La prevalencia de las diferentes especies de enterococos varía de acuerdo al hospedero y también por la influencia por la edad, la dieta, además de otros factores que pueden estar relacionados con las condiciones físicas del individuo (Teixeira y Facklam, 2003). Se infiere que un medio de propagación son los drenajes localizados en las inmediaciones del río, la entrada de agua residual urbana-industrial de los corredores industriales y poblados aledaños a las estaciones de muestreo, así como las condiciones de temperatura, pH, oxígeno disuelto, SDT y materia orgánica, lo cual podrían ser factores para que este tipo de bacteria pudiera estar en continuo crecimiento por ejemplo en las estaciones de Lerma, Atlacomulco y Pueblo Nuevo en junio, así como las estaciones de Lerma, Atlacomulco, La Calle y Pueblo Nuevo en septiembre. Hay diversidad de opiniones en cuanto al valor de los enterococos fecales como indicador de contaminación fecal (APHA, 1998). En

investigaciones realizadas en países tropicales se plantea que estas bacterias pueden estar presentes de forma natural en las corrientes y no reflejan necesariamente el grado de contaminación de dichas aguas, por lo que es posible considerar la hipótesis de que la fuente de los altos conteos de bacterias indicadoras en las corrientes es el suelo (Suárez, 2002). Por otra parte, los riesgos asociados con las actividades en aguas naturales destinadas a la recreación en los que se incluyen enfermedades del tracto respiratorio superior y enfermedades gastrointestinales, infecciones del oído e infecciones de la piel se consideran los enterococos (Suárez, 2002). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1996) plantea que el valor principal de los enterococos fecales en el examen de la calidad del agua potable, es como indicadores adicionales de la eficiencia del tratamiento, además de ser valiosos para los controles corrientes después del tendido de nuevos sistemas de drenaje cuando se reparan los sistemas de distribución, para detectar contaminación de las aguas de superficie por las escorrentías (Collins *et al.*, 1989; Baker *et al.*, 1990; APHA, 2003).

Para el grupo de *Pseudomonas aeruginosa* (Bacterias no Enterobacterianas): *Streptococcus* sp. y *Acinetobacter lwoffii*, son dadas a ser parasitas oportunistas en humanos y animales, pueden ser colonizadores transitorios de la piel, así como residentes colonizadores de las membranas mucosas, cavidad oral y en algunos casos de la flora de la placa dental (Collins *et al.*, 1989; Baker *et al.*, 1990; APHA, 2003; Koneman *et al.*, 2003). Como parte del grupo de las Enterobacterianas se identificaron: *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter agglomerans*, *Klebsiella oxytoca*, *Hafnia alvei*, *Klebsiella ascorbata*, *Providencia rettgeri*, *Alcaligenes* sp, su distribución se limita a habitats de suelo, agua, vegetación, intestinos de animales y humanos, cavidad oral, tracto respiratorio y riñón (Collins *et al.*, 1989; Baker *et al.*, 1990; APHA, 2003). Cabe señalar que *Aeromonas hydrophila* se distribuye en aguas subterráneas, plantas de tratamiento en ríos y lagos contaminados, además en fuentes de agua para beber; es patógena en peces, anfibios y en la mayoría de los animales (Collins *et al.*, 1989; Baker *et al.*, 1990; APHA, 2003). La presencia de estas bacterias en el agua se podría atribuir al alto grado de contaminación en suelo por las zonas

agrícolas y por el vertimiento de aguas residuales de baños, drenajes de las ciudades y poblados asentados en las cercanías del río Lerma.

### **6.3. Parámetros físicos y químicos**

El río Lerma es afectado por las variaciones estacionales y por las actividades de represamiento de agua que es utilizada para riego y actividades urbano-industriales, por lo cual las profundidades tienden a disminuir en junio y se incrementaron levemente en septiembre del 2005, se podría atribuir al ingreso del agua de lluvias, por el aporte de algunos arroyos y ríos tributarios como: río Almoloya, San Pedro y Tepetitlán en el Estado de México; los ríos La Laja, Guanajuato y Turbio en el estado de Guanajuato; y los ríos Angulo y Duero en el estado de Michoacán (DOF, 1996a); además, es importante señalar que en algunas estaciones (Atlacomulco, Lerma e Ibarra) solo se incrementó el área de inundación en el cauce y no la profundidad.

La temperatura del agua es un parámetro importante por su efecto en la vida acuática, pues regula los procesos químicos y biológicos de ésta (Tchonbanoglous, 1987; Abel, 1996; USEPA, 1997; APHA, 1998; García, 2000). La NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1996b) para uso agrícola, uso público urbano y protección de vida acuática, estima que la temperatura de las ocho estaciones se encuentran por abajo de los 40 °C, así como también por la establecida para el río Lerma en ambos meses (DOF, 1996a).

El pH es una variable importante en el estudio de la calidad del agua pues influye en varios procesos químicos, biológicos de un cuerpo de agua, así como también con los procesos relacionados con el abasto de agua y su tratamiento; además indica la concentración de protones presentes en una solución acuosa, pues mide la acidez, alcalinidad o neutralidad del agua (USEPA, 1997; APHA, 1998). El pH registrado en las ocho estaciones para el mes de junio y septiembre oscilaron entre 7.0 y 8.3, varios autores atribuyen estos tipos de pH a sistemas naturales (OMS, 1996; Wetzel, 2001); el pH registrado en junio y septiembre no supera el valor establecidos por la norma NOM-001-ECOL-1996 de pH 5 a 10; un agua con un pH de 9 muchos organismos tienden a disminuir sus actividades

(Lampert y Sommer, 1997); inclusive también el límites que presenta la declaratoria que establece su capacidad de asimilación y dilución, las metas de calidad del agua, los plazos para alcanzarlas y los parámetros que deberán considerarse para el cumplimiento de las descargas de las aguas residuales para el río Lerma (DOF, 1996) con un pH de 6 a 9. Aparentemente la entrada de materia orgánica y sales disueltas que son vertidas por aguas residuales de tipo industrial y urbana al cauce del río, además de la disolución de sales de forma natural originada por las lluvias a los suelos en septiembre lo que podría suponer que el pH del agua tiende a ser afectado; ocasionando un ligero aumento en la alcalinidad en todas las estaciones, siendo las estaciones Tzirtzícuaru y La Calle las que presentaron pH de 8.25 en septiembre.

La tendencia de la conductividad se incrementa en junio y disminuye en septiembre, podría atribuirse a los compuestos disueltos en el agua y a la disociación de iones, ya que se concentran en un volumen menor de agua esto en junio (Seoáñez, 1999). La conductividad proporciona información acerca del nivel de contaminación del agua, ya que en estado puro no presenta carácter conductor, debido al bajo grado de concentración iónica que presenta (USEPA, 1997; APHA, 1998). De acuerdo con el límite de conductividad eléctrica para agua potable y agua residual de origen doméstico reportado es entre 50 y 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y para aguas con desechos industriales es de 10,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (USEPA, 1997; APHA, 1998), y con el límite para agua potable establecido por CEPIS (2002) de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; en las ocho estaciones del río Lerma, la conductividad no supera el intervalo para agua de uso doméstico en junio y septiembre, pero si supera la conductividad para agua de acuerdo con CEPIS (2002). Solo las estaciones de Atlacomulco, La Calle y Yurécuaro en junio rebasaron el límite para agua potable; mientras que las estaciones de Pueblo Nuevo y Yurécuaro rebasaron el límite para uso doméstico en septiembre; no siendo así para el caso del uso industrial ya que todas se encuentran por debajo.

