

71



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
FACULTAD DE INGENIERIA**

**"PRESERVACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO LERMA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

GUADALUPE MORENO MARTINEZ

ASESOR: M.I. FRANCISCA SOLER ANGUIANO

MEXICO. D. F.

2000

201433



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTTT/177/98

Señorita
GUADALUPE MORENO MARTINEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora M.I. FRANCISCA SOLER ANGUIANO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

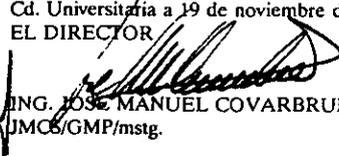
"PRESERVACION Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO LERMA"

- I. INTRODUCCION
- II. ANTECEDENTES GENERALES
- III. APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS DEL RIO LERMA
- IV. LEGISLACION NACIONAL PARA LA PROTECCION DE LA CALIDAD DEL AGUA
- V. DATOS BASICOS PARA EL ESTUDIO
- VI. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 19 de noviembre de 1998
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARBRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP/mstg.

D e d i c a t o r i a

Con mucho cariño, respeto y admiración a mis padres Sr. Guadalupe Moreno Flores y Sra. Josefina Martínez Escalona.

A g r a d e c i m i e n t o

Estoy especialmente agradecido con la M.I. Francisca Soler Anguiano, ya que ha ella se debe en primer lugar que este trabajo haya llegado a buen término, pues sus estímulos, consejos y apoyo técnico lo hizo materialmente posible.

También quiero agradecer de manera afectuosa al M.I. Rafael López Ruiz por su apoyo técnico y bibliográfico que fue fundamental en este logro.

Agradezco a la Gerencia de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento de CNA, y en especial al Ingeniero Antonio Leal López por las facilidades que me dieron para la realización de este trabajo.

PRESERVACION Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO LERMA

INDICE

INTRODUCCION	1
1.- ANTECEDENTES GENERALES.	
1.1 Cuencas hidrológicas de la República Mexicana	3
1.2 Estado actual de la contaminación de las cuencas.	3
1.3 Efectos de la contaminación en la subcuenca Lerma-Chapala	9
1.4 Descripción de la subcuenca.	10
1.4.1 Geología, suelos, climatología y zonas forestales.	10
1.4.2 División Política y Población.	14
1.4.3 Longitud del recorrido del río y su división en tramos.	15
2.- APROVECHAMIENTOS DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS DEL RIO LERMA	
2.1 Estudio hidrológico	20
2.1.1 Estaciones de monitoreo y aforo	20
2.1.2 Medición del gasto	25
2.1.3 Volúmenes escurridos.	28
2.1.4 Gastos mínimos	30
2.2 Usos y aprovechamientos.	31
2.2.1 Riego agrícola	31
2.2.2 Abastecimiento de agua potable	34
2.2.3 Otros usos.	35
3.- LEGISLACION NACIONAL PARA LA PROTECCION DE LA CALIDAD DEL AGUA.	
3.1 DECLARATORIA DE CLASIFICACIÓN DEL RÍO LERMA QUE ESTABLECE SU CAPACIDAD DE ASIMILACION Y DILUCIÓN, LAS METAS DE CALIDAD DEL AGUA, LOS PLAZOS PARA ALCANZARLAS Y LOS PARAMETROS QUE DEBERAN CONSIDERARSE PARA CUMPLIMIENTO DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES	36
3.2 Norma: NOM-001-ECOL-1996.	41
3.3 Norma: NOM-002-ECOL-1996.	43
3.4 Proyecto de NOM-003-ECOL, NOM-004-ECOL, NOM-005-ECOL	44
3.5 Ley General de Salud.	47
4.- DATOS BASICOS PARA EL ESTUDIO.	
4.1 Capacidad de asimilación y dilución del río Lerma	48
4.2 Determinación de los parámetros de calidad del agua en el río Lerma	49
4.2.1 Parámetros primarios	50
4.2.2 Parámetros secundarios	51
4.3 Selección de las estaciones de muestreo	52
4.3.1 Identificación de las fuentes de contaminación	52
4.3.2 Localización y acondicionamiento de los sitios de muestreo	53
4.4 Muestreo y análisis	53
4.4.1 Período de muestreo	53
4.4.2 Recopilación de los análisis obtenidos en el laboratorio	54
4.5 Identificación de las plantas de tratamiento de aguas residuales y sus gastos	60
4.5.1 Plantas actuales operando	61
4.5.2 Plantas en proceso de construcción	70
4.5.3 Plantas en proyecto	70

5.- PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION	
5.1 Cuantificación y evaluación de la calidad del agua en río Lerma	72
5.2 Diferentes usos del agua de acuerdo a su calidad	75
5.3 Índice de Calidad del Agua (ICA)	75
5.3.1 Técnica multiplicativa	76
5.3.2 Técnica aritmética	76
5.4 Cálculo del ICA, antes de la descarga del río Lerma en el Lago de Chapala.	78
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 Tratamiento actual	88
6.2 Tratamiento requerido	89

INTRODUCCION

La contaminación y la escasa disponibilidad del agua han originado, en la población de la mayor parte del mundo, serios problemas de la salud que limitan el creciente desarrollo económico y agrícola, ocasionando alteraciones en los ecosistemas. Estos fenómenos están asociados, principalmente, a la inadecuada distribución del agua, a la dispendiosa utilización del recurso y a la falta de medidas para el ordenamiento y cuidado del mismo.

De continuar estas tendencias, en el futuro podrían presentarse crisis del agua a niveles regional o local que afectarían la estabilidad social, especialmente de las regiones de mayor escasez.

En México, a través de la Comisión Nacional del Agua, se ha emprendido una reforma del sector hidráulico que contempla, entre otras medidas, la creación y el desarrollo de Consejos, Comisiones y Comités de Cuenca en las principales cuencas y subcuencas del país, en donde autoridades federales, estatales y municipales, así como representantes de los diversos usuarios del agua, coordinan acciones y concertan objetivos y planes para dar solución a los problemas asociados al aprovechamiento y uso del recurso.

La misión de los Consejos de Cuenca es contribuir a la mejor administración del agua; al desarrollo de la infraestructura hidráulica y a la preservación de las cuencas. Todo ello, con la imprescindible participación de la sociedad.

El Consejo de Cuenca Lerma-Chapala-Pacífico con sede en Guadalajara Jalisco, es donde queda comprendido el río Lerma. Localizado en la Región Hidrológica N.12, en la subcuenca Lerma-Chapala, en la parte central de México.

La subcuenca Lerma-Chapala, importante región en el desarrollo del país, es la zona de más alta prioridad en materia de regulación de los aprovechamientos hidráulicos y control de la contaminación del agua. Actualmente, los polos de desarrollo urbano, agrícola e industrial de la región han provocado serios conflictos en el uso del agua y han limitado por razones de calidad, la disponibilidad del recurso hidráulico. Por todo ello el 13 de abril de 1989 se firmó un Acuerdo de Coordinación entre el ejecutivo federal y los ejecutivos de los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán y Querétaro, para llevar a cabo un **Programa de Ordenamiento de los Aprovechamientos Hidráulicos y Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chapala.**

Este Programa deberá orientarse en sus primeras etapas al tratamiento de aguas residuales de las localidades urbanas, en especial las de mayor de 20,000 habitantes y de aquellas localidades que aún cuando sean de menor tamaño descargen sus aguas residuales directamente al río Lerma o al Lago de Chapala.

El presente trabajo cuenta con seis capítulos.

Capítulo 1 “Antecedentes Generales”

En este capítulo se menciona la distribución de las cuencas hidrológicas en la República Mexicana y su estado actual de contaminación; también la ubicación geográfica de la cuenca del río Lerma describiendo el recorrido de la corriente principal, los estados que atraviesa hasta desembocar en el Lago de Chapala.

Capítulo 2 “Aprovechamientos de los recursos hidráulicos del río Lerma”

Se expone el balance hidrológico de la cuenca, observando que la mayor parte del escurrimiento se destina al riego. La política de la distribución y aprovechamiento de este recurso, debe garantizar volúmenes mínimos de entrada al Lago de Chapala (1500 Mm³ anuales) para la preservación de dicho cuerpo.

Capítulo 3 “Legislación nacional para la protección de la calidad del agua”

Este capítulo está integrados especialmente por la Declaratoria de Clasificación del Río Lerma, NOM-01-ECOL; 02, 03 y la Ley General de Salud, enfocados a la conservación de los cuerpos de agua en especial a los que reciben descargas de aguas residuales.

Capítulo 4 “Datos Básicos para el estudio”

Se forma principalmente por el registro del monitoreo de los parámetros de calidad del agua en el periodo 1991-1998, en el cauce principal del río. De los cuales se ordenan estadísticamente agrupando en semestres de lluvia y estiaje, agregando un trimestre de estiaje (febrero, marzo y abril)

Capítulo 5 “Procesamiento y análisis de la información”

Tomando como base las estaciones ubicadas en el río Lerma desde aguas arriba hacia aguas abajo, se grafican las tendencias anuales por parámetro, en época de estiaje y de esa manera conocer su comportamiento a lo largo del río. Así mismo, se calculará el ICA (Índice de Calidad del Agua) antes de la descarga del río Lerma en el Lago de Chapala, para evaluar la calidad del agua en el periodo en estudio.

Capítulo 6 “Conclusiones y recomendaciones.”

Se da una opinión del tratamiento actual de las descargas de aguas residuales, y se recomienda los criterios a seguir, para la autodepuración de la corriente del río Lerma de acuerdo a las metas programadas oficialmente; en virtud de que el Lago de Chapala recibe las aguas del río Lerma, y tiene entre otros usos el de fuente de abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana de Guadalajara, que comprende los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá, con una población cercana a los cuatro millones de habitantes.

Capítulo I

Antecedentes Generales.

1.1. Cuencas Hidrológicas de la República Mexicana.

México, con una extensión cercana a los dos millones de kilómetros cuadrados que hoy aloja a cerca de 100 millones de habitantes, recibe una precipitación pluvial promedio anual cercana a 777 mm., la cual se traduce en un volumen de 1640 km³ de agua. De este volumen, 27% (alrededor de 450 km³) escurre por corrientes superficiales en más de 300 cuencas hidrológicas (cabe señalar que pocos países disponen de tantas cuencas) distribuidas en 37 regiones hidrológicas que conforman el territorio nacional (figura 1.1).

Los escurrimientos de los ríos, al igual que la lluvia, se distribuyen irregularmente en el territorio nacional, lo que determina escasez o abundancia con problemas de sequía o inundaciones. Es más complejo el panorama por la distribución en el territorio nacional de centros de población, polos de desarrollo industrial y áreas de infraestructuras para riego. Por ejemplo, la cuarta parte de la población está asentada por encima de los 2000msnm., en donde se dispone de el 4% del escurrimiento superficial. En cambio, por debajo de los 500 msnm., con una población similar a la anterior, se cuenta con un 50% del mismo. Esta situación es aún más severa si se considera la limitación del uso que se da incluso en regiones con disponibilidad de agua debido a su calidad.

Por estas características, en varias regiones del país ya se presentan problemas entre los diversos sectores que requieren el agua, puesto que todos necesitan disponer de ella en volumen y calidad adecuados para el desarrollo.

Por otro lado, las zonas donde se concentra la mayoría de la población y las actividades industriales, no se disponen de suficientes fuentes de abastecimiento. En paralelo, se registra una excesiva sobreexplotación de los acuíferos y la creciente contaminación del recurso, esto ocurre en el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, ciudad Netzahualcóyotl, Puebla, Tijuana y ciudad Juárez, por citar algunos casos.

1.2. Estado Actual de la Contaminación de las Cuencas.

Las necesidades de agua de la población, en cuanto a consumo, así como el interés en la preservación de los recursos hidráulicos nacionales, llevo al establecimiento en 1974 de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, para establecer una medición continua y sistemática en los principales cuerpos de agua. Sirve para evaluar la calidad de los cuerpos de agua del país, como soporte para la realización de estudios especiales de calidad del agua y de impacto ambiental y, por último, para definir las políticas de saneamiento.

FIGURA + 1.1 +



Figura 1.1 (continuación)

Regiones Hidrológicas

- 1.- Baja California Norte(Ensenada)
- 2.- Baja California centro oeste(el Vizcaino)
- 3.- Baja California sur oeste(Magdalená)
- 4.- Baja California noreste(laguna Salada)
- 5.- Baja California centro este(Santa Rosalía)
- 6.- Baja California sur este(la Paz)
- 7.- Río Colorado
- 8.- Sonora norte
- 9.- Sonora sur
- 10.-Sinaloa
- 11.-Presidio-San Pedro
- 12.-Lerma-Santiago
- 13.-Huicicila
- 14.-Ameca
- 15.-Costa de Jalisco
- 16.-Armeria-Coahuayana
- 17.-Costa de Michoacán
- 18.-Balsas
- 19.-Costa Grande
- 20.-Costa Chica-Río Verde
- 21.-Costa de Oaxaca(Puerto Angel)
- 22.-Tehuantepec
- 23.-Costa de Chiapas
- 24.-Bravo
- 25.-San Fernando-Soto la Marina
- 26.-Pánuco
- 27.-Tuxpan-Nautla
- 28.-Papaloapan
- 29.-Coatzacoalcos
- 30.-Grijalva-Usumacinta
- 31.-Yucatán oeste(Campeche)
- 32.-Yucatán norte(Yucatán)
- 33.-Yucatán este(Quintana Roo)
- 34.-Cuencas cerradas del norte(Casas Grandes)
- 35.-Mapimi
- 36.-Nazas-Aguanaval
- 37.-El Salado

Sobresalen por el aporte contaminante las ramas químicas y petrolera; de bebidas alcohólicas; las de papel y celulosa; la azucarera y de alimentos; la de textil y productos lácteos; las de curtiduría y pesca; la de siderúrgica y eléctrica. En el sector agropecuario la contaminación tiene su origen en los plaguicidas y fertilizantes utilizados en los cultivos. En cuanto a los centros urbanos, el Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey sobresalen por su aporte de aguas residuales municipales e industriales. Esto representa una tercera parte del total nacional, estimado oficialmente en 184 metros cúbicos por segundo.