El oxígeno disuelto es esencial para la mayoría de las formas de vida acuática (peces, bacterias, organismos responsables de los procesos de purificación, etc.) en aguas naturales. El contenido de oxígeno disuelto en aguas



naturales varía con la temperatura, salinidad, turbidez, actividad fotosintética de algas, plantas y presión atmosférica (USEPA, 1997; APHA, 1998). El oxígeno disuelto se registró en concentraciones bajas, por ejemplo la estación Lerma en ambos meses presento casi condiciones de anoxia en el mes de junio (Lampert y Sommer, 1997); Es probable que la poca entrada de agua al río, la temperatura y el aumento de las sales provocaron niveles bajos de solubilidad del oxígeno (De Esparza, 1995; OMS, 1996; USEPA, 1997; Wetzel, 2001;), además del gasto realizado durante la oxidación de la materia orgánica y descomposición bacteriana (De Esparza, 1995; Lampert y Sommer, 1997; Wetzel, 2001), lo que provocó una disminución del oxígeno. Hay que resaltar que la estación de Ibarra pese a que presentó niveles de oxígeno disuelto de 5.37 mg/L, se observó una gran mortandad de peces. Las concentraciones de oxígeno disuelto en septiembre para las estaciones Lerma, Atlacomulco, La Calle, Pueblo Nuevo e Ibarra presentaron una ligera mejoría con respecto al mes de junio; sólo la estación Tziritzicuario se mantuvo en concentraciones por arriba de los 6.0 mg/L de oxígeno disuelto, esta estación pareció verse beneficiada por la presencia de una cascada de 6 m de altura aproximadamente.

Si se compara con las concentraciones de las ocho estaciones con los intervalos de oxígeno propuestos por la Ley Federal de Derechos del 2004 (disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales) para fuentes de abastecimiento para uso público urbano de 4 mg/L de oxígeno disuelto y con el límite para protección acuática de 5 mg/L de oxígeno disuelto, las concentraciones se encuentran dentro de estos límites, es importante mencionar que concentración de oxígeno disuelto es un buen indicador de la calidad del agua, ya que da indicios de cuán alterado está el sistema y cuán bien puede dar soporte a los organismos presentes; además, el rol que desempeña para el metabolismo de los organismos acuáticos es importante, básicamente para aquellos que presentan respiración aerobia (Wetzel, 2001). Generalmente concentraciones por abajo de los 3 mg/L de oxígeno indican que el agua no es buena para el soporte de vida acuática y por arriba de este valor se considera adecuada para el desarrollo ésta (con excepción

de algunas especies de peces que pueden sobrevivir en niveles de 2 mg/L de oxígeno disuelto) (USEPA, 1997).

Los sólidos disueltos totales en junio tienden a aumentar y disminuyen en septiembre; las estaciones Atlacomulco y Lerma presentaron concentraciones altas de SDT entre 390 mg/L a 480 mg/L, es probable que estas estaciones pudieron verse influenciadas, la primera por la localización de las zonas urbanas e industriales del corredor industrial de Toluca que vierte aguas residuales al río; mientras que la estación Atlacomulco por las aguas embalsadas de la presa Antonio Alzate y la entrada de agua residual de los poblados y zonas de cultivo aledañas al sitio. Las concentraciones de las estaciones se encuentran por abajo de límite medio para aguas residuales domésticas de 500 mg/L de SDT y por arriba del límite bajo de 250 mg/L de SDT para aguas residuales domésticas; así como por abajo del límite para consumo humano de 1000 mg/L de SDT en ambos muestreos (Tchonbanoglous *et al.*, 1987; OMS, 1996). Las concentraciones de las estaciones Lerma, Atlacomulco, Tziritzícuaró y La Calle en septiembre disminuyeron; pero aumentaron en las estaciones de Pueblo Nuevo, Yurécuaró, Inchamácuaro e Ibarra con respecto al mes de junio; parece ser que el represamiento con fines de riego y abastecimiento humano y animal, así como por la entrada de SDT vía pluvial por las lluvias y lixiviados de las zonas de cultivo influyeron en las concentraciones.

El nitrógeno total (NT), representa el conjunto de las formas de nitrógeno reducidas orgánicas y amoniacales, se refiere a todas las formas de nitrógeno presentes en el agua; incluye principalmente nitrógeno amoniacal y orgánico, constituido éste último por proteínas, polipéptidos y aminoácidos (Sardiñas y Pérez, 2005). Para el muestreo de junio las concentraciones de nitrógeno total en las estaciones Lerma y Atlacomulco se registraron por arriba de los 30 mg/L de NT; en septiembre se observó un aumento en las concentraciones de NT en todas las estaciones, con excepción de las estaciones de Lerma y Atlacomulco donde se observaron disminuciones en las concentraciones de NT con respecto al muestreo de junio, siendo la estación Pueblo Nuevo la que presentó la concentración más alta en el muestreo de septiembre de 10.6 mg/L de NT.

Comparando las concentraciones de las ocho estaciones con la NOM-001-ECOL-1996 para uso agrícola y uso urbano de 40 mg/L de NT, ninguna de las estaciones superaron éstos límites en ambos muestreos; mientras que para la protección de vida acuática de 15 mg/L de NT, Lerma y Atlacomulco superaron este límite en ambos meses; siendo las estaciones de Tziritzícuaro, Inchamácuaro, La Calle, Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra, las que se mantuvieron por abajo. Con respecto a lo establecido en la declaratoria del río Lerma de 30 mg/L de NT (DOF, 1996a), sólo la estación Lerma superó este límite en el mes de junio; es probable que el corredor industrial Lerma-Toluca, tuvo influencia importante debido a las descargas de aguas residuales vertidas al cauce del río y al escaso aporte de agua de forma natural. Sin embargo, es posible mencionar que la entrada de agua contaminada en el mes de septiembre, en las inmediaciones de estas estaciones influyeron diversos factores como las zonas de cultivo, drenajes sanitarios directos al cauce del río y corrales; los cuales pudieron haber influido en las concentraciones de nitrógeno total en las estaciones Tziritzícuaro, Inchamácuaro, La Calle, Pueblo Nuevo, Yurécuaro e Ibarra en septiembre; y posiblemente la entrada de agua benefició las estaciones Lerma y Atlacomulco, disminuyendo las concentraciones de NT hasta la mitad con respecto al mes de junio; así como por los aportes de contaminación puntual: áreas agrícolas, pequeños poblados, drenajes y posiblemente aguas de origen doméstico de algunas ciudades como: Salamanca en Guanajuato, La Piedad en Michoacán, Atlacomulco en el Estado de México, Lerma en el Estado de México y Acámbaro en Michoacán por mencionar a lo largo del río Lerma, influyeron considerablemente en la calidad del agua del río (Hansen y Van Afferden; 2001a). Es posible considerar que la de agua pluvial en el mes de septiembre afectó las condiciones (Lewis, 1996; Wetzel, 2001)

El fósforo es un nutriente importante y esencial para el metabolismo de los organismos que existen en un cuerpo de agua (OMS, 1996). Generalmente es un nutriente limitante para el crecimiento de algas principalmente en latitudes templadas (Welch *et al.*, 2001). El incremento en concentraciones artificiales es debido a la actividad humana siendo la principal causa, la eutrofización. De forma

natural en el agua y aguas residuales se manifiesta como ortofosfatos y polifosfatos. Los cambios de fósforo de manera natural pueden deberse a rocas y materia orgánica en descomposición. En aguas residuales domésticas es dada por detergentes y en efluentes industriales así como fertilizantes que contribuyen a elevar el grado de concentraciones de fósforo en las aguas superficiales (USEPA, 1997; APHA, 1998). Al comparar los datos de junio y septiembre con los límites que establece la Ley Federal de Derechos (disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales) (DOF, 2004), para fuentes de abastecimiento para uso público urbano 0.1 mg/L de fósforo total, protección vida acuática de 0.05 mg/L y con uso público urbano en río que van de los 20 mg/L promedio mensual a 30 mg/L de fósforo total promedio diario; las concentraciones de todas las estaciones se encuentran por arriba de los límites establecidos para uso público urbano así como para la protección acuática, no siendo así para uso público urbano ya que todas las estaciones se encuentran por abajo del promedio diario y mensual. Al comparar con los límites para aguas domésticas sin tratamiento (4 a 15 mg/L de fósforo total) (Tchonbanoglous *et al* ., 1987), las estaciones de Lerma y Atlacomulco superan este límite en el mes de junio, mientras que las estaciones de Tziritzícuaró, Inchamacuaró, La Calle, Pueblo Nuevo, Yurécuaró e Ibarra se encuentran dentro de este límite. En lo que respecta a los límites especificados para río Lerma (DOF, 1996a) para las descargas de aguas residuales el límite permisible es 8 mg/L de fósforo total; las estaciones de Lerma y Atlacomulco rebasaron este límite en el mes de junio, mientras que las ocho estaciones en el mes de septiembre se encontraron por abajo. Es probable que la carga de materia orgánica originada por entrada de agua residual del corredor industrial de Salamanca, así como por los lixiviados de las zonas de cultivo cercanas a las estaciones de Pueblo Nuevo y Yurécuaró posiblemente afectaron las concentraciones. Lo que sugiere que las concentraciones podrían deberse al ingreso de agua con niveles altos de fósforo, a menudo los efluentes de los procesadores de alimentos presentan altos niveles de nitratos y fósforo, y en áreas agrícolas la precipitación acarrea del suelo agrícola los nutrientes hacia el agua, especialmente los fertilizantes artificiales (Abel, 1996). La OMS (1996) establece

límites para aguas superficiales de fósforo que oscilan de los 0.005 a 0.020 mg/L fósforo total y en agua limpias la concentración puede llegar a los 0.001 mg/L de fósforo total, por que altas concentraciones de fósforo sugieren la presencia de contaminación y eutrofización (Chapman y Kimstach, 1996).

Las concentraciones de COT en el agua reportadas se vieron disminuidas por el bajo aporte de agua al cauce del río en el mes de junio. Los datos indicaron que en el mes de septiembre existió entrada de materia orgánica a causa de las lluvias y de nutrientes que circulan, así como por la entrada de agua residual de poblados e industrias de los corredores industriales Lerma-Toluca, Celaya e Irapuato-Salamanca (procesamiento de alimentos, productos naturales, textil y manufactura de papel) y agrícola (fertilizantes, abono de animales) (Abel, 1996), al cauce del río; provocando que la cantidad de materia orgánica de manera natural se vea afectada (Abel, 1996). Cabe destacar que la estación Ibarra fue en la que la cantidad de materia orgánica disminuyó en el mes de septiembre con respecto a junio, pudo deberse al represamiento de las aguas del río Lerma, con fines de riego y agua para consumo de animales. En aguas superficiales las concentraciones son generalmente menores a 10 mg/L de COT, pero se puede ver modificado por descargas de aguas municipales e industriales (concentraciones entre los 10 mg/L y mayores a 100 mg/L; se refieren a aguas con niveles similares a los de aguas residuales con tratamiento (Chapman y Kimstach, 1996; OMS, 1996). Las estaciones Inchamácuaro y La Calle sobrepasan el límite para aguas superficiales, mientras que Lerma, Atlacomulco, Tziritzícuaró, Pueblo Nuevo, Yurécuaró e Ibarra se mantuvieron por abajo del límite para aguas superficiales e industriales en junio. Para el mes de septiembre solo la estación Ibarra se mantuvo por abajo del límite para aguas superficiales e industriales, mientras que las estaciones Lerma, Atlacomulco, Tziritzícuaró, Inchamácuaro, La Calle, Pueblo Nuevo y Yurécuaró sobrepasaron el límite para aguas superficiales, manteniéndose por abajo del límite para aguas industriales. Por lo que se puede considerar que las ocho estaciones presentaron concentraciones relativamente altas de COT con respecto a los límites establecidos por la OMS, pero se

encuentran bajas con respecto al límite bajo propuesto para aguas domésticas sin tratamiento (Tchobanoglous, 1987).

## 6.4. Análisis temporal

### 6.4.1. Parámetros bacteriológicos

De acuerdo al análisis temporal realizado para las estaciones de la RNMCA del 2003 y con las del río Lerma del 2005, en la Tabla 7 se hace un comparativo con datos bacteriológicos con las normas oficiales mexicanas así como algunas internacionales en vigencia.

Tabla 7. Cuadro comparativo de las bacterias CT y CF de las estaciones de la RNMCA del 2003 y de las monitoreadas en el río Lerma del 2005, con las normas vigentes en relación a sus límites permisibles para su uso.

Parámetro (unidad)	Límite permisible /Guía	Uso	Referencia	Estaciones RNMCA 2003	Estaciones del río Lerma 2005
Coliformes totales (NMP/100mL o UFC/100mL)	Ausencia o no detectables	Uso y consumo humano	DOF, 2000. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	Arriba del límite	Arriba del límite
Coliformes fecales (NMP/100mL o UFC/100mL)	Ausencia o no detectables	Uso y consumo humano	DOF, 2000. NOM-127-SSA1-1994. OMS, 2004	Arriba del límite	Arriba del límite
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1000 PM 2000 PD	Riego agrícola	DOF, 1996a; DOF, 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.	Arriba del límite	Arriba del límite
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1000	a. Fuente abastecimiento para uso público urbano b. Riego agrícola c. Protección vida acuática: agua dulce	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos. DOF, 1996a	Arriba del límite	Arriba del límite
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	240 PM	Servicios al público con contacto directo	DOF, 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997.	Arriba del límite	Arriba del límite

PM: Promedio mensual.

PD: Promedio diario.