Todas las proyecciones coinciden en que este volumen aumentara en los próximos años, al igual que las inversiones en obras para tratar de resolver el problema; que ello obligará a tratar a las aguas provenientes de la industria y los centros urbanos.

Pero no todas las cuencas hidrológicas del país presentan los mismos problemas. Así 31 de ellas reciben la inmensa mayoría de la materia orgánica que se produce en nuestro país. El diagnóstico oficial señala como las más afectadas por la contaminación que reciben de las actividades económicas y los centros urbanos, las de los ríos Lerma-Chapala, (motivo de este trabajo); la del Pánuco, al norte del Golfo de México y que recibe ahora considerables volúmenes de aguas negras del Valle de México; la del Balsas, que influye en los estados de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán y Guerrero; la del San Juan con influencia en los estados de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León; y la del Blanco en Veracruz, que forma parte del sistema hidráulico del río Papaloapan.

A las anteriores debe agregarse la cuenca del río Coatzacoalcos, donde depositan la industria petrolera y petroquímica, la de fertilizantes y otras más ubicadas en la zona baja de dicho río por lo que se trata del área más contaminada de México. En igual sentido cabe destacar el estado que guarda el río Bravo, que en cierta parte de su recorrido marca nuestra frontera con Estados Unidos. Reportes de ambos países señalan que sus aguas se encuentran gravemente deterioradas por los desechos industriales provenientes de las maquiladoras y otras factorías establecidas en ambos lados de la franja fronteriza, así como por los asentamientos humanos.

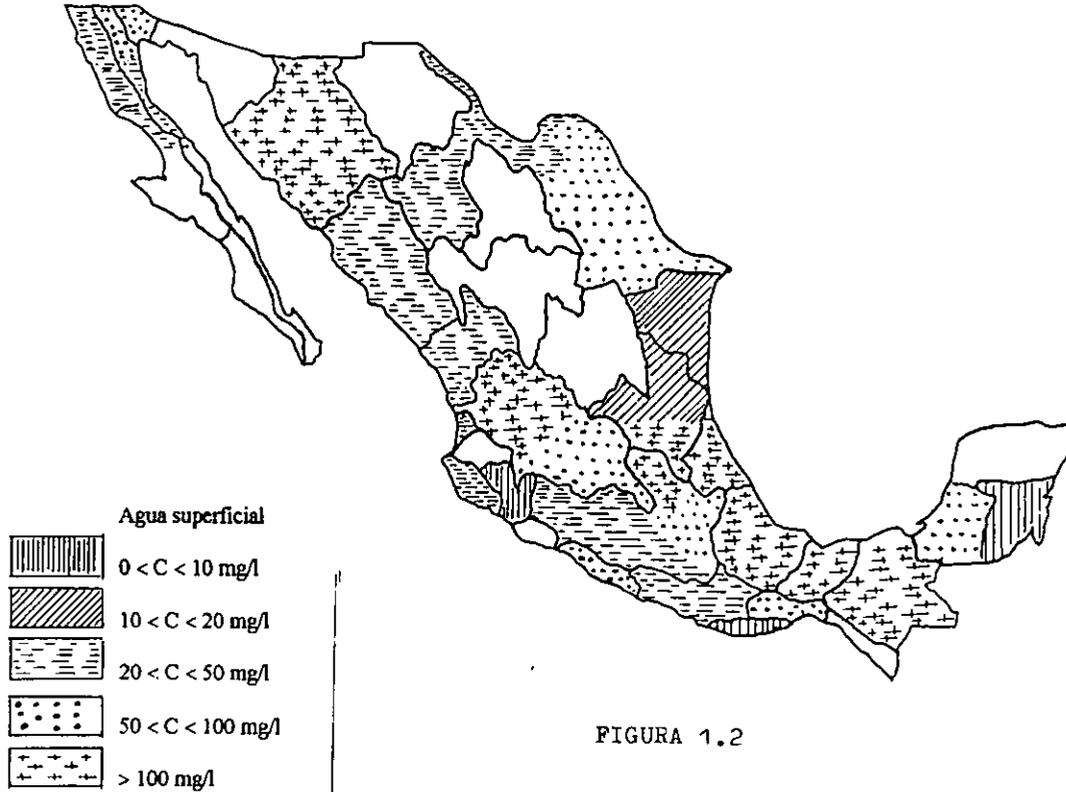
Con los datos de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se elaboran mapas sobre el estado de contaminación (figura 1.2), y mapas de calidad para definir usos (figura 1.3)

Actualmente, México está entrando de lleno a la integración económica internacional, proceso que incide particularmente en la agricultura tradicional en las zonas de temporal. Con la apertura de la economía nacional, la incorporación de tecnología avanzada en el medio rural es determinante, sin que por otra parte se introduzca a la misma velocidad tecnología para prevenir la contaminación del medio ambiente y el riesgo para la salud de los trabajadores. Los campesinos resienten con gran intensidad los efectos socioeconómicos de este proceso, uno de los cuales es la migración interna y externa. Así los campesinos que emigran son obligados a trabajar en condiciones insalubres y mal pagados.

Existen en México muy pocas plantas tratadoras de aguas negras; según CNA en 1977 solamente el 20% de las aguas negras generadas en el país reciben algún tipo de tratamiento.

Numerosos estudios demuestran el riesgo de transmisión de enfermedades (entre ellas las diarreicas), como consecuencia del uso de aguas negras para riego o al contacto con ellas de poblaciones periurbanas.

Red Nacional de Monitoreo
Comportamiento de la demanda química de oxígeno



Fuente: Estudio de disponibilidad de agua en México
, en función del uso, calidad y cantidad. Instituto de Ingeniería, UNAM, 1994

Red Nacional de Monitoreo
Comportamiento de la dureza total

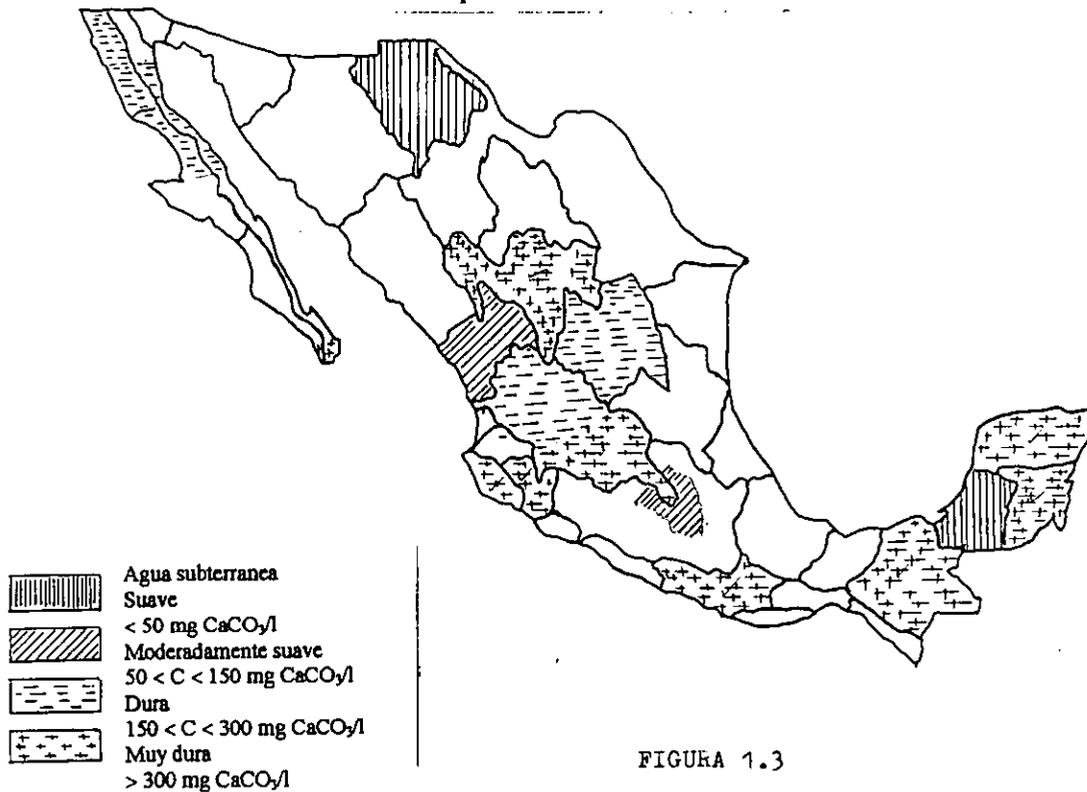


FIGURA 1.3

Fuente: Estudio de disponibilidad de agua en México
, en función del uso, calidad y cantidad. Instituto de Ingeniería, UNAM, 1994

Estudios de campo están en proceso en algunas áreas irrigadas con aguas negras: por ejemplo, el Instituto Nacional de Nutrición trabaja en un proceso internacional sobre el fenómeno en el Valle del Mezquital. En la cuenca del río Lerma esta práctica y su efecto no están documentados, a pesar que las estadísticas señalan a Michoacán como uno de los primeros en incidencias de diarreas.

1.3 Efectos de la Contaminación en la Subcuenca Lerma-Chapala.

El río Lerma nace en la base del Nevado de Toluca, donde existía un conjunto de pequeñas lagunas y terrenos inundables, pero la mayor parte de esta agua es ahora transportada a la cd. de México, por lo que el río en su primer tramo, se ha convertido en un insignificante arroyo que ha sido canalizado estando sumamente contaminado por desechos de todo tipo. El río abandona el Valle de Toluca y recibe varios afluentes, pero en su trayecto existen varias presas que permiten utilizar el agua para la irrigación de la zona del Bajío; además, varias ciudades arrojan sus desechos al río Lerma, incluyendo la ciudad porcícola de la Piedad de Cabadas, en donde el río termina siendo uno de los más contaminados.

Reducido a su mínima expresión y profundamente contaminado desemboca en el lago de Chapala, al que aporta considerable cantidad de sedimentos en la épocas del año en que su caudal aumenta por los aportes de los torrentes que bajan de las erosionadas montañas que circundan los Valles del Bajío. En algunas ocasiones este fenómeno presenta desbordamientos importantes del río Lerma en algunas partes de su trayecto. Su flora y su fauna nativa hace mucho que han sido sustituidas por especies que pueden tolerar su actual estado de degradación. El río Lerma es un buen ejemplo de una total alteración de una cuenca hidrológica, inducida por la acción humana.

Las tres fuentes de contaminación de este sistema son:

- a) Las descargas municipales de más de 8'600,000 habitantes
- b) Las descargas industriales que comprenden desechos de más de 3,500 industrias de diversos giros: química, petroquímica, destiladora, textil, peletera, maderera, alimenticia, metalúrgica, electromecánica, minera y cantera.
- c) Los escurrimientos de las tierras cultivadas (aproximadamente 750,000 ha.)

Cabe mencionar que existen lugares con aportaciones muy grandes de zinc, como Celaya Gto., que aporta más de 40 kg., al día pero que por los ambientes altamente oxidados ya no representan enriquecimiento representativo de la zona, y de la aportación de cromo de la ciudad de León que llega a ser de 433 kg., por día, y que la baja movilidad del cromo bajo diferentes condiciones ambientales que prevalecen en esa zona hacen que no migre río abajo.

Los resultados indican que el sedimento suspendido es el principal vector en el transporte de la contaminación por estos metales, mientras que los sedimentos del fondo actúan como fase de acumulación de estas sustancias, a través del depósito de sedimentos suspendidos.*

*Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. Autores Anne M. Hansen, Araceli León Zavala, Luis Bravo Inclán; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 1995

1.4 Descripción de la Subcuenca.

El sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago, está considerado como uno de los más importantes del país, ya que desde sus orígenes en la laguna de Almoloya del Río, hasta su desembocadura en el océano Pacífico, tiene un desarrollo total de 1,180 km. Por lo que los primeros 754 km pertenecen al río Lerma que drena una superficie de 41,429 km².

La actividad agrícola en la cuenca del río Lerma se remonta a la época colonial, ya que desde el año de 1548, se realizaron algunas obras hidráulicas de importancia en la laguna de Yuriria.

Actualmente, ésta actividad es una de las más importantes en dicha cuenca por lo que se refiere al consumo de agua, dado que para su sostén, desde 1946, se ha dado impulso a la construcción de obras hidráulicas, como presas almacenadoras y derivadoras, y canales de distribución.

Por otro lado el río Lerma tiene una relación directa con otras actividades económicas de importancia, como lo muestra la cercanía de la corriente principal o sus afluentes con núcleos urbanos-industriales como Toluca, Querétaro, Celaya, Guanajuato, León, Morelia, Salamanca y la Piedad.

Dadas las dimensiones de la cuenca del Lerma, la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para facilitar su estudio y control la dividió en dos zonas:

Primera zona, denominada Alto Lerma; comprende desde sus orígenes en la laguna de Almoloya, hasta la presa Solís, incluyendo los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, y la laguna de Yuriria.

Esta zona esta comprendida entre 19°04' y 20°20' latitud norte y los 90°19' y 101°28' de longitud oeste (figura 1. 4)

El área de la cuenca hasta la presa Solís, sin incluir las cuencas de los lagos de Pátzcuaro, Cuitzeo y laguna de Yuriria, es de 9627 km², y el desarrollo a lo largo del colector general es de 310 km. En este tramo el río desciende 722 m.; desde los 2572 m.s.n.m. en la laguna de Almoloya, hasta los 1850 m.s.n.m. a la entrada de la presa Solís, lo cual significa una pendiente media de 0.0023. Los estados comprendidos en el Alto Lerma son: México, Michoacán, Querétaro y Guanajuato.

Segunda zona, denominada Medio Lerma; comprende de la salida de la presa Solís, hasta la llegada al lago de Chapala, esta zona se encuentra dentro de los 19°34' y 21°33' latitud norte y los 101°06' y 103°42' de longitud oeste (figura 1 5).