De acuerdo con los datos bacteriológicos obtenidos de las ocho estaciones las CT se encuentran por arriba de los límites establecidos por todas las normas

nacionales para uso y consumo humano, agricultura y vida acuática en ambos meses. Es posible mencionar que las estaciones de la RNMCA del 2003 y las del río Lerma del 2005, manifiestan condiciones de poca mejoría en la calidad del agua, lo cual puede deberse a la gran demanda del agua en la región por los diferentes usos en la cuenca del río Lerma; así mismo es posible considerar que el monitoreo en cuanto a los cumplimientos de tratamiento del agua pudiera ser insuficiente y poco efectivo.

Las CF son un indicador recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004) como índice de contaminación fecal, así como para el monitoreo y verificación de la operación de los procesos de tratamiento a los que se somete el agua. Estos grupos dan una visión incompleta de la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico, dado que no reflejan la variedad de organismos que pueden estar presentes en agua (virus, parásitos); sin embargo, ofrecen una idea de las condiciones sanitarias básicas del agua en relación con enfermedades gastrointestinales (APHA, 2003; OMS. 2004). Los conteos reportados para el 2003 y para el 2005, se encontraron por arriba de los límites establecidos por las normas nacionales tal como se describe en la Tabla 7.

#### 6.4.2. Parámetros físicos y químicos

De acuerdo al análisis temporal realizado para las estaciones de la RNMCA del 2003 y con las estaciones monitoreadas en el río Lerma del 2005, para las variables físicas y químicas en la Tabla 8 se hace un comparativo con límites establecidos en las normas oficiales mexicanas; así como algunas internacionales.

Es posible inferir de manera general que tienden a encontrarse por abajo o dentro de los límites permisibles, es importante decir que aunque no rebasaron los límites las variables pH, temperatura y conductividad eléctrica, si presentaron un aumento del 2003 al 2005; a excepción del oxígeno disuelto, dureza total y sólidos disueltos totales que presentaron una disminución importante.

Tabla 8. Comportamiento de las variables físicas y químicas de las estaciones de la RNMCA del 2003 y las estaciones monitoreadas del río Lerma en el 2005, con respecto a las normas nacionales e internacionales vigentes.

Parámetro (unidad)	Límite permisible/Guía	Uso	Referencia	Estaciones RNMCA 2003	Estaciones río Lerma 2005
°C	40	Uso agrícola	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
°C	40	Uso público urbano y protección	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
°C	40	Vida acuática	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
pH	6.0-9.0	Riego agrícola	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos	Dentro del límite	Dentro del límite
pH	6.5-8.5	Protección vida acuática	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos	Dentro del límite	Dentro del límite
pH	6.0-9.0	Fuente de abastecimiento para uso público urbano	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos	Dentro del límite	Dentro del límite
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.0	Fuente de abastecimiento para uso público urbano	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos CEPIS, 2002	Por debajo del límite	Dentro del límite
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.0	Protección vida acuática	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos CEPIS, 2002	Por debajo del límite	Dentro del límite
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	500	a. abastecimiento para uso público urbano b. Riego agrícola	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos	Por debajo del límite	Por debajo del límite



Evaluación Bacteriológica de la Calidad del Agua del Río Lerma, México.

Parámetro (unidad)	Límite permisible/Guía	Uso	Referencia	Estaciones RNMCA 2003	Estaciones río Lerma 2005
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	1,000 a 1,500 mg/L	Consumo humano se permite	NOM-127-SSA1-2000	Dentro del límite	Dentro del límite
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	500 mg/L límite medio	Aguas residuales domésticas	OMS, 1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	250 mg/L límite bajo	Aguas residuales domésticas	OMS, 1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	5,000 a 10,000 mg/L	Vida acuática	OMS, 1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Conductividad eléctrica	10 a 1000 $\mu$ S/cm	Aguas dulces	OMS, 2004 CEPIS, 2002	Dentro del límite	Dentro del límite
Conductividad eléctrica	10,000 $\mu$ S/cm	Aguas domésticas e industriales	OMS, 2004 CEPIS, 2002	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Conductividad eléctrica	2,000 $\mu$ S/cm	Vida acuática	OMS, 2004 CEPIS, 2002	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Dureza Total	500 mg/L CaCO <sub>3</sub>	Uso domestico	OMS, 2004 CEPIS, 2002	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Nitrógeno total (mg/L)	Ríos/Embalses 40 PM 60 PD	Riego agrícola	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Nitrógeno total (mg/L)	Ríos 40 PM 60 PD	Uso público urbano	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Fósforo total (mg/L)	0.1	Fuente de abastecimiento para uso público urbano	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos	Por arriba del límite	Por arriba del límite
Fósforo total (mg/L)	0.05	Protección vida acuática	DOF, 2004. Ley Federal de Derechos	Por arriba del límite	Por arriba del límite
Fósforo total (mg/L)	Ríos 20 PM 30 PD	Uso público urbano	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Fósforo total (mg/L)	Ríos/Embalses 20 PM 30 PD	Riego agrícola	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Por debajo del límite	Por debajo del límite
Fósforo total (mg/L)	Ríos 5 PM 10 PD	Protección vida acuática	DOF, 1997 NOM-001-ECOL-1996	Dentro del Límite	Dentro del Límite

PM: Promedio mensual.

PD: Promedio diario.

Cabe señalar que de las 11 estaciones localizadas en las cercanías de las estaciones muestreadas en el 2003 proporcionadas por la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, las estaciones Puente Carretera México-Toluca, Atlacomulco, El Gigante, Acambaro, Penjamo y Yurécuaro, fueron los que se tomaron para discutir y realizar el análisis temporal.

## 7. Conclusiones

- La conteos de los grupos bacterianos de coliformes totales, coliformes fecales en el agua del río Lerma, como indicadores de la calidad del agua, en los meses de junio y septiembre, son superiores a los límites establecidos en las DOF,1997 OMS,1996, Declaratoria del río Lerma (DOF, 1996a), USEPA, 1997, DOF, 2004 y CEPIS, 2004, con relación al agua de consumo, uso doméstico, agrícola, industrial y vida acuática así como con los límites permisibles en aguas residuales.
- La calidad del agua de las ocho estaciones reportada para el 2005 puede ser considerada como agua residual de tipo doméstico.
- Se lograron identificar 12 géneros y 18 especies de los dos muestreos (junio y septiembre) de las ocho estaciones monitoreadas del río Lerma.
- Se lograron identificar, cuatro especies patógenas importantes y con potencial fatal al humano: *Escherichia coli*, *Vibrio fluvialis*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter agglomerans*.
- La presencia de la bacteria *Escherichia coli* en el agua puede traer serios problemas de salud a los pobladores de las ciudades aledañas al río Lerma, ya que ésta se presentó en las ocho estaciones del mes de junio y solo en siete de las ocho estaciones el mes de septiembre.
- Se lograron identificar bacterias patógenas oportunistas: del grupo de Bacterias no Enterobacterianas: *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus* sp. y *Acinetobacter lwoffii*. Del grupo Staphylococcus fue *Staphylococcus haemolyticus*. Del grupo Enterobacterianas: *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter agglomerans*, *Klebsiella oxytoca*, *Hafnia alvei* y *Aeromonas hydrophila*