En este tramo el colector general tiene una longitud aproximada de 444 km., y un área de 31,802 km². El descenso del río en este tramo es de 327 m.; desde los 1,850 m.s.n.m. en la presa Solís, hasta los 1523 m.s.n.m. en el lago de Chapala, con lo que resulta un pendiente media de 0.00076 con lo que se aprecia que el comportamiento del río es diferente al primer tramo.

1.4.1. Geología, suelos, climatología y zonas forestales.

Aspectos Geológicos.

Primera zona. La cuenca Alta del río Lerma, está limitada al sur por el parteaguas de la cuenca del río Balsas, con una cordillera que une al Nevado de Toluca con el cerro de Cempoala de oeste a este.

Por el este, en dirección norte-sur el parteaguas está formado por la serranía de las Cruces, este parteaguas colinda con la cuenca del Valle de México. Al noroeste, el parteaguas limita con cuencas de los ríos San Juan y Tula, correspondientes a la cuenca del río Pánuco, con la llamada Sierra Catedrales, encontrándose en esta los cerros de la Palomas y Peña Redonda.

Al sureste el parteaguas se vuelve menos elevado, pasando por los cerros del Fresno, los Agustinos, para bajar hacia el sur hasta la cortina de la presa Solís.

Al oeste está limitada por la colindancia con las cuencas cerradas del lago de Pátzcuaro, el lago de Cuitzeo y la laguna de Yuriria, estas dos últimas artificialmente se han conectado al río Lerma.

Las características geológicas más importantes de la zona, consiste en que pertenece casi en forma total al periodo Cenozoico, ya sea al Superior o al Medio Volcánico, según la clasificación de la Carta Geológica editada en 1962 del Atlas Geográfico, elaborado por el Ing. Jorge L. Tamayo (SARH, 1970).

Segunda zona. Al oeste el parteaguas izquierdo corre desde la presa Solís, en forma casi paralela al colector general rumbo al lago de Chapala. En la rivera de la derecha el parteaguas es sumamente extenso, y desde la presa Solís retrocede hacia Coroneo, sube al norte hasta los límites de Querétaro y Guanajuato, y después hacia el noreste, internándose en una pequeña parte de San Luis Potosí; continúa hacia el oeste y pasa al norte de León Gto.; finalmente toma una dirección general suroeste hasta el lago de Chapala.

Dentro de esta zona se presenta dos áreas principales. El área menor con un 35% de la extensión, pertenece al Cenozoico Medio Volcánico y domina la parte norte de la zona, a partir del paralelo 20°35' y el mayor área con un 62% de extensión, pertenece al Cenozoico Superior Clásico y Volcánico; domina la porción sur de la zona, a partir del mismo paralelo.

Independientemente de estas clasificaciones, cabe señalar que esta cuenca se formó en la era Mesozoica y su origen está estrechamente ligado con el Eje Neovolcánico, del cual es contemporánea.

Suelos:

Los suelos característicos reconocidos en esta cuenca son principalmente de tres tipos: Chernosen o Negros, Podzol o Podzólicos e Insitu de montaña, con vegetación raquítica; con una distribución irregular a lo largo de la región.

Zonas Forestales:

Dentro la región estudiada sólo existen dos tipos de zonas forestales, las llamadas de coníferas, con vegetación consistente en pino, oyamel, ciprés, cedro blanco, etc; y la Templada, con especies características tales como encino, palo blanco, madroño, linaloe, copal, aile, piñon, etc. Estas dos regiones se encuentran repartidas en un porcentaje aproximado de 70% y 30% respectivamente. La distribución por fajas que resulta esta concordancia aproximada con las zonas de máxima altitud, junto a los parteaguas más altos y las serranías internas más importantes sobre las cuales queda ubicada la zona de coníferas.

Aspectos Climatológicos.

La zona en estudio es definidamente continental, que se halla protegida en todos sus parteaguas por elementos orográficos de cierta importancia, que se desarrollan dentro de límites muy restringidos de latitud y, además, que su interior se desenvuelve también con variaciones de altitud relativamente pequeñas; los tipos principales de clima se detallan en la tabla 1.1 siguiente:

Tabla 1.1

<i>Localidad</i>	<i>Clasificación</i>
Morelia, Pátzcuaro, Presa Solís y Tepuxtepec. Cuenca derecha del río la Laja. Cuenca Alta del río de los Gómez Cuenca del río Hondo Zona situada al sur del colector general del río Lerma en el tramo Isaac Arriaga-La Piedad Mich.	Semiseco. con invierno seco y templado. Sin estación invernal bien definida
Lago Cuitzeo y Laguna Yuriria Irapuato, Salamanca, Yurécuaro, Zamora, Chapala y Cd. Guzmán	Semiseco. con invierno seco. Sin estación invernal bien definida
Desde el parteaguas Sur de los orígenes del Lerma hasta Toluca y una pequeña porción cerca de Maravatio	Húmedo. con invierno seco y semifrío Sin estación invernal bien definida
En general toda la cuenca izquierda del río de la Laja y territorio situado al norte de Querétaro	Seco con invierno seco. con primavera seca. sin estación invernal bien definida.

1.4.2 División Política y Población

Desde el punto de vista político, la cuenca del río Lerma, se encuentra en la parte central de la República Mexicana. En esta zona (poco menos del 3% del territorio nacional) se asienta uno de cada once mexicanos, se genera un poco más de la tercera parte de la producción industrial nacional, se origina el 20% del comercio total y dentro de ella queda comprendida una de cada ocho hectáreas de riego y temporal.

En su recorrido atraviesa parte de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Los municipios que se encuentran localizados total o parcialmente dentro de la cuenca aparecen enumerados en el ANEXO 1

La población de la cuenca estaba constituida en el año de 1960 por 3'416,562 habitantes, siendo el estado de Guanajuato el de mayor número de habitantes dentro de la cuenca con un 47% del total.

Con el Censo de Población y Vivienda 1995 (INEGI), la población registrada se constituyó por 8'493,712 habitantes; siguiendo la tendencia de que el estado con mayor número de habitantes es Guanajuato. Estas cifras se presentan en la tabla 1.2 siguiente.

Tabla 1.2

CUENCA DEL RIO LERMA-CHAPALA
POBLACION CENSAL, PERIODO 1960-1995

ESTADO	1960	1970	1980	1990	1995
GUANAJUATO	1.593.434	2.115.486	2.809.982	3.735.756	4.146.086
JALISCO	321.029	356.408	417.868	488.783	531.659
MEXICO	617.381	849.009	1.191.497	1.603.073	1.899.389
MICHOACAN	735.871	865.822	990.210	1.155.817	1.209.974
QUERETARO	148.847	221.478	380.548	579.597	706.604
TOTAL	3.416.562	4.408.203	5.790.105	7.563.026	8.493.712

FUENTE: Censo de Población y Vivienda 1995 (INEGI)

1.4.3 Longitud del recorrido del río y su división por tramos.

Afluentes principales:

Confluencia con el Río la Laja

En el punto llamado el Ciprés 3 km al SW de Salamanca Gto., se presenta la confluencia más importante del Río Lerma, llamado Río de la Laja. Este afluente derecho del río tiene un recorrido de 250 km y una cuenca de 9679 km².

Confluencia con el Río Turbio

El río Turbio es un afluente derecho que entra al río Lerma 62 km aguas debajo de la confluencia con el río Guanajuato; su cuenca es una de las más amplias, abarca 3078 km² del estado de Guanajuato y 1414 km² del estado de Jalisco.

Entre su cuenca se localizan varias ciudades muy importantes, de las que sobresalen León, San Francisco del Rincón, Manuel Doblado, Pénjamo, Cuitzeo de Abasolo y Cuerámbaro, 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 Penjamo, 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 debajo de la Barca Jalisco, y aproximadamente 17 km aguas arriba de la desembocadura del Lerma en el Lago de Chapala.

En la tabla 1.3 siguiente se enlistan los principales afluentes del Lerma en su recorrido aguas abajo:

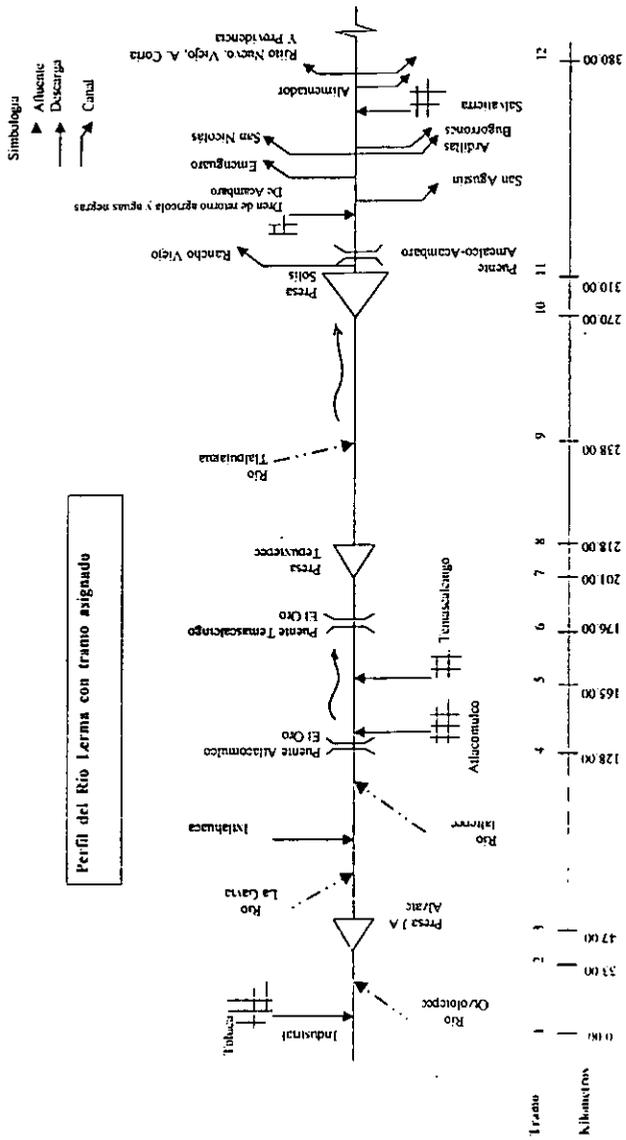
Tabla 1.3
Afluentes principales del Lerma.

Nombre	Area de la Cuenca Km ²	Ubicación En el tramo	Margen	
			Izq.	Der.
Río Otzolotepec	212	1		X
Río la Gavia	554	3	X	
Río Jaltepec	411	3	X	
Río Tlalpujahua	485	9	X	
Río la Laja	9,651	13		X
Río Guanajuato	528	16		X
Río Turbio	4,492	18		X
Río Angulo	2,064	18	X	
Río Duero	2,318	22	X	

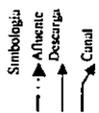
División en tramos:

Para fines de clasificación de este cuerpo de agua, se dividió en 22 tramos, según Decreto (Diario Oficial, lunes 1° de abril de 1996). En el cual se establece el uso para el que se clasifica el río Lerma, en los tramos del 1 al 9, es de uso agrícola y para los tramos 10 al 22, como fuente de abastecimiento de agua potable.

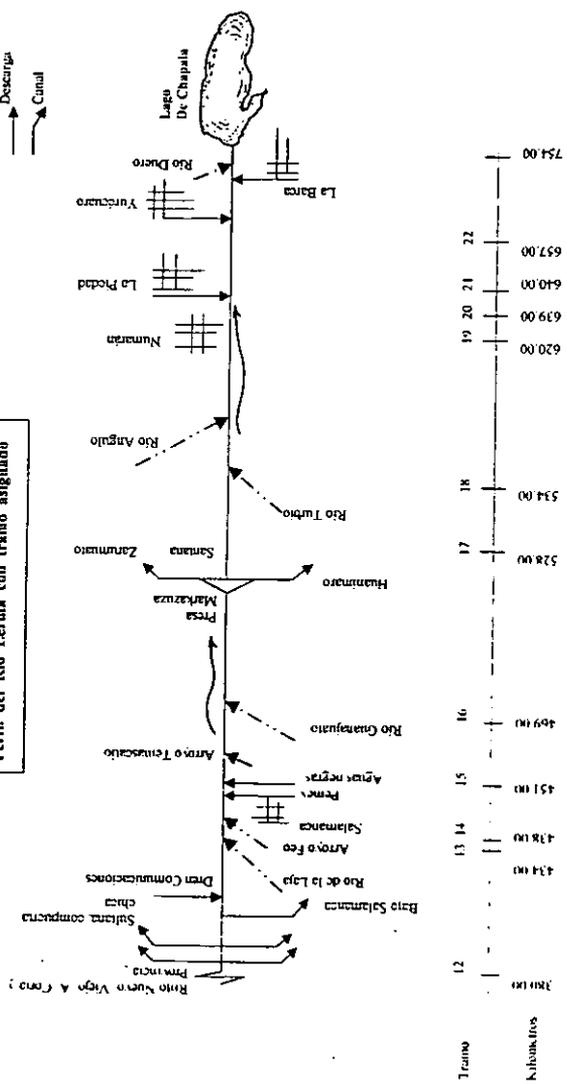
En la tabla 1.4, se describe la clasificación del Río Lerma en tramos, estipulado en el decreto mencionado anteriormente, así como esquemáticamente en los planos uno y dos siguientes.