- Se lograron identificar del grupo de las enterococos fecales del agua del río Lerma: *Enterococcus. faecium*, *E. avium*, *E. faecalis*, *E. durans/hirae* y *E. casseliflavus*.
- De acuerdo con el cociente CF/EF, la fuente de contaminación más importante en los ocho sitios de estudio es de origen humana en ambos muestreos.
- La estación de Lerma, Atlacomulco, Tziritzicuaro, exceden los límites establecidos para riego agrícola (DOF, 1996a); para la estación Inchamacuaro, La Calle y Pueblo Nuevo, así como de la estación Yurécuaro e Ibarra, exceden los límites correspondientes a fuentes de abastecimiento de agua potable en ambos muestreos, por lo cual las condiciones desde el punto de vista bacteriológico indican que la calidad del agua para estos usos no sería el adecuado.
- Con base en los resultados del análisis es posible inferir que la calidad del agua del río Lerma en junio y septiembre, en las estaciones de Lerma, Atlacomulco, Pueblo Nuevo y La Calle presentan condiciones físicas y químicas no adecuadas, ya que no cumplen con la mayoría de las normas en el nivel nacional e internacional, por lo que no es recomendable el uso del agua en esos sitios para actividades relacionadas con la agricultura, actividades recreativa y sería muy riesgoso destinarlas para consumo humano.
- La calidad del agua de las ocho estaciones localizadas a lo largo del río Lerma, presentan entre sí alta variabilidad, por las condiciones particulares que albergan: vegetación, uso de suelo, actividades antropogénicas (domésticas, agrícolas e industriales).
- La tendencia de las variables bacteriológicas CT y CF en el 2003, con respecto a las reportadas en el 2005, indican un aumento importante en las concentraciones y que de manera general el río Lerma se ve alterado en cuanto a la calidad de agua, lo que probablemente se le atribuiría al excesivo aprovechamiento de los recursos hídricos, a la entrada de drenajes sanitarios

directos al cauce del río, así como por el mal tratamiento del agua residual de los poblados e industrias.

- De acuerdo con los datos de la Red de Monitoreo del agua del 2003 la tendencia de las variables físicas y químicas fue de menor a mayor concentración en relación con el pH, temperatura, conductividad eléctrica, fósforo total, nitrógeno total y carbono orgánico total aumentaron en el 2005. Con excepción del oxígeno disuelto, dureza total y sólidos disueltos totales que presentaron una disminución importante del 2003 al 2005 en los meses de junio y septiembre.

## 8. Referencias

- Abbott, L. S. 2003. *Klebsiella, Enterobacter, Citrobacter, Serratia, Plesiomonas, and other Enterobacteriaceae*. En: Murria, R. P., Baron, J. E., Pfaller, A. M., Jorgensen, H. J., y Yolken, H. R. Ed. *Manual of Clinical Microbiology*. 8a ed. Washington, DC: 684-693.
- Abel, P. D. 1996. *Water Pollution Biology*. 2a Ed. Ciudad de México; 286.
- American Public Health Association (APHA). 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20<sup>th</sup> Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington DC: 1200.
- American Public Health Association (APHA). 2003. *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater* 21<sup>st</sup> Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC: 1200
- Andrade, V., y Silva, J. 2004. *Caracterización de Klebsiella pneumoniae productora de la b-lactamasa SHV-5, en una unidad de cuidados intensivos*. Salud Pública de México. México D.F. 46: 524-528.
- Aparicio, J. 2001. *Hydrology of the Lerma-Chapala Watershed*. En: Hansen A. M., y Van Afferden Eds. *The Lerma-Chapala Watersheds Evaluation and Management*. Kluwer Academic/ Plenum, New York: 235-320.
- Aurazo, Z. M. 2005. *Aspectos biológicos de la calidad del agua*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) Lima, Perú: 45.
- Baron, J. S., LeRoy, N. P., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Hairston, N.G., Jackson, R. B., Johnston, C. A., Richter B.D., y Steinman, A. D. 2003. *Ecosistemas de agua dulce sustentables. Tópicos en Ecología*. Ecological Society of América: 10-8.
- Baker, J.F. Breach, R.M; Leighton, I. y Taylor, P. 1990. *Manual de Técnicas de Microbiología Médica*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España: 123-325.

- Bitton, G. Ph. D. 2005. *Microbial indicators of fecal contamination: Application to microbial source tracking*. Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida. Gainesville, FL: 71.
- Boehm, S. B., Durán, J. M. J., Sánchez, M. R. y Torres., A. R. (Coordinadores). 2002 *Los Estudios del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago* Centro Universitario Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad de Guadalajara-El Colegio de Michoacán. Guadalajara, Jalisco: 675.
- Camacho, C. A. 1999. *Análisis del impacto de las descargas de aguas residuales de un centro industrial en la calidad del agua del Río Lerma*. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México: 120.
- Campos, P. C. 2005. *Indicadores de contaminación fecal en el agua*. En: Agua potable para comunidades rurales y tratamientos avanzados de aguas residuales domesticas. RIPDA, Ciudad de México, CYTED CYRA-UAEM. Capitulo 20.: 225-229.
- Carabias, J., Landa, L., Collado, J., y Martínez, P. 2006. *Agua, medio ambiente y sociedad*. 2005. El Colegio de México-Universidad Nacional Autónoma de México, México. México D.F.: 214.
- Carvajal, V. 2005. *Indicadores de contaminación fecal en aguas*. Ecología y medio ambiente. Mundi-Prensa. Zaragoza, España: 1-6.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2002. *Guías para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Lima, Perú: 353. <http://www.cepis.ops-oms.org>.
- Centro Virtual de Información del Agua (CEVIA). 2005 “*En México tenemos grandes e importantes ríos*”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: 2.
- Chapman, D., y Kimstach, V., 1996. Selection of water quality variables, in water quality assessments. En: *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* UNESCO, WHO, UNEP and E & FN SPON. Universidad de Cambridge Gran Bretaña: 59-126.
- Collins, H.C y Lynne, M.P. 1989. *Métodos microbiológicos*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España.: 301-469.

- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. *Calidad del agua del río Lerma conforme a parámetros fisicoquímicos y biológicos 1990-2001*. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Semarnat. México D.F.: 1-6.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2004a. Situación de los Recursos Hídricos. Estadísticas del Agua en México 2005, México, D.F.: 21-44.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2004b. *Tratamiento y calidad del agua*. En: Informe Anual Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), México D.F.: 29-35.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2005. Saneamiento, Calidad del Agua y Aspectos de Salud. Estadísticas del Agua en México 2005, México, D.F.:16.
- Cortés, L, M. C., 2003. *Importancia de los coliformes fecales como indicadores de la contaminación en la franja litoral de Bahía de Banderas Jalisco-Nayarit*. Revista Biomédicas 14(2): 121-123.
- De Esparza, C. M. L. 1995. Parámetros físicos, cargas orgánicas y nutrientes. *En Programa de control de calidad y desarrollo de laboratorios*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) Lima, Perú: 71.
- De León-Mojarro, B., Medina-Mendoza, R, y González-Casillas, A. 2001. Natural Resources Management in The Lerma-Chapala Basin. En: Hansen A. M., y Van Afferden. Eds. *The Lerma-Chapala Watershed Evaluation and Management*. Kluwer Academia/ Plenum Publisher, New York: 59-91.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1989. Criterios Ecológicos, CE-CCA-001/89. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua: Diario Oficial de la Federación México, D.F.: 13.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1996a. Declaratoria de clasificación del Río Lerma. Establece su capacidad de asimilación y dilución, las metas de calidad del agua, los plazos para alcanzarlas y los parámetros que deberán considerarse para el cumplimiento de las descargas de las aguas residuales. Diario Oficial de la Federación (1 de Abril). Comisión Nacional del Agua: 18.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1996b. 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. México, D.F: 8.



- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1997. Norma Oficial Mexicana, NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminación para las aguas residuales tratadas y que se reúsen en servicio al público. México, D.F.: 7.
- DOF, 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales que se rehúsen en servicios al público. 21 septiembre, 1998: 17-24.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2000. Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-2000. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, D.F.: 73-79.
- DOF, 2004. Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. 1° diciembre, 2004: 183-190
- Diaz, D. C., Esteller. A. M. V., y López, V. M. 2005. *Recursos hídricos: conceptos básicos y estudios de casos en Ibero América*. Ilustraciones, figuras, cuadros y gráficos. Ediciones/ CIRA-UAEM, Toluca, México: 747.
- Esparza, H. L. D., 1997. *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del Río Santiago de Ocotlán, JAL., a Santiago Ixcuintla, Nay., en el periodo de 1992 a 1994*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM México D.F.: 90.
- Farmer III, J. J., Janda, M., y Birkhead, K. 2003. Vibrio. En: Murria, R. P., Baron, J. E., Pfaller, A. M., Jorgensen, H. J., y Yolken, H. R. 2003. *Manual of Clinical Microbiology*. 8a ed. Washington, DC: 706-715.
- García, M. M. 2000. *Estudio preliminar de los niveles de contaminación del agua del Río Verde en el Estado de San Luís Potosí*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luís Potosí (UASLP), México: 125.
- Gerba, C. P. 2000. Indicator Microorganisms. En: Maier R. M., Pepper I. L y Gerba C. P. (Eds): *Environmental Microbiology*. Academia Press. San Diego California: 491-503.
- Granato, A. P. 2003. Pathogenic and indigenous microorganisms of human. En: Murria, R. P., Baron, J. E., Pfaller, A. M., Jorgensen, H. J., y Yolken, H. R. (Eds). *Manual of Clinical Microbiology*. 8a ed. Washington, DC: 44-54.

- Gray, D. L. 2003. *Escherichia, Salmonella, Shigella y Yersina*. En: Murria, R. P., Baron, J. E., Pfaller, a. M., Jorgensen, H. J., y Yolken, H. R. 2003. *Manual of Clinical Microbiology*. 8a ed. Washington, DC: 450-457.
- HACH. 2002. *Water Analysis Handbook*. 4a. Ed. HACH COMPANY. Loveland, Colorado: 1260.
- Hansen, A. M., León, Z. A., y Bravo, I. L. 1995. Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. En: *Preservación y mejoramiento de la calida del agua en el río Lerma*. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F: 101.
- Hansen, A. M., y van Afferden, M. 2001a. Toxic substances sources, accumulation and dynamics. En: Hansen A. M., y van Afferden M. *The Lerma-Chapala Watershed*. Ed. Kluwer Academic/ Plenum Publishers. Nueva York: 95-124.
- Hansen, A. M., y van Afferden M. 2001b. *The Lerma-Chapala Watershed Evaluation and Management*. Ed. Kluwer Academic/ Plenum Publishers. Nueva York: 385.
- Hynes, H. B. N. 1979. *The Ecology of Running Waters*. 4ª Ed. Liverpool University Press. Londres, Gran Bretaña 4a ed.: 1-13.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 1999. *Censos Económicos Enumeración Integral. Parques, Ciudades y Corredores Industriales de México*. Página de Internet: [www.inegi.com.mx](http://www.inegi.com.mx)
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 2001. Síntesis Geográfica del Estado de México: 35-41.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1998. *Plan Maestro de la Cuenca Lerma-Chapala*. En: La Cuenca: problemática Regional, Temas Ambientales, Consejos de Cuenca, Manejo y Gestión Integral. (Reseña de textos). Coordinación de Tecnología de comunicación participación e Información, Subcoordinación de Participación Social. Agencia de publicaciones y medios, S.A. de C.V. Jiutepec, Morelos, México.: 155.
- Koneman, E. W., Allen, S. D., Janda, W. M., Schreckenberger, P.C. y Winn, W. C. 2003. Diagnóstico Microbiológico (texto y atlas a color). Edit. Panamericana 5a Ed. México D.F.: 1431.

- Lampert, W., y Sommer, U. 1997. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford University Press. New York: 382.
- Lewis, W. MJr. 1996. Tropical lakes: How latitude make a difference. En: Schimer, F., y Boland, K. T. En: *Perspectives in Tropical Limnology*. SPB Academia Publishing Amsterdam, Holanda: 43-64.
- Martins T. L., y Facklam, R. R., 2003. Enterococcus. En: Murray P.T., R. P., Baron, J. E., Pfaller, A. M., Jorgensen, H. J., y Tenover, H. C. (Eds). *Manual of Clinical Microbiology*. 8a ed. Washington,: 422-433.
- Mason, C. F., 1984. *Biología de la contaminación del agua dulce*, Editorial Alhambra Mexicana, S.A. México, D.F.: 15-26.
- Mazari-Hiriart, M. 2005. El agua como recurso. En: Mazari-Hiriart. M., Jiménez, C. B y López-Vidal. Y: *El Agua y su impacto en la Salud Publica*. Programa Agua, Media Ambiente y Sociedad. El Colegio de México, Universidad Nacional Autónoma de México. 4: 7-12.
- Meybeck, M. y Helmer, R. 1996. Introducción a la calidad del agua. En: *Water Quality Assessments A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2a ed. UNESCO/WHO/UNEP: 21.
- Millipore, Corporation. 2000. *Water Microbiology Laboratory and Field Procedures*. Millipore S.A. de C.V. México D.F.: 33.
- Moreno, M. G., 2000. *Preservación y mejoramiento de la calidad del agua en el río Lerma*. Tesis de licenciatura (Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.: 101.
- Naiman, J. R., y Bilby, E. R. 2001. *River Ecology and Management*. Ed. Springer-Verlang. Nueva York: 15-345.
- Novotny V. y Harvey, O. 1994. *Water quality prevention, identification and management of diffuse pollution*. Editorial Van Nostrand Reinhold. Nueva York.: 1-15.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1996. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2a ed., Universidad de Cambridge, Gran Bretaña: 651.
- OMS. 2004. *Guidelines for Drinking-water Quality Recommendations*. 3a ed. Geneva, Switzerland. 1: 540.