Plano N.
Sin Escala



Perfil del Río Lerma con tramo asignado



Plano 2/2
Sin Escala

Clasificación del Río Lerma: Diario Oficial Lunes 1º de abril de 1996

Tramo No.	Inicia sitio	Estado	Distancia km	Finaliza Sitio	Estado	Distancia km	Longitud del tramo km
1	Laguna de Ahmoloya	México	0.0	Inicio de la presa Antonio Alzate	México	33	33
2	Inicio de la presa Antonio Alzate	México	33	Cortina de la Presa Antonio Alzate	México	47	14
3	Cortina de la Presa Antonio Alzate	México	47	Puente Atlacomulco	México	128	81
4	Puente Atlacomulco	México	128	Temascalcingo	México	165	37
5	Temascalcingo	México	165	Puente DIF Solís	México	176	11
6	Puente DIF Solís	México	176	Inicio de la Presa Tepuxtepec	Michoacán	201	25
7	Inicio de la Presa Tepuxtepec	Michoacán	201	Cortina de la Presa Tepuxtepec	Michoacán	218	17
8	Cortina de la Presa Tepuxtepec	Michoacán	218	Confluencia con el Río Talpajahuá	Michoacán	238	20
9	Confluencia con el Río Talpajahuá	Michoacán	238	Inicio de la Presa Solís	Guanajuato	270	32
10	Inicio de la Presa Solís	Guanajuato	270	Cortina de la Presa Solís	Guanajuato	310	40
11	Cortina de la Presa Solís	Guanajuato	310	Canal Ing. Antonio Coria M.	Guanajuato	380	70
12	Canal Ing. Antonio Coria M.	Guanajuato	380	Confluencia con el Río la Laja	Guanajuato	434	54
13	Confluencia con el Río la Laja	Guanajuato	434	Aguas arriba de la cd. de Salamanca	Guanajuato	438	4
14	Aguas arriba de la cd. de Salamanca	Guanajuato	438	Confluencia con el Arroyo Temascalatio	Guanajuato	451	13
15	Confluencia con el Arroyo Temascalatio	Guanajuato	451	Confluencia con el Río Guanajuato	Guanajuato	469	18
16	Confluencia con el Río Guanajuato	Guanajuato	469	Pastor Ortiz	Guanajuato Michoacán	528	59
17	Pastor Ortiz	Guanajuato Michoacán	528	Confluencia con el Río Turbio	Guanajuato Michoacán	534	6
18	Confluencia con el Río Turbio	Guanajuato Michoacán	534	Aguas arriba de La Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	620	86
19	Aguas arriba de La Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	620	La Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	639	19
20	La Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	639	Aguas debajo de la Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	640	1
21	Aguas debajo de la Piedad de Cabadas	Guanajuato Michoacán	640	El Salto	Guanajuato Michoacán	657	17
22	El Salto	Guanajuato Michoacán	657	Desembocadura en el Lago de Chapala	Jalisco Michoacán	754	97

Capítulo 2

Aprovechamiento de los recursos hidráulicos del Río Lerma.

El Lerma constituye un complejo sistema hidráulico del que se extraen considerables volúmenes de agua para el riego agrícola, mediante una vasta red de presas de almacenamiento, presas derivadoras y canales de conducción; así mismo las aguas de retorno agrícola que se devuelven al río en épocas de riego, representan una aportación importante.

2.1 Estudio Hidrológico.

La ingeniería hidrológica se dedica principalmente a estimar tasas o volúmenes de flujo, o los cambios en estos valores debidos a la acción del hombre, para ser utilizada en relación con el diseño y ejecución de estructuras hidráulicas. ¿Qué capacidad de embalse se requiere para asegurar el suministro adecuado de agua para irrigación o consumo municipal durante las sequías? ¿Qué efecto producen los embalses, diques y otras obras de control sobre las avenidas de las corrientes? Estas son preguntas típicas que se espera debe resolver la ciencia de la hidrología.

La materia de que trata la hidrología, puede ser clasificada en forma amplia en dos fases: recolección de datos y métodos de análisis. Por lo que estos problemas típicos implican cálculos de extremos que no se observan en una muestra de datos de corta duración, y generalmente un problema hidrológico es único en cuanto trata con un conjunto diferente de condiciones físicas dentro de una cuenca hidrográfica específica. Por lo tanto, las condiciones cuantitativas de un análisis no son siempre transferibles a otros problemas.

2.1.1 Estaciones de aforo y monitoreo.

Estaciones de aforo:

Aforar corriente significa determinar a través de mediciones el gasto que pasa por una sección dada. En la cuenca del río Lerma se cuenta con diferentes tipos de estaciones de aforo, para registrar el gasto en el caudal principal y en sus afluentes o extracciones:

- Registro de escala
- Registro de escala y molinete
- Registro de escala, molinete y limnigrafo
- Registro de escala y vertedor
- Registro de escala, vertedor y limnigrafo

De tal forma que la condiciones que debe reunir la selección del sitio adecuado para instalar una estación de aforo hidrométrica (donde se miden los gastos) son las siguientes:

1. Accesibilidad. La estación debe ser accesible en cualquier tiempo y bajo cualquier condición, especialmente durante avenidas.

2. Suficiencia. La estación debe ser capaz de cubrir todo el rango de gastos que pueda ocurrir. El nivel mínimo de la zanja o tubería en el caso de los limnigrafos y de la regla en los limnímetros, debe estar por debajo de la elevación correspondiente al gasto mínimo posible y la posición máxima del flotador o de la regla debe quedar arriba de la elevación correspondiente al gasto máximo posible.
3. Estabilidad. La sección transversal del río donde se instale la estación debe estar en un tramo recto, lo más estable posible, de manera que las variaciones que tenga la curva elevaciones-gastos sean razonablemente pequeñas.
4. Permanencia.- La estación debe estar situada de tal manera que nunca sea destruida por una avenida. Una de las características más deseables de un registro es que sea continuo y que esté formado en un mismo sitio. Además , no debe estar afectado por tomas o desvios, por lo que la estación debe situarse, en lo posible, aguas arriba de ellos.

Los escurrimientos por el colector principal del río Lerma son el resultado tanto de los aportes que recibe, como de las extracciones que se efectúan a lo largo de su recorrido. En la tabla 2.1 siguiente, se presenta un resumen de datos de algunas estaciones hidrométricas hacia aguas abajo del Lerma.

Tabla 2.1
Resumen de Datos de algunas estaciones hidrométricas en el Río Lerma.

Estación: Puente Atlacumulco Corriente: Río Lerma Cuenca: Río Lerma			Área(km ²):4,336 Coordenadas: LN19° 47' 20" , LW99° 53' 35"	
Año	Gasto(m ³ /s)			Volumen(Mm ³)
	Máximo	Mínimo	Medio	
1980	59.25	2.04	12.13	383.440
1981	79.17	1.30	16.31	514.214
1982	47.51	1.38	8.16	257.177
1983	90.03	1.58	13.42	423.234
1984	81.48	2.37	17.51	553.568
1985	61.35	2.14	16.06	506.485
1986	94.74	3.42	20.01	631.053
1987	73.59	2.15	14.10	444.625
1988	69.58	0.52	13.63	430.928

Estación: El Gigante Corriente: Río Lerma Cuenca: Río Lerma			Área(km ²):7,121 Coordenadas: LN19°58'00" , LW100° 27'00"	
Año	Gasto(m ³ /s)			Volumen(Mm ³)
	Máximo	Mínimo	Medio	
1979	95.09	2.52	20.41	643.560
1980	112.95	2.26	14.26	450.833
1981	113.42	3.84	20.14	635.106
1982	105.90	2.42	14.04	442.866
1983	116.25	0.58	15.79	498.025
1984	118.22	4.87	19.41	613.645
1985	115.48	5.30	18.50	583.291
1986	129.10	6.89	18.91	596.396
1987	85.57	7.86	17.54	553.180
1988	114.60	6.30	17.89	565.859
1989	86.65	6.57	16.17	509.915

Tabla 2.1 (continuación)

Estación: Salvatierra Corriente: Río Lerma Cuenca: Río Lerma			Area(km ²):9,305 Coordenadas: LN20°13'00". LW100° 54' 15"	
Año	Gasto(m ³ /s)			Volúmen(Mm ³)
	Máximo	Mínimo	Medio	
1979	63.80	0.00	22.00	693.848
1980	78.82	0.00	9.07	286.737
1981	84.44	0.00	13.03	411.053
1982	81.55	0.00	13.30	419.552
1983	80.90	0.00	9.05	285.360
1984	83.07	0.00	17.36	549.058
1985	78.60	0.00	21.22	669.321
1986	77.53	0.00	20.69	652.375
1987	77.70	0.00	21.66	683.183
1988	73.04	0.00	13.31	420.930
1989	72.84	0.00	11.00	346.897
1990	90.51	0.00	6.98	220.166
1991	138.60	0.00	21.54	679.198
1992	98.84	0.00	22.89	723.717
1993	76.12	0.00	23.65	745.884
1994	92.80	0.00	25.30	797.820

Estación: Salamanca II Corriente: Río Lerma Cuenca: Río Lerma			Area(km ²):22,033 Coordenadas: LN20°34'00". LW101°12'00"	
Año	Gasto(m ³ /s)			Volúmen(Mm ³)
	Máximo	Mínimo	Medio	
1979	37.87	0.97	7.29	229.741
1980	88.50	0.43	4.42	139.830
1981	66.45	0.71	4.87	153.702
1982	49.18	0.57	4.14	130.569
1983	189.00	0.77	8.21	258.878
1984	88.92	1.36	7.63	241.144
1985	120.13	0.16	9.53	300.605
1986	84.60	1.48	11.31	356.610
1987	37.08	1.04	7.27	229.340
1988	202.14	0.65	7.82	247.280
1989	28.45	1.03	4.47	141.095
1990	99.76	0.86	7.16	225.714
1991	304.00	0.41	29.20	920.848
1992	107.74	1.81	13.57	428.972
1993	57.37	1.65	8.05	253.834
1994	50.24	1.68	9.13	288.035

Tabla 2.1 (continuación)

Estación: Corrales		Área(kn ²):34.153		
Corriente: Río Lerma		Coordenadas:		
Cuenca: Río Lerma		LN20°11'00" L.W101°48'15"		
Año	Gasto(m ³ /s)			Volumen(Mm ³)
	Máximo	Mínimo	Medio	
1980	225.88	0.60	10.43	329.738
1981	140.13	0.03	11.34	357.603
1983	206.35	0.00	14.08	443.961
1984	169.00	0.22	19.07	603.002
1985	176.93	0.85	16.89	532.625
1986	179.92	0.60	26.20	826.352
1987	101.63	0.74	14.30	451.097
1992	107.20	0.00	25.10	793.753
1993	114.57	0.20	19.78	623.675
1994	61.46	0.46	10.94	345.120

Estaciones de monitoreo:

A partir del conocimiento general de la región, es necesario realizar un recorrido de la corriente, con el fin de verificar en el campo la información obtenida.

Durante el recorrido se deben realizar las siguientes actividades:

1. Hacer anotaciones en los planos recabados y elaborar croquis complementarios de las descargas municipales, industriales, canales de retorno de riego y de retorno de hidroeléctricas, anotando su acceso al sitio de vertido en el cuerpo de agua receptor y dimensiones del canal.
2. Anotar los efluentes que recibe la corriente, así como su el acceso a la confluencia y las características principales de la misma.
3. Hacer un croquis y anotaciones de los canales de salida, así como su ubicación y acceso al sitio de su localización.
4. Anotar las presas o represas que se localizan en la corriente, cambios de morfología considerables como: rápidos, zonas de meandros y cambios de sección.

Las estaciones de muestreo se fijarán de acuerdo con el siguiente criterio:

- a) Se harán muestras de todas las descargas de aguas residuales y efluentes que lleguen al colector principal(río Lerma)
- b) Sobre la corriente se fijarán las estaciones de muestreo, antes y después de cada una de las situaciones siguientes:

- 1) Descarga de agua residual
- 2) Entrada de corrientes tributarias
- 3) Salida de Canal
- 4) Presa o represa, sitio de descarga
- 5) Cambios fuertes de sección
- 6) Caidas o cascadas
- 7) Zonas cubiertas de lirio.

Además, se deberá instalar, a juicio de la persona encargada, estaciones intermedias en los tramos de longitudes muy largas, donde no suceda ningún fenómeno de los antes descritos.

Se deberá aforar en todas las estaciones de muestreo seleccionadas, ya que el grado de contaminación está íntimamente ligado con los volúmenes de agua por el factor de dilución. Para tal fin se seleccionarán puntos cercanos a la estación de muestreo, de tal manera que tenga las características siguientes:

- Que el tramo sea recto y de sección uniforme
- Donde exista una estructura que ayude a realizar el aforo
- Donde se pueda vadear el río para su mejor aforo.

De acuerdo con las anteriores características de las estaciones de monitoreo, en la tabla 2.2 se presenta la Red de Monitoreo en el río Lerma:

Tabla 2.2
Red de Monitoreo de Calidad del Agua en la cuenca del río Lerma

NO. SECC.	CLAVE:	NOMBRE DE LA ESTACION	Cuerpo de agua	Año Inicio
S12b-002	00GU12BA0020001	Acámbaro(Puente ferrocarril)	Río Lerma	1975
S12b-003	00GU12BA0270004	A.A. río Laja	Río Lerma	1975
S12b-004	00GU12BA0270005	A.A. de la desc. De Salamanca(desp. R. Laja)	Río Lerma	1975
S12b-007	00GU12BB0240002	Pueblo Nuevo(antes río Guanajuato)	Río Lerma	1975
S12b-008	00GU12BB0240003	San Guillermo(después r. Guanajuato)	Río Lerma	1975
S12b-009	00GU12BB0270001	Puente el Molinito	Río Lerma	1973
S12b-010	00GU12BD0240001	A.A.de confl. con el río Lerma	Río Guanajuato	1975
S12b-012	00GU12HC0270002	A.A.de confl. con el río Lerma	Río Laja	1975
S12b-014	04GU12BB0160004	Presa Markazuza	Río Lerma	1973
S12b-015	00JA12CA0180005	Puente Briseñas	Río Lerma	1975
S12b-023	00MI12AC0510004	Puente Tungareo	Río Lerma	1975
S12b-025	00MI12CA0690002	A.A. de la Piedad	Río Lerma	1975
S12b-026	00MI12CA0690003	A.A. de la Piedad(Caseta de Cobro)	Río Lerma	1975
S12b-028	00MI12CC0420001	Pte. La Estanzuela	Río Duero	1978
S12b-030	00MI12CD0440001	Villa Jiménez	Río Angulo	1979
S12b-032	04MI12AC0510002	Entrada presa Tepuxtepec	Río Lerma	
S12b-034	00MX12AA0040001	Laguna de Almoloya	Río Lerma	1980
S12b-035	00MX12AA0120001	Arroyo Mezapa	Arroyo Mezapa	1980
S12b-036	00MX12AA0510001	Pte. Carr. Mex-Toluca	Río Lerma	1970
S12b-040	00MX12AB0420003	Pte. Carr. Toluca-Palmillas(Co.Pe. J.A.A.)	Río Lerma	1970
S12b-044	00MX12AB0870002	Puente carr. Toluca-Temoaya	Río Lerma	1970
S12b-049	00MX12AC0850001	Puente Solis (DIF)	Río Lerma	1975

Tabla 2.1(continuación)

S12b-050	00MX12AK1150001	Puente carr. Toluca-Naucalpan	Río Lerma	1970
S12b-052	01MX12AA0040001	Laguna de Almoloya del Río	Lag. De Alm.	1980
S12b-055	00GU12BE0310001	Puente paso de ovejas	Río Turbio	1994
S12b-056	00GU12BE0200001	Puente estancia de vaqueros	Río los Gómez	1994
S12b-057	00GU12BE0310001	Puente paso de ovejas	Río Turbio	1994

La clave de la estación consta de quince caracteres, que corresponden a la unión de las claves de: tipo de agua, estado, región, cuenca, subcuenca, municipio y un número secuencial de cuatro dígitos, para facilitar la búsqueda en el banco de datos.