- Pérez, O, G. 2005. Diagnóstico ambiental para la restauración de la Ciénegas del Lerma. Tesis de Maestría (Biología Ambiental). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.: 89.
- Pesson, P. 1979. La contaminación de las aguas continentales. En *Preservación y mejoramiento de la calidad del agua en el río Lerma*. Tesis de licenciatura (Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.: 101.
- Pitt, R., Lalor, M., y Easton, J. 2001. *Potential Human Health Effects Associated with Pathogens in Urban Wet Weather Flows*. Departamento ambiental e ingeniería civil. Universidad de Alabama, Tuscaloosa, Alabama.: 4-23.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2004. *GEO. Year Book 2003*. Nairobi: 25-34.
- Red de Investigaciones del Agua (REDAGUA). 2004a. Calidad del agua y el impacto ambiental en la en la región Lerma-Santiago-Pacífico. En: *Recurso hidráulico en la región Lerma-Chapala-Santiago*. IMTA México D.F.: 22.
- Red de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA). 2002. El agua. En: *Informe de la situación general del medio ambiente en México*. SEMARNAT. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. México D.F.
- Sardiñas, P. O y Pérez, C. A. 2005. *Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato*. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología Habana, Cuba: 42. 9:1-6.
- Scott A. C., Silva, O. P., Florencio, C. V., y Wester, P. 2001. Competition for water in the Lerma-Chapala basin: *Economic and policy implications of water transfer from agricultural to urban uses*. En: Hansen A. M., y van Afferden M. Eds. *The Lerma-Chapala Watershed Evaluation and Management*. Ed. Kluwer Academic/Plenum: 291-322.
- Seóanez, C. M. 1999. *Aguas residuales, tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos Científicos, tecnología y diseño*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España: 23-73.

- Shiklomanov, I. A., y Rodda, J. 2003. World water resources at the beginning of the century. En: *Agua, Medio Ambiente y Sociedad*. 2005. El Colegio de México-Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.: 214.
- Suárez P. M., 2002. *Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal*. Revista Cubana Higiene y Epidemiológica Habana, Cuba: 40(1): 38-43.
- Tallon, P., Magajna, B., Lofranco, C., y Leunng, T. K. 2005. Microbial Indicators of Faecal Contamination in Water: A Current Perspective. *Journal Water, Air, and Soil Pollution* 166: 139-166.
- Tchonbanoglous, G. y Schroeder, D. E. 1987. *Water quality. Characteristics modelling modification*. Ed. McGraw-Hill.: 920.
- Teixeira, M. L., y Facklam, R. 2003. Enterococcus. En: Murria, R. P., Baron, J. E., Pfaller, a. M., Jorgensen, H. J., y Yolken, H. R. (Eds). *Manual of Clinical Microbiology*. 8a ed. Washington, DC: 422-432.
- Toranzos, G. A. 1991. Current and possible alternate indicators of fecal contamination in tropical waters: a short review. *Environ. Toxicol. Water. Quality* 6: 121-130.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1997. Monitoring Water Quality. En: *Watershed Protection*. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds Volunteer Monitoring. United States Environmental Protection Agency. Washington, DC: 227.
- Welch, B. E., Jacoby, M. J., y May, W. C. 2001. Stream quality. En: *River Ecology and Management*. Naiman J. R y Bilby, E. R. Editorial Springer-Verlag. Nueva York: 69-94.
- Wetzel, G. R. 2001. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona, España: 679.

**Anexo I.** Descripción de los 22 tramos para el río Lerma (DOF, 1996).

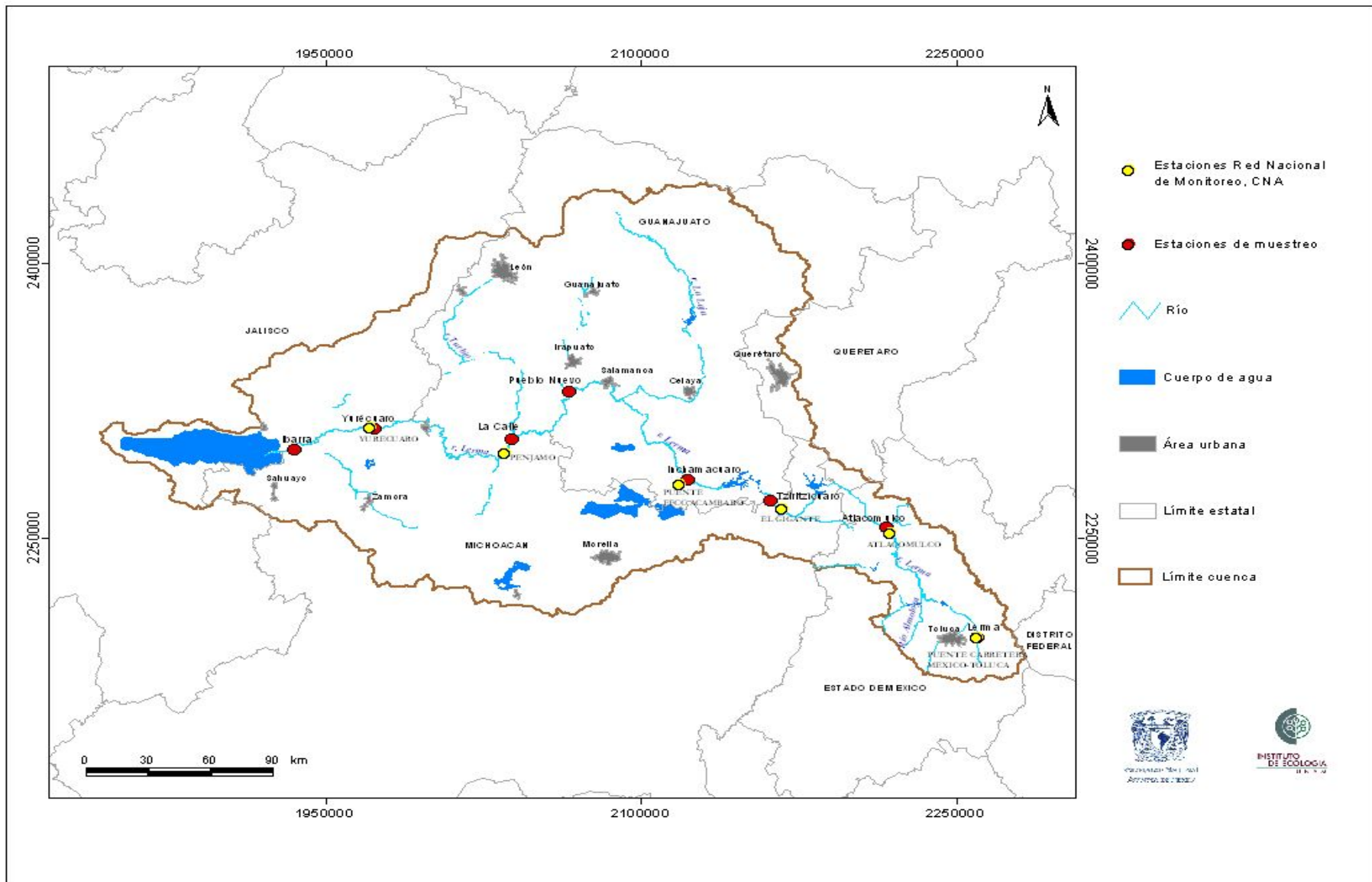
TRAMO N°.	INICIO SITIO	ESTADO	Dist. km	FINAL SITIO	ESTADO	Dist. km	Long. tramo km	Uso
1	Laguna de Almoloya	México	0.0	Inicio de la presa Antonio Alzate	México	33	33	Agrícola
2	Inicio de la presa Antonio Alzate	México	33	Cortina de la presa Antonio Alzate	México	47	14	Agrícola
3	Cortina de la presa Antonio Alzate	México	47	Puente Atlacomulco	México	128	81	Agrícola
4	Puente Atlacomulco	México	128	Temascalcingo	México	165	37	Agrícola
5	Temascalcingo	México	165	Puente DIF Solís	México	176	11	Agrícola
6	Puente DIF Solís	México	176	Inicia presa Tepuxtepec	Michoacán	201	25	Agrícola
7	Inicio de la presa Tepuxtepec	Michoacán	201	Cortina de la presa Tepuxtepec	Michoacán	218	17	Agrícola
8	Cortina de la presa Tepuxtepec	Michoacán	218	Confluencia con el río Tlalpujahua	Michoacán	238	20	Agrícola
9	Confluencia con el río Tlalpujahua	Michoacán	238	Inicia presa Solís	Guanajuato	270	32	Agrícola
10	Inicio de la presa Solís	Guanajuato	270	Cortina de la presa Solís	Guanajuato	310	40	Doméstico
11	Cortina de la presa Solís	Guanajuato	310	Canal Ing. Antonio Coria	Guanajuato	380	70	Doméstico
12	Canal Ing. Antonio Coria	Guanajuato	380	Confluencia con el río Laja	Guanajuato	434	54	Doméstico
13	Confluencia con el río Laja	Guanajuato	434	Aguas arriba de la ciudad de Salamanca	Guanajuato	438	4	Doméstico
17	Pastor Ortiz	Guanajuato Michoacán	528	Confluencia con el río Turbio	Guanajuato Michoacán	534	6	Doméstico
18	Confluencia con el río Turbio	Guanajuato Michoacán	534	Aguas arriba de la Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	620	86	Doméstico
19	Aguas arriba de la Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	620	La Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	639	19	Doméstico
20	La Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	639	Aguas abajo de la Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	640	1	Doméstico
21	Aguas abajo de la Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	640	El Salto	Guanajuato Michoacán	657	17	Doméstico
22	El Salto	Guanajuato Michoacán	657	Desembocadura en el Lago de Chapala	Jalisco Michoacán	754	97	Doméstico