La región hidrológica #12 se divide en 12 cuencas, correspondiendo al Lerma las siguientes:

- A.- Río Lerma-Toluca
- B.- Río Lerma-Salamanca
- C.- Río Lerma- Chapala
- G.- Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Laguna de Yuriria
- H.- Río la Laja

A. Cuenca río Lerma-Toluca. Está al sureste de la región y corresponde al tramo inicial donde comienza a formarse el río Lerma, en el Valle de Toluca. Se dividen en catorce subcuencas que son: río Almoloya-Otzolotepec, río Otzolotepec-Atlacomulco, Atlacomulco-Paso de Ovejas, Puente Solís, Arroyo Tarandacuao, Arroyo Cavichi, río Tlalpujahua, río Jaltepec, río la Gavia, río Tejalpa, río Verdiguél, río Otzolotepec, río Silao y río Tigre.

B. Cuenca río Lerma-Salamanca. Se ubica en la zona oriente de la región y corresponde al tramo del Lerma y sus afluentes, comprendidos en la presa Solís y el distrito 87. Se divide en siete subcuencas que son: Presa Solís-Salamanca, Salamanca-río Angulo, Arroyo Temascatio, río Guanajuato, río Turbio-presa Palote, río Turbio-Manuel Doblado, río Turbio-Corrales.

C. Cuenca río Lerma-Chapala. Corresponde al tramo final del Lerma, hasta su desembocadura en el Lago de Chapala, se subdivide en cinco subcuencas denominadas: río Angulo-Briseñas, Briseñas-Chapala, río Duero, río Angulo y río Huascato.

G. Cuenca Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Laguna de Yuriria. Se encuentra en la zona sur de la región y se divide en tres subcuencas que son: Lago de Pátzcuaro, Lago de Cuitzeo y Laguna de Yuriria.

H. Cuenca río Laja. - Se halla al oriente de la región y se divide en cuatro subcuencas que son: río Laja-Pañuelitos, Presa Ignacio Allende, río Laja-Celaya y río Apaseo.

2.1.2. Medición del gasto.

Los procedimientos para aforar una corriente se pueden agrupar en tres criterios:

- a) Secciones de control
- b) Relación sección-velocidad
- c) Relación sección-pendiente.

El criterio a) es el más exacto de los tres, pero solo es aplicable a cauces artificiales o ríos de sección pequeña y escaso escurrimiento.

El criterio b) es el más usual y es utilizable en cualquier tipo de corriente.

El criterio c) es empleado para completar los registros que no pudieron obtenerse mediante b), aunque es muy usado para obtener gastos máximos de corrientes cuando no se dispone de aparatos de medición.

Cuando exista una presa, se le puede usar como estación de aforo, habiendo calibrado previamente el vertedor y la obra de toma, y conociendo su función de almacenaje.

Sección de control.

En Hidráulica, una sección de control de una corriente es aquella donde la energía específica del escurrimiento es mínima. Dicha energía está relacionada con el tirante crítico, por lo que se dice que hay una sección de control donde se presenta el tirante crítico. Esto ocurre cuando existe levantamiento en el fondo del cauce, estrechamiento en la sección, o una combinación de ambos. La sección de control puede ser artificial o natural; un ejemplo típico de la primera es la conocida como sección vertedora o vertedor, la cual puede ser de pared delgada o gruesa, dependiendo del ancho de la cresta vertedora que está en contacto con el agua.

La ventaja de utilizar este tipo de estructuras es que solo se requiere conocer la carga de agua sobre la cresta vertedora y así obtener el gasto. Por ejemplo, para un vertedor de sección rectangular, el gasto se calcula como:

$$Q = C L H^{3/2}$$

Donde

- C coeficiente de descarga
- H carga sobre la cresta vertedora, en m
- L longitud de la cresta vertedora, en m
- Q gasto, en m³/seg

Relación sección- velocidad.

Este criterio es el más usual en ríos, y se basa en el principio de continuidad:

$$Q = v A \quad (2.1)$$

Donde

- A área hidráulica de la sección transversal de una corriente, en m²
- Q gasto que pasa por esa sección, en m³/seg
- V velocidad media de la corriente en dicha sección, en m/seg

Lo anterior implica que, para conocer el gasto de un río, en una cierta sección de este, se requiere valuar su velocidad y su área.

Si se determina el perfil de la sección de aforos, al conocer el tirante del agua se obtiene el área hidráulica. Entonces, el problema se reduce a medir en una estación de aforos las elevaciones y velocidades medias del agua, para calcular el gasto que pasa en el momento de efectuar dichas mediciones.

Los aparatos utilizados para medir la elevación de una corriente pueden ser manuales o automáticos.

A los aparatos manuales se les conoce como limímetros, el más usual consiste en una regla graduada que se introduce en la corriente. En general, en épocas de avenida, se hacen lecturas de escala cada dos horas durante el día y, en época de estiaje, una diaria. Para registrar las elevaciones máximas, la regla graduada se marca con pintura soluble al agua; así, se registra, entre los intervalos de medición, la ocurrencia de alguna elevación máxima.

Los aparatos de registro automático de la elevación de una corriente con respecto al tiempo se conocen con el nombre de limnigrafos. Los limnigrafos tienen un flotador sobre la superficie del agua, el cual está ligado a una aguja que marca sobre un papel de registro las variaciones de los niveles de agua que le transmite el flotador.

Valuación del gasto.- Una vez conocida la sección de control, es posible obtener el área hidráulica para cualquier elevación de la superficie libre del agua. Entonces, para calcular el gasto relacionado con esta área hidráulica, es necesario determinar la velocidad media de la corriente. Como la velocidad de la corriente no es uniforme, para obtener con mayor aproximación al valor del gasto, se acostumbra dividir a la sección transversal de la corriente en áreas parciales que, en general, son fajas verticales. Lo anterior tiene como finalidad definir los puntos de medición de la velocidad de la corriente.

Conocida la velocidad media en cada faja vertical, el gasto que pasa se calcula como:

$$Q = \sum a_i v_i$$

Donde

a_i área de la faja vertical i , en m^2

v_i velocidad media de la faja vertical i , en m/seg

Q gasto instantáneo que pasa por la sección de aforos en el momento
De efectuar las mediciones, en m^3/seg

En general, al valorar el gasto, los mayores errores se originan al medir las áreas, más que las velocidades.

Para medir la velocidad de la corriente de un río se utiliza un molinete, que es un aparato formado por una hélice o rueda de aspas o de copas que, accionado por la corriente, gira sobre un eje montado en un dispositivo de suspensión, transmitiendo su movimiento a un sistema registrador.

Relación sección-pendiente

Este criterio permite obtener el gasto de una corriente a partir de la fórmula de Manning. Para esto se requiere conocer las características topográficas del tramo del río donde se requiera valorar el gasto y el nivel del agua para ese gasto en las secciones transversales del inicio y terminación del tramo. El tramo del río debe ser lo más uniforme posible. Según Manning:

$$v = 1/n R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.2)$$

Donde

n . coeficiente de rugosidad de Manning

R radio hidráulico en m

S pendiente del gradiente de energía

v . velocidad media, en m/seg

Si se conoce el área hidráulica de la sección transversal A, sustituyendo la ecuación (2.2) en la ec. (2.1), se tiene que el gasto es:

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.3)$$

Si se denomina con subíndice 1 a las características de la sección inicial aguas arriba del tramo en estudio, y con subíndice 2 a las características de la sección final aguas abajo del tramo, los elementos de la ecuación (2.3) se pueden calcular como sigue:

$$A = (A_1 + A_2)/2, \quad R = (R_1 + R_2)/2, \quad S = h_f/L \quad \text{y} \quad h_f = z + h_v + h_i$$

Donde

- h_i pérdida por turbulencia, en m
- h_v pérdida de carga de velocidad, en m
- z desnivel entre las secciones 1 y 2, en m
- L longitud horizontal entre las secciones 1 y 2, en m

En general, las pérdidas h_v , h_i pueden despreciarse, aunque puede ser de consideración si las velocidades en las secciones 1 y 2 son muy diferentes (Ven Te Chow, "Open Channel Hydraulics", MacGraw-Hill, N.Y. 1959).

2.1.3. Volúmenes Escurridos.

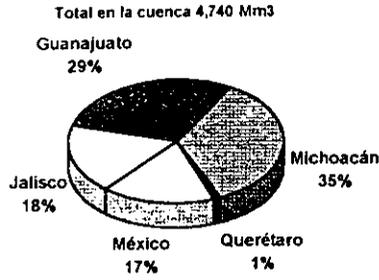
Al compararla a nivel nacional en la cuenca del Lerma ocurre un promedio del 3% de la precipitación pluvial, tiene más del 1% de los escurrimientos y quedan comprendidas el 13% de las aguas subterráneas. Sin embargo, las necesidades derivadas de todos los usos superan la oferta de agua superficial y subterránea. Esto ha provocado el desequilibrio hidrológico de la cuenca y ha puesto en riesgo el desarrollo logrado y la supervivencia del Lago de Chapala, forzando la sobreexplotación de los acuíferos y el reuso de las aguas en la cuenca.

El balance hidrológico en la cuenca en condiciones medias en el periodo 1950-1979 muestra que, ante una precipitación anual de 735 mm, se genera un escurrimiento de 4,740 millones de metros cúbicos (Mm³). De estos, en promedio 3,240 se destinan al riego y 1,500 son las aportaciones al lago de Chapala, que fundamentalmente provienen de la cuenca baja del río Lerma, sus afluentes y precipitación en el lago.

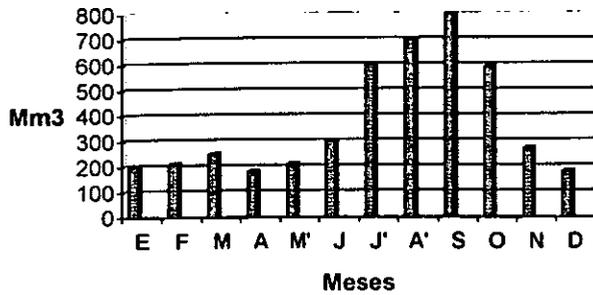
De los 1500 Mm³ que entran al lago, se requieren 1440 para satisfacer su evaporación natural, 240 para la demanda de agua para la ciudad de Guadalajara y 90 para riego agrícola. Lo anterior se traduce en un déficit anual medio de 270 Mm³, que aunado a un periodo de baja precipitación en la última década, la más crítica desde 1930, ha provocado un descenso en los niveles del lago.

En la siguiente gráfica (2.1) se presenta los escurrimientos medios restituidos por estados y en la gráfica (2.2) la distribución mensual del mismo.

Gráfica 2.1-Escurreimientos medios restituídos por Estados



Gráfica 2,2-Distribución mensual del escurreimiento en la cuenca Lerma- Chapala



Comisión Nacional del Agua para fines de monitoreo de la calidad del agua, la distribución mensual del escurreimiento la divide en :

Semestre Seco.- Corresponde a los meses de febrero a julio del año en cuestión

Trimestre más seco.- Corresponde a los meses de febrero, marzo y abril

Semestre más húmedo.- Los meses de enero, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de cada año.

2.1.4 Gastos mínimos.

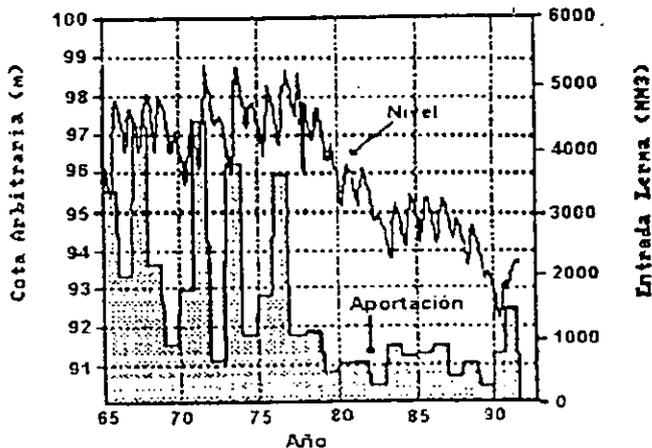
Dado que el lago de Chapala es parte del sistema hidrológico analizado, la política de distribución considera la magnitud de sus entradas. Para ello, se determinó el factor de ajustes que pudiera garantizar los volúmenes mínimos de entrada al lago que aseguren la preservación de dicho cuerpo, considerando también como punto de partida el escurrimiento mínimo registrado históricamente.

El balance hidrológico de la cuenca muestra que, ante una precipitación anual de 735mm, se genera un escurrimiento de 4,740 millones de metros cúbicos(Mm³). De éstos, en promedio 3,240 se destinan al riego y como se ha mencionado anteriormente 1500 representan las aportaciones al lago de Chapala.

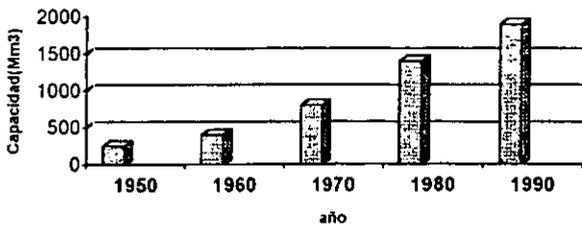
Adicionalmente a la pérdida por evaporación del vaso lacustre(1,400Mm³/año), las entradas por el Lerma han disminuido en los últimos quince años dado al incremento en los volúmenes de captación aguas arriba, debido a la construcción de presas para el aprovechamiento. Esto ha provocado graves descensos en los niveles del lago, que sumando el aumento en la carga de contaminantes ha incrementado los valores de concentraciones en el vaso.

En la siguiente gráfica (2.3) se puede observar el descenso de los niveles en el lago junto con la disminución en la aportación del río Lerma, así como la evolución de capacidad de almacenamiento gráfica (2.4).

Gráfica 2.3 Variación del nivel del lago y aportaciones Del río Lerma.



Gráfica 2,4-Evolución de la capacidad de almacenamiento de las presas en la cuenca



2.2 Usos y aprovechamientos.

La región del Lerma es un factor determinante en la dinámica socioeconómica del país, con valores superiores a la media nacional en densidad demográfica, producción industrial y agrícola *per cápita*, actividades sustentadas en el agua. La cuenca se califica como la de mayor nivel de aprovechamiento del agua en México.

El río Lerma atraviesa por una multitud de zonas agrícolas en las que se aprovechan sus aguas y las de sus afluentes para la práctica de la agricultura de riego. Por tal motivo se extraen importantes volúmenes de agua a lo largo del año para este fin.

2.2.1 Riego agrícola.

Entre los aprovechamientos agrícolas más importantes se tienen los siguientes:

Distrito de Riego No. 33, orígenes del Lerma. Dentro de este distrito se tienen varios aprovechamientos, entre los que se destacan por su extensión en de Atlacomulco y Temascalcingo. Los aprovechamientos y la fuente que se abastecen son los que se presentan en la tabla 2.3 siguiente:

Tabla 2.3
Aprovechamientos del distrito de riego No.33

Aprovechamiento	Municipio	Estado	Tipo	Area regada Has.
Atlacomulco	Atlacomulco	Méx.	Presa Almac.	2,252
Barrio de Sto. Domingo	Ixtlahuaca	Méx.	Bombeo pozos	635
San Bartolo del Llano	Ixtlahuaca	Méx.	Bombeo pozos	329
San Pedro de los Baños	Ixtlahuaca	Méx.	Bombeo pozos	310
Temascalcingo	Temascalcingo Contepec y Amealco	Méx. Mich. Qro.	Derivación	4,062
Toxi	Atlacomulco y Temascalcingo	Méx.	Derivación	809

Río Jaltepec.- Sobre este afluente existe un almacenamiento importante que es la presa Tepetitlán con 70.1 millones de m³ de capacidad, para el riego de 6,700 has de las que corresponden 3,761 has al municipio de San Felipe del Progreso, Méx.

Estado de Querétaro.

Se tienen 8 Almacenamientos de agua que en su conjunto suman una capacidad total de 25'730,000 metros cúbicos que benefician un total de 5,000 has de cultivo. Ninguno de estos almacenamientos está situado sobre el río Lerma, sino en sus afluentes.

Estado de Guanajuato.

Se tiene el distrito de riego No. 11 del Alto Lerma, con un total de 108,990 has regadas, distribuidas tal como se presenta en la tabla 2.4 siguiente:

Tabla 2.4
Distrito de riego No.11

Acámbaro	8,317 has.
Salvatierra	14,983 has.
Jaral del Progreso	5,917 has.
Abasolo	20,595 has.
Cortazar	30,163 has.
Salamanca	14,986 has.
Valle de Santiago	12,867 has.
Peñuelitas	1,112 has.

Este aprovechamiento es factible principalmente debido a la presa Solís y, en menor grado, al aprovechamiento en riego de la laguna de Yuriria y de la presa Peñuelitas. El total anotado incluye algunas áreas sujetas a riego por bombeo.

Los canales que se operan en conexión con este distrito son los de Jaral del Progreso Margen Izquierda y Jaral del Progreso Margen Derecha, Ing. Antonio Coria, Canal Bajo de Salamanca, etc. La longitud de canales principales es de 491.6 km y los canales laterales de 610 km.

Se cultiva principalmente trigo, alfalfa, sorgo, frijol, maíz, jitomate, cebada, etc.

Distrito de riego No. 85 (la Begoña).- Es de dimensiones menores que el anterior y funciona en dependencia de la presa Ignacio Allende, de 149.2 millones de m³ de capacidad total; abarca un total de 10,125 has de las cuales 1,000 son irrigadas por bombeo. La capacidad del canal principal es de 9.9 m³/s, con una longitud de 27 km.

Presa el Conejo.- Sobre el río Silao, después de la confluencia del arroyo San Clemente, se pretende beneficiar 2,500 has con un almacenamiento de 34.5 millones de m³.

Presa de Jalpa Nueva.- En los límites de Jalisco y Guanajuato se tiene la presa Jalpa de Canovas, que con una capacidad de 45 millones de m³ beneficia a 7,900 has en el estado de Guanajuato.

Estado de Michoacán.

Distrito de riego No. 22 (Zacapu).- Con aguas del río de la Patera, algunos manantiales y la operación de la presa Copándaro y Mercado, este distrito abarca un total de 10 636 has divididas como sigue: Villa Jiménez 2 556, Zacapu 6 180 y Coeneo 1 900 (hectáreas).

Distrito de riego No. 24 (Ciénega de Chapala).- Este distrito abarca un total de 48,030 has regadas, fraccionando por municipios en la forma siguiente: Tinguindín 265, Briseñas 5 641, Ixtlán 718, Jiquilpan 3 637, Pajacuarán 10 817, Sahuayo 4 321, Villamar 5 771, Vista Hermosa 7 090, Venustiano Carranza 9 770 (hectáreas).

Su operación está conectada con las presas Huaracha, Jaripo, etc., derivaciones del río Duero y una fracción pequeña de bombeo directo del río Lerma. Aproximadamente 25,200 has están sujetas a riego y la fracción restante son cultivos de temporal. Los cultivos más importantes son el sorgo, trigo, maíz.

Distrito de riego No.45 (Maravatio).- Funciona con dependencia de la presa Tepuxtepec, Laguna de Fresno y Chiconcua, regando una superficie de 6,016 ha en el municipio de Maravatio y 1500 en el de Senguio, los cultivos más importantes son: maíz, trigo y hortalizas.

Distrito de riego No.61(Zamora).- Este distrito se destaca por los tipos y formas de cultivo, es la unidad más grande en el estado de Michoacán pues tiene un total de 17925 ha divididas como sigue: Zamora 10 768, Jacona 1 937, Ixtlán 2 629, Chavinda 1 321, Pajacuarán 544, Tangancicuaro 26, Urepétiro 700 (hectáreas)

Las corrientes aprovechadas son el río Duero, el Tlazazalca, con la presa Urepétiro sobre este último. Los principales cultivos son la fresa, papa, cebolla y jitomate.

Distrito de riego No.87(Rosario-Mezquite).- Funciona con dependencia de la presa el Rosario, sobre el río Angulo, están bajo riego 37,450 has y se logra la protección del Valle de Angamacutiro contra las avenidas del río Angulo.

Se incluye también en este distrito la presa derivadora el Mezquite, situada a 15 km aguas arriba de Yurécuaro Mich., sobre el río Lerma. Su operación se hace en combinación con la presa el Rosario y en esa forma se riegan 21,150 has en el valle de la Barca Jalisco. También comprende la zona de la Piedad, con un total de 2,057 has irrigadas con bombeo directo del río Lerma, y por último el sector Pastor Ortiz con 6473 has regadas con agua del Lerma que es derivada en la presa Marcazusa.

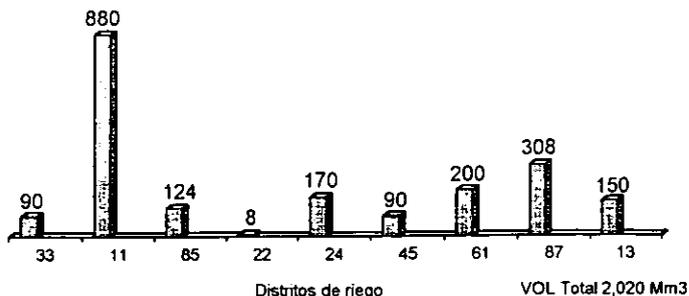
Presas Antonio Rodríguez Lagoné.- Situada en la parte baja de la cuenca del Lerma, sobre el arroyo Zináparo, aproximadamente a unos 8 kilómetros al sur de la Piedad, Mich., que con solo 7.5 millones de m³ de capacidad total permite el riego de 1 240 has.

Estado de Jalisco.-

Distrito de riego No. 13.- Con aprovechamientos del Lerma y Zula, abarca un total de 4 388 has repartidas en los municipios de: Ocotlán 1 967, la Barca 1584, Jamay 837 (hectáreas) funciona a base de bombeo.

La ordenación de la demanda del agua en los anteriores distritos de riego en la cuenca del Lerma se muestra en la siguiente gráfica (2.5)

Gráfica 2.5-Demanda de agua en los Distritos de riego en la cuenca Lerma-Chapala



#33. Estado de México	#45. Maravatio
#11. Alto Lerma	#61. Zamora
#85. La Begoña	#87. Rosario Mezquite+
#22. Zacapu	#13. Estado de Jalisco
#24. Ciénega de Chapala	

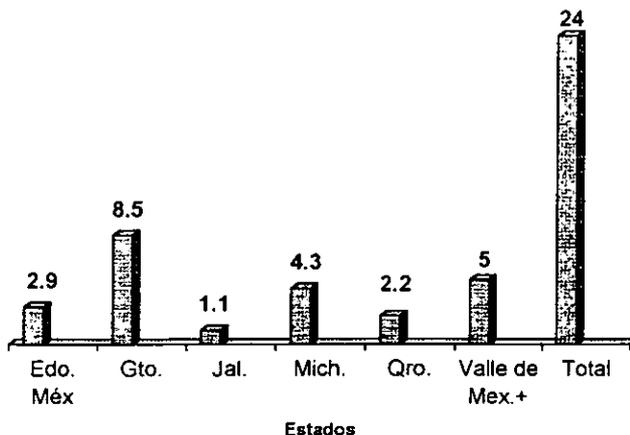
+Incluye las unidades de la Barca Jalisco, la Piedad y Pastor Ortiz, Michoacán.

2.2.2 Abastecimiento de agua potable.

De acuerdo con los resultados preliminares del Censo de Población y Vivienda 1995, en la cuenca del Lerma se asienta una población de aproximadamente 8'600,000 habitantes, el 60% de la población que habita en la cuenca se ubica en localidades urbanas y el 40% en las rurales. La estimación de la demanda total de agua para el abastecimiento de la población de la cuenca, considerando dotaciones entre 150 y 250 l/h/d para las zonas urbanas y de 125 l/h/d para las rurales, asciende a 25m³/s, correspondiendo al medio urbano el 85%. Sin embargo, el volumen abastecido en la cuenca es del orden de 19 m³/s. Es importante destacar que el 33% del volumen total demandado se concentra en las ciudades León, Querétaro, Irapuato, Celaya, Salamanca y Toluca.

Otro abastecimiento de importancia es el que se realiza al Valle de México desde la zona del Alto Lerma, en el que las extracciones son del orden de 5 m³/s. Esto constituye un 14% del volumen total suministrado que es del orden de 35 m³/s., requerido para satisfacer la demanda de sus habitantes. Lo anterior se demuestra en la siguiente gráfica (2.6).

Gráfica 2,6-Abastecimiento de agua potable, 24m3/s



+Población (DF) ubicada fuera de la cuenca

2.2.3 Otros usos.

Los usos que se han descrito anteriormente son principalmente para el riego agrícola y para el abastecimiento de agua potable. Pero también las aguas de la cuenca del Lerma son aprovechadas en el aspecto hidroeléctrico.

Se menciona como de máxima importancia el de la presa Tepuxtepec, que tiene un volumen total de almacenamiento de 538 millones de m³ y cuenta con una capacidad instalada de 79,945 kw en tres plantas, de las cuales dos son de 24,000 kw cada una y la otra de 31,945kw. En su tiempo esta presa desempeño un papel importantísimo en la regulación del río y en el suministro de energía eléctrica a la zona central del país ya que, inclusive, la ciudad de México dependió durante varios años del suministro de la energía eléctrica producida en Tepuxtepec.

Actualmente, con la interconexión de los sistemas principales de generación, ha sido posible derivar la energía producida en esta planta hacia la zona del Bajío, lo que ha significado un factor importante para el desarrollo y progreso de esos lugares.

Capítulo 3

Legislación Nacional para la protección de la calidad del agua.

Es reconocida hoy en día la necesidad de enfrentar los problemas de administración y preservación de los recursos hidráulicos con un enfoque de cuencas.

Ante tal situación, en la cuenca del Lerma se realizaron diversos esfuerzos de coordinación que culminaron el 13 de abril de 1989, en que el Ejecutivo Federal y los gobiernos de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán y Querétaro acordaron en llevar a cabo un Programa de Ordenamiento de los Aprovechamientos Hidráulicos y el Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chapala con los siguientes objetivos:

- La preservación de la calidad del agua y el saneamiento de la cuenca
- La ordenación y regulación de los usos del agua para controlar los volúmenes existentes y hacer una distribución equitativa entre entidades y usuarios.
- El uso eficiente del agua, realizando programas de aprovechamiento urbanos, agropecuarios e industriales, y promoviendo el tratamiento y reutilización de las aguas residuales.
- El manejo y conservación de cuencas y corrientes, promoviendo actividades para infiltración y recarga de acuíferos, retención de azolves y recuperación de suelos.