## Anexo II

### CALIDAD DEL AGUA DEL RIO LERMA, CONFORME A LOS PARAMETROS FISICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1990-2001.

(Promedio anual)													
Parámetro	Unidad	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/L	nd	0.39	0.59	1.30	3.34	nd	nd	1.35	18.45	0.75	nd	nd
Coliformes fecales	NMP/100 mL	nd	2 000	4 700	2 800	4.3 E4	nd	1.31 E4	6.8 E4	1.38 E6	1 000	4 017	4 076
DBO (20°C,5d)	mg O <sub>2</sub> /L	13.5	2.9	15.3	16.1	9.58	nd	17	12	92.33	11.0	30.0	7.31
DQO (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	nd	35.0	63.3	63.3	39.0	nd	nd	nd	134	58.0	63.5	44.4
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	0.44	0.55	1.17	1.70	0.49	nd	0.78	0.3	0.82	0.26	0.55	1.27
Ortofosfatos	mg/L	nd	0.39	nd	0.55	1.65	nd	nd	2.6	5.63	2.83	2.83	1.01
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	2.40	4.35	3.17	3.97	5.70	nd	5.76	3.52	0.7	6.6	2.21	6.04
Sólidos disueltos	mg/L	nd	nd	nd	nd	223	nd	487	482	634	7	500.67	418.43
Sólidos suspendidos	mg/L	nd	nd	nd	304.0	380.0	nd	40.3	189	253	8.22	40.0	63.6
pH (en laboratorio)	unidades de pH	7.80	8.00	8.00	7.20	7.40	7.70	7.60	8.00	8.10	8.20	7.50	7.70
Conductividad específica	µmhos/cm	817	275	547	351	620	634	630	669	827	620	435	562
Temperatura	°C	20.3	21.0	22.5	23.5	23.8	24.0	23.5	24.1	24.6	25.0	22.3	23.0
<sup>1</sup> Estación de medición: Puente Briseñas, Jalisco (20° 17' 30" lat. N; 102° 32' 00" long. O); La Palmita Maltaraña, Jalisco (102° 40' 60" long. O; 20° 13' 00" lat. N).													
NMP: Número más probable.													
E: Notación exponencial. Por ejemplo, 1.1 E 4 = 11 000.													
nd: No disponible.													
Nota: Las fluctuaciones en las condiciones hidrometeorológicas en las distintas regiones del país, combinadas con las acciones de la CNA en materia de control de descargas de aguas residuales en distintos cuerpos de agua, explican en buena medida las variaciones que se observan en las concentraciones de ciertas sustancias presentes en ellos.													
Los datos reflejan solamente la calidad del agua en el sitio del río donde se localiza la estación de medición de la CNA. La estación de la que provienen los datos de 1990 a 1999 -Puente Briseñas- dejó de operar en el 2000; los datos de 2000 y 2001 proceden de otra estación (La Palmita), de la cual se seguirá reportando en adelante.													
<b>Fuente:</b> Semarnat, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 2002.													

### Anexo III. Localización de las estaciones de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua del 2003





#### Anexo IV

Descripción de la cercanía de las estaciones de la RNMA con respecto a las estaciones muestreadas en el 2005 a lo largo del cauce del río Lerma.

<b>Estaciones del muestreo 2005</b>	<b>Estaciones de la RNMA 2003</b>	<b>Descripción (Distancia)</b>
Lerma, Edo de México	Puente Carretera México-Toluca	30m. Después de la estación muestreada en el 2005
Atlacomulco, Edo de México	Atlacomulco, Edo de México	9.2 Km. Antes de la estación muestreada en el 2005
Tziritzícuaro, Michoacán	El Gigante, Michoacán	7.3 Km. Antes de la estación muestreada en el 2005
Inchamácuaro, Guanajuato	Puente FFCC Acambaro, Guanajuato	1.25 Km. Antes de la estación muestreada en el 2005
La Calle, Guanajuato	Pénjamo, Guanajuato	14 Km. Después de la estación muestreada en el 2005
Pueblo Nuevo, Guanajuato	***	***
Yurécuaro, Michoacán	Yurécuaro, Michoacán	2.6 Km. Después de la estación muestreada en el 2005
Ibarra, Jalisco	***	***

\*\*\*: No reporta la Red Nacional de Monitoreo del Agua, estaciones en las cercanías de las estaciones muestreadas en el 2005, en el cauce del río Lerma.