Cabe mencionar que para conseguir lo anterior se partió del análisis hidrológico del periodo 1970-1990. El criterio para la distribución se basa en atender las demandas totales del sistema de usuarios de la cuenca en función de la disponibilidad real del escurrimiento superficial.

3.1 Declaratoria de clasificación del río Lerma.

Lunes 1 de abril de 1996

DIARIO OFICIAL

Declaratoria de clasificación del río Lerma 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 aguas residuales.

Considerando

Que mediante declaratoria de fecha 2 de enero de 1938, publicada en el Diario Oficial de la Federación del mismo mes y año, se declaró de propiedad nacional a los ríos Lerma y Grande de Santiago y al Lago de Chapala...

Que los recursos hidráulicos del río Lerma han sufrido deterioro en su calidad con motivo de las descargas de aguas residuales provenientes de retomos agrícolas, de procesos industriales y de asentamientos humanos, debiendo preservarse por ser una importante fuente de abastecimiento para los usuarios de los diferentes sectores de la cuenca.

Que la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento confieren atribuciones a la Comisión Nacional del Agua para establecer parámetros que deberán cumplir las descargas, determinar la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que estos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de declaratorias...

Artículo Primero. El río Lerma tiene la delimitación siguiente:

Localizado en la Región Hidrológica número 12, en la subcuenca Lerma-Chapala, se ubica en la parte central de México...

Para fines de clasificación de este cuerpo de agua, el río Lerma se dividió en 22 tramos, que ya se han descrito al final del capítulo uno, Antecedentes Generales.

Los tramos comprendidos por los embalses formados por las presa Alzate(tramo 2), Tepuxtepec (tramo 7) y Solís (tramo 10) no quedan clasificados...

Artículo Segundo. Para efectos de esta Declaratoria, se establecen las definiciones siguientes conforme a la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

1)Parámetro:

Variante tomada como referencia para la medición del nivel en que está presente un contaminante o su efecto.

2)Limite máximo:

Es el valor máximo permisible de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en las descargas de aguas residuales, determinado mediante análisis de muestras representativas de dichas descargas.

3)Capacidad de asimilación:

Es la propiedad que tiene un cuerpo receptor, con su gasto medio de estiaje para restablecer su calidad en forma tal que no se violen en ningún punto ni instante, los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989.

4)Capacidad de dilución:

Es la cantidad de cualquier elemento compuesto o sustancia que, tomando como base el balance hidráulico, pueda recibir un cuerpo receptor sin que se violen en ningún momento ni lugar las concentraciones máximas establecidas en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

5)Residuos peligrosos:

Los definidos como tales por la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Artículo Tercero.- Se prohíbe descargar en el río Lerma en forma directa, indirecta o diluida cualquier plaguicida, fertilizante, sustancia tóxica o residuo peligroso, señalados en las normas oficiales mexicanas NOM-CRP-001-ECOL/93, NOM-CRP-002-ECOL/93 y NOM-003-ECOL/93.

Igualmente se prohíbe depositar o lavar en dicho río los empaques o envases de los mismos plaguicidas, fertilizantes, sustancias tóxicas o residuos peligrosos.

Artículo Cuarto.- Se establece que el uso para el que se clasifica el río Lerma en los tramos 1 al 9 es de riego agrícola y para los tramos 10 al 22, como fuente de abastecimiento de agua potable, en virtud de que el cuerpo receptor que recibe las aguas de esta corriente es el Lago de Chapala, el cual debe preservarse como fuente de abastecimiento de agua potable.

Con base en el estudio realizado se establece que la capacidad para asimilar y diluir contaminantes, expresada como Demanda Bioquímica de Oxígeno en miligramos por litro (mg/l) es la siguiente:

	Capacidad de Dilución, mg/l	Capacidad de Asimilación mg/l
1	20.05	2.92
2	41.71	2.48
3	20.41	2.87
4	28.09	3.09
5	32.98	5.19
6	32.98	5.19
7	33.29	4.62
8	34.02	4.31
9	36.13	5.55
10	37.94	5.17
11	35.61	5.59
12	34.87	5.00
13	32.35	5.27
14	30.37	5.65
15	30.78	6.76
16	30.97	5.92
17	33.97	7.20
18	35.68	4.77
19	36.38	4.52
20	35.26	5.94
21	35.26	6.56
22	35.65	7.11

Artículo Quinto.- Se establecen los siguientes plazos para cumplir las metas de calidad del agua.

Primer Plazo:

En el año 2005, la calidad del agua que se debe alcanzar en los tramos 1 al 9 del río Lerma es la correspondiente a riego agrícola, y en los tramos 10 al 22 la correspondiente a fuente de abastecimiento de agua potable, tal como dicha calidad se define en los Criterio Ecológicos de Calidad del Agua.

Segundo Plazo:

En el año 2010, la calidad del agua que se debe alcanzar en los 22 tramos del río Lerma es la correspondiente a fuente de abastecimiento de agua potable, tal como dicha calidad se define en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Tercer Plazo:

En el año 2020, la calidad del agua que se debe alcanzar en los tramos del río Lerma es la correspondiente a la protección de la vida acuática en agua dulce, tal como dicha calidad se define en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Artículo Sexto.- Conforme a las metas de calidad del agua establecidas en el artículo anterior de la presente Declaratoria y de acuerdo a los usos del agua en el río Lerma, se determinó que los parámetros primarios que se deberán considerar en el control de las descargas al río Lerma son los siguientes:

- Potencial hidrógeno (PH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos sedimentables
- Grasas y aceites
- Fósforo total
- Nitrógeno total Kjeldahl
- Coliformes fecales

Además, los parámetros secundarios que deberán considerar, de acuerdo con las características de las descargas, son las siguientes:

- | | |
|--|--------------------------|
| ▪ Temperatura | ▪ Cobre |
| ▪ Conductividad Eléctrica | ▪ Cromo total |
| ▪ Relación de absorción de sodio | ▪ Manganeso |
| ▪ Alcalinidad total | ▪ Níquel |
| ▪ Dureza total | ▪ Plomo |
| ▪ Fluoruros | ▪ Zinc |
| ▪ Nitrógeno amoniacal | ▪ Mercurio |
| ▪ Sustancias activas al azul de metileno | ▪ Cromo hexavalente |
| ▪ Cianuros | ▪ Hierro |
| ▪ Aluminio | ▪ Fenoles |
| ▪ Arsénico | ▪ Bifenilos policlorados |
| ▪ Bario | ▪ Coliformes Totales |
| ▪ Boro | ▪ Huevos de helmito |
| ▪ Cadmio | |

Así mismo, se podrán incluir los relacionados en el anexo A de la norma NOM-CCA-001-ECOL/1993, en caso.

Artículo Séptimo.- Se establece que los límites máximos de descarga para el río Lerma son los siguientes:

DEL INICIO DEL TRAMO 1 AL FINAL DEL TRAMO 9

PARAMETRO	1er. PLAZO	2º PLAZO	3º PLAZO	UNIDADES
PH	6-9	6-9	6-9	Unidades de PH
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.085	0.080	0.030	Kg/m ³
Demanda Química de Oxígeno	0.22	0.210	0.090	Kg/m ³
Sólidos Suspendidos Totales	0.085	0.080	0.030	Kg/m ³
Sólidos Sedimentables	1.50	1.50	1.20	ml / l
Grasas y Aceites	0.020	0.010	0.005	Kg/m ³
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	
Nitrógeno Total	0.030	0.030	0.015	Kg/m ³
Fósforo Total	0.008	0.008	0.005	Kg/m ³
Coliformes Totales	1000	1000	500	NMP/100 ml

DEL INICIO DEL TRAMO 10 AL FINAL DEL TRAMO 22

PARAMETRO	1er. PLAZO	2º PLAZO	3º PLAZO	UNIDADES
PH	6-9	6-9	6-9	Unidades de PH
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.080	0.080	0.030	Kg/m ³
Demanda Química de Oxígeno	0.210	0.210	0.090	Kg/m ³
Sólidos Suspendidos Totales	0.080	0.080	0.030	Kg/m ³
Sólidos Sedimentables	1.50	1.50	1.20	ml / l
Grasas y Aceites	0.020	0.010	0.005	Kg/m ³
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	
Nitrógeno Total	0.030	0.030	0.015	Kg/m ³
Fósforo Total	0.008	0.008	0.005	Kg/m ³
Coliformes Totales	1000	1000	500	NMP/100 ml

Artículo Octavo.- Las capacidades de asimilación y dilución de contaminantes señaladas en el artículo cuarto de este instrumento, así como los límites máximos de descarga de los contaminantes especificados en el artículo anterior, serán la base para fijar las condiciones particulares de descarga.

Artículo Noveno.- En el caso que se identifiquen descargas que viertan contaminantes no considerados dentro de los parámetros incluidos en la presente declaratoria, la Comisión Nacional del Agua les fijará condiciones particulares de descarga tomando en cuenta los parámetros señalados en este instrumento y aquellos que sean necesarios para preservar la calidad y el uso del cuerpo receptor.

3.2 Norma: NOM-001

El lunes 24 de junio de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Proyecto de 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.

A continuación se presenta un resumen del contenido de esta norma.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas residuales provenientes de drenajes pluviales independientes.

Especificaciones.

a) La concentración de contaminantes básicos y tóxicos para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe ser superior al valor indicado como límite máximo permisible mostrado en el siguiente (tabla 3.1) de los contaminantes básicos.

Tabla 3.1
Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

Parámetros	Ríos Uso riego agrícola		Embalses naturales Uso riego agrícola		Suelo Uso riego agrícola	
	PM	PD	PM	PD	PM	PD
(miligramos por litro excepto cuando se especifique)						
Temperatura (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Grasas y aceites	15	25	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales	100	175	75	125	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	100	200	75	150	N.A.	N.A.
Nitrógeno Total Kjeldahl	15	25	15	25	N.A.	N.A.
Fósforo total	10	20	10	20	N.A.	N.A.

Notas:

N.A. NO ES APLICABLE
P.D. PROMEDIO DIARIO
P.M. PROMEDIO MENSUAL

Las unidades del potencial de hidrógeno (ph) no debe ser mayor de 10 ni menores de 5

b) El límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores es de 1,000 y 2,000 el número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml, para el promedio mensual y diario respectivamente.

c) Las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), el límite máximo permisible de huevos de helmitos para riego restringido es de 5 por litro; para riego irrestricto es de uno por litro.

d) Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales vertidas a cuerpos receptores deberán cumplir con la Norma dentro del plazo establecido en la tabla 3.2 de esta Norma Oficial Mexicana. De esta manera el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los intervalos de población y la inversión para la construcción de la infraestructura adecuada.

Tabla 3.2

Fecha de cumplimiento a partir de:	Intervalo de población
1 enero 2000	Mayor o igual a 50.000 habitantes
1 enero 2005	Mayor o igual a 20.000 habitantes
1 enero 2010	Mayor o igual a 2.500 habitantes

e) Los responsables de las descargas de aguas residuales no municipales vertidas a cuerpos receptores deberán cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana dentro de los plazos establecidos en la tabla 3.3 El cumplimiento es también gradual y progresivo de acuerdo con la carga contaminante manifestada en el Registro Público de los Derechos del Agua (REPDA)

Tabla 3.3

Fecha de cumplimiento a partir de:	Carga contaminante de las descargas no municipales	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno TON/DIA	Sólidos Suspendedos Totales TON/DIA
1 enero 2000	Mayor o igual a 3.0	Mayor o igual a 3.0
1 enero 2005	Mayor o igual a 1.2	Mayor o igual a 1.2
1 enero 2010	todos	todos

3.3 Norma: NOM-002

El jueves 9 de enero de 1997, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Proyecto de norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado.

A continuación se presenta un resumen del contenido de la citada norma.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado a fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

Especificaciones

1) La concentración de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, no debe ser superior a la indicada como límite máximo permisible en tabla 3.4 siguiente:

Tabla 3.4
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Parámetros (mg/l, excepto cuando se especifique otra)	Concentraciones Promedio mensual	Concentraciones Promedio diario
Grasas y aceites	50	100
Sólidos sedimentables (ml/l)	5.0	10.0
Arsénico	0.5	1.0
Cadmio	0.5	1.0
Cianuro	1.0	2.0
Cobre	10.0	20.0
Cromo	2.5	5.0
Mercurio	0.01	0.02

2) Las unidades de potencial de hidrógeno (ph) no deben ser mayores de 10 (diez) ni menores de 6 (seis), mediante medición instantánea.

3) El límite máximo permisible de temperatura es de 40°C, medición instantánea. Se permitirá descargas a temperaturas mayores siempre y cuando se demuestre al municipio que esté a cargo del alcantarillado correspondiente, por medio de un estudio sustentado que no dañe al sistema del mismo.

4) De acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMK-AA-006 referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana, la interpretación del resultado respecto a la materia flotante debe ser ausente.

5) No se debe descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado sustancias o residuos considerados peligrosos, conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes.

6) Los municipios podrán fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado de manera individual o colectiva que establezca lo siguiente:

- I) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes
- II) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta norma

Lo anterior debe estar sustentado en estudios específicos, presentados por los afectados o por el municipio competente.

7) Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana, en las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 3.5 de esta norma. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al número de habitantes y se debe tomar como referencia el último Censo General de Población Oficial.

Tabla 3.5

Fecha de cumplimiento a partir de:	HABITANTES
1º enero de 1999	Mayor o igual a 50,000 habitantes
1º enero de 2004	Mayor o igual a 20,000 habitantes
1º enero de 2009	Mayor o igual a 2,500 habitantes

3.4 Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, y Proyectos NOM-004-ECOL, NOM-005-ECOL.

A ésta fecha se ha aprobado y publicado la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, de la cual se presenta un resumen ; y en lo que respecta a las NOM-004-ECOL, NOM-005-ECOL, se encuentran en proceso de proyecto de acuerdo al procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización de normas oficiales mexicanas. A través del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental.

NOM-003-ECOL-97. Publicada el Lunes 21 de septiembre de 1998.

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehusen en servicios al público.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

Definiciones.

1.- Aguas residuales

Las aguas residuales de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como las mezclas de ellas.

2 - Aguas crudas

Son las aguas residuales sin tratamiento

3.- Aguas residuales tratadas

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipos físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

4 - Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o establecidos mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana solo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno, y sólidos suspendidos totales.

5.- Contaminantes patógenos y parasitarios

Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora y fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

6.- Entidad Pública

Los gobiernos de los estados, del Distrito Federal, y de los municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

7.- Lago artificial recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

8.- Lago artificial no recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

9.- Limite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

10.- Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

11.- Reuso en servicios al público con contacto directo

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

12.- Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional.

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Especificaciones

- a) Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la siguiente tabla.3.6 de esta norma:

Tabla 3.6
Límites máximos permisibles de contaminantes

Tipo de reuso	Promedio Mensual				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites Mg/l	DBO ₅ Mg/l	SSTmg/l
Servicios al público Con contacto directo	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al público Con contacto Indirecto u ocasional	1.000	≤ 5	15	30	30

- b) La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.
c) El agua residual tratada reusada en servicio al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados

Publicación Adjunta:

Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto

-Objetivo

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

-Campo de aplicación

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

-Definiciones

1.- Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

2.- Platyhelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. Diminuta*, entre otros.

3.- Nematelminetos: gusano de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

4.- Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

5.- Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo, la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

3.5 Ley General de Salud.

Objetivo:

La presente Ley reglamenta el derecho a la protección de la salud que tiene toda persona en los términos del artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.(artículo 1)

La Ley General de Salud se ocupa también de la misma materia que las anteriores leyes mencionadas, aunque desde una perspectiva circunscrita a la salud humana, estableciendo que queda prohibida la descarga de aguas residuales o de contaminantes en cualquier cuerpo de agua superficial o subterráneo, cuyas aguas se destinen para uso o consumo humano, los usuarios que utilicen aguas que posteriormente serán utilizadas para uso o consumo de la población, están obligados a darles el tratamiento correspondiente a fin de evitar riegos para la salud humana.(artículo 122)

Artículo 122.-

Queda prohibida la descarga de aguas residuales sin el tratamiento para satisfacer los criterios sanitarios emitidos de acuerdo con la fracción III del artículo 118, así como de residuos peligrosos.

A continuación se presentan los títulos de la Ley General de Salud.

TITULO

- I. Disposiciones generales
- II. Sistema nacional de salud
- III. Prestación de los servicios de salud
- IV. Recursos humanos para los servicios de salud
- V. Investigación para la salud
- VI. Información para la salud
- VII. Promoción de la salud
- VIII. Prevención y control de enfermedades y accidentes
- IX. Asistencia social, prevención de invalidez y rehabilitación de inválidos
- X. Acción extraordinaria en materia de salubridad general
- XI. Programa contra las adicciones
- XII. Control sanitario de productos y servicios y de su importación y exportación
- XIII. Publicidad
- XIV. Control sanitario de las disposiciones de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos
- XV. Sanidad internacional
- XVI. Autorizaciones y certificados
- XVII. Vigilancia sanitaria
- XVIII. Medidas de seguridad, sanciones y delitos.

Capítulo 4

DATOS BASICOS PARA EL ESTUDIO.

En la cuenca del río Lerma, se han conjuntado esfuerzos de las autoridades de los gobiernos locales, de la Comisión Nacional del Agua, de Universidades locales y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para enfrentar la problemática del saneamiento y preservación de ésta que por diversas razones, una de las cuencas más importantes del país.

Dentro del proceso para evaluar la calidad de los cuerpos de agua, se encuentran las tareas de almacenamiento, análisis e interpretación de los datos de campo recolectados durante las etapas de monitoreo.

Sin un buen método de almacenamiento y análisis, la interpretación y evaluación final son prácticamente imposibles de llevar a cabo. Estas tareas se están realizando con equipos de cómputo, con sistemas gráficos de alta capacidad, involucrando el uso de bases de datos, análisis estadísticos, determinación de tendencias, correlaciones, etcétera.

4.1 Capacidad de asimilación y dilución del río Lerma.

Cuando se descargan aguas negras en una corriente, continúan la degradación y la descomposición hasta completarse. Una corriente contaminada en un punto dado tenderá a volver a un estado similar al de antes de la contaminación, como resultado de la descomposición de la materia orgánica contaminante. A esto se le designa comúnmente como proceso de *autopurificación*. Se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos. Las reacciones físicas son esencialmente: la de sedimentación de los sólidos suspendidos, formándose depósitos que se conocen como bancos de lodo; la de clarificación y otros efectos de la luz del sol y la reareación.

La introducción de cantidades excesivas de residuos a una corriente de agua, altera el ciclo al promover un rápido crecimiento bacteriano, que puede producir una disminución del oxígeno disuelto en el agua. Las aguas contaminadas se caracterizan por tener una gran cantidad de un número reducido de especies. Al estabilizarse el exceso de materia orgánica se establece el ciclo normal (autodepuración).

A menudo las normas de calidad del agua se establece la manera que se pueda mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto tal que sea capaz de proteger el ciclo natural en los cursos del agua, aprovechando su capacidad de *asimilación natural*.

Los factores que afectan el proceso de autodepuración de las corrientes son: dilución, agitación, sedimentación, luz solar y temperatura.

La dilución depende de que se descarguen relativamente pequeñas cantidades de desecho en grandes volúmenes de agua; puede calcularse usando el principio de conservación de masa. Si se conoce la tasa de flujo volumétrico y la concentración de un material determinado, tanto en la corriente como en la descarga de desechos, la concentración después de la mezcla puede calcularse como sigue:

$$X_c Q_c + X_d Q_d = X_m Q_m$$

Donde X representa la concentración (masa/volumen) de material contaminante, Q es el gasto (volumen/tiempo), los subíndices *c,d* y *m* designan la corriente, descarga y condiciones de la mezcla.

La agitación del agua en las corrientes propicia la dispersión del agua residual, disminuyendo la posibilidad de creación de zonas localizadas con altas concentraciones de contaminantes.

La sedimentación puede eliminar los sólidos suspendidos, los que contribuyen a la DBO, si la velocidad de la corriente es menor que la de arrastre de las partículas. Tal eliminación mejora la calidad del agua corriente después de la zona de sedimentación, pero no cabe duda que es perjudicial en la zona en que los sólidos se acumulan.

La luz solar actúa como desinfectante y estimula el crecimiento de las algas. Estas producen oxígeno durante el día, pero lo consumen durante la noche.

La temperatura afecta la solubilidad del OD en el agua, a la actividad de las bacterias y a la velocidad de reareación. La condición crítica se suele alcanzar en épocas de alta temperatura en las que el consumo de oxígeno es elevado y su disponibilidad es reducida.

Con base en el estudio realizado en el río Lerma, se establece en la Declaratoria descrita en el capítulo anterior la capacidad para asimilar y diluir contaminantes a lo largo del río, expresada como Demanda Bioquímica de Oxígeno en miligramos por litro (mg/l).

4.2 Determinación de los parámetros de calidad del agua en el río Lerma.

La evaluación de la contaminación sólo se concibe si se especifica el uso o destino del agua y se llevan a cabo los análisis necesarios para conocer sus contenidos. Entre los diferentes análisis existentes para determinar los parámetros que definen el grado de contaminación se encuentran los físicos, químicos y bacteriológicos.

Los exámenes físicos son los que se hacen para temperatura, turbiedad, sólidos y color. Los exámenes químicos son aquellos que miden las cantidades de metales, tales como cobre, plomo, zinc y hierro, las cantidades de alcalinidad y dureza; la intensidad de la acidez, el nitrógeno, cloruros, oxígeno disuelto y DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Los exámenes bacteriológicos determinan el número probable y clase de bacterias presentes.

En la Declaratoria del río Lerma, de acuerdo a su importancia los parámetros se clasifican en primarios y secundarios considerados en el control de las descargas, y de los cuales describiremos algunos de los más importantes para éste presente estudio.

4.2.1 Parámetros primarios.

- **Potencial de hidrógeno (PH)**
Es una medida de la concentración del ión Hidrógeno. El PH influye en los procesos de un sistema de abastecimiento de agua: coagulación, floculación, desinfección, ablandamiento y control de corrosión. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales deben mantenerse en un cierto ámbito.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**
Es una medida del contenido de materia orgánica en el agua. La DBO estima la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua por medio de una población microbiana heterogénea. A mayor cantidad de materia orgánica vertida en un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, esto repercutirá en la calidad del agua.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**
Proporciona la medida del oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica en el agua por procedimientos químicos. Es un parámetro importante y rápido para determinar la concentración de materia orgánica en aguas residuales industriales y domésticas.
- **Materia flotante**
El cuerpo de agua debe estar libre(ausente) de sustancias que contengan materia flotante que den apariencia desagradable por ejemplo.
En el agua natural: hojas ramas, etc.;
En el agua residual: papel , trapos, arenas, etc.
- **Sólidos suspendidos totales**
Las principales determinaciones están encaminadas a obtener información sobre la cantidad de sólidos totales, suspendidos totales, disueltos(evaluando las fracciones fija y volátil en cada caso), y sedimentables, como se muestra en la forma siguiente:

Sólidos totales: fijos y volátiles
Sólidos suspendidos totales: fijos y volátiles
Sólidos disueltos: fijos y volátiles
Sólidos sedimentables

Es importante conocer los sólidos totales volátiles y fijos, pues proporciona una medida de la cantidad de materia orgánica que está presente en la fracción sólida de las aguas residuales domésticas e industriales y en muestras de lodos

La evaluación de sólidos suspendidos es extremadamente valiosa en los análisis de aguas contaminadas y de aguas residuales. Es uno de los mejores parámetros para valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento en el trabajo de la contaminación de las corrientes, se considera que todos los sólidos suspendidos son sedimentables, no siendo el tiempo un factor limitante.

- **Sólidos sedimentables**
La sedimentación se espera que ocurra a través de la floculación biológica y química, de aquí que la medida de sólidos suspendidos se considere tan significativa como la demanda bioquímica de oxígeno.
- **Grasas y aceites (GA)**
El término grasas y aceites se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales que se refieren a su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar películas en la superficie de aquellas. La presencia de grasas y aceites en el agua interfiere con la presencia de oxígeno atmosférico. Imparten sabor y olor desagradable afectando la vida acuática. Dan sabor a los peces para consumo humano.
- **Fósforo total (PO₄)**
Son nutrientes esenciales para el crecimiento de los organismos. Se utiliza en la formulación de detergentes y se encuentran en las aguas residuales domésticas. La descarga de aguas de retorno agrícola y de aguas residuales a cuerpos de aguas pueden estimular el crecimiento de organismos acuáticos micro y macro fotosintéticos en forma explosiva propiciando al fenómeno de eutroficación.
- **Nitrógeno total Kjeldahl**
Analíticamente, el nitrógeno orgánico y el amoniacal pueden determinarse juntos y se les llama "nitrógeno total" o más correctamente "nitrógeno total Kjeldahl", por el método que se utiliza para su determinación. Incluye compuestos naturales como proteínas, péptidos, ácidos nucleicos, urea y muchos compuestos sintéticos. Las concentraciones de nitrógeno orgánico en aguas y aguas de desecho varían de menos de 10 µg/l en las primeras hasta más de 10 mg/l en las últimas.

El nitrógeno es importante también como elemento fertilizante esencial para el crecimiento de algas; los análisis de nitrógeno sirven para controlar este crecimiento y evitar una sobre población de algas en cuerpos receptores de desechos domésticos y efluentes de plantas de tratamiento.
- **Coliformes fecales (CF)**
Son bacilos cortos, gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a temperaturas entre 35 ± 0.5 y 44.5 ± 0.2 °C en periodos de 24 a 48 horas, que viven en el tracto intestinal de los seres humanos, animales de sangre caliente y se utilizan como indicadores de contaminación fecal.

4.2.2. Parámetros secundarios.

Los parámetros secundarios que se deberán considerar en el control de las descargas en el río Lerma son:

- **Temperatura (T)**
Es una propiedad termodinámica que denota cuanto calor presenta un cuerpo. La temperatura juega un papel fundamental en la autopurificación de los desechos orgánicos, afectando simultáneamente la rapidez de estabilización de la materia orgánica, el nivel de saturación del oxígeno disuelto y la rapidez de aereación.

- **Alcalinidad total (Al)**
La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos, se debe principalmente a sales de ácidos débiles, contribuyendo también las sales débiles y fuertes. Es importante en el tratamiento físico químico del agua
- **Dureza total (D)**
Es una manifestación de la concentración de iones de calcio y magnesio en el agua, que impide que el jabón haga espuma. Las aguas con alto contenido de estos iones se denominan aguas duras y tienden a provocar incrustaciones en las calderas y tuberías
- **Nitrógeno Amoniacal (NH₃).** En aguas y aguas residuales las formas de nitrógeno de gran interés son de acuerdo a su estado de oxidación: Nitratos, Nitritos, Nitrógenos, Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Orgánico; todos pertenecen al ciclo del Nitrógeno y son bioquímicamente interconvertibles. El Nitrógeno Amoniacal se encuentra en forma natural en aguas superficiales en concentraciones bajas. En aguas residuales se encuentran por hidrólisis de la urea y otros compuestos orgánicos, reacciona con el cloro y forma cloraminas.
- **Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)**
Detergentes, son sustancias que tienen propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en que están disueltos. Son poco biodegradables provocando espumas que desde el punto de vista estético son indeseables, además presentan cierta toxicidad para la vida acuática.
- **Fenoles (Fo)**
Derivado monohidroxilado del benceno, es ampliamente usado como desinfectante y en la síntesis de productos orgánicos. Se presenta como componente natural de las aguas residuales de las industrias del petróleo, gas y plantas de coque. Los fenoles son indeseables en abastecimiento de agua para la industria de bebidas y alimentos debido al problema de olor y sabor resultantes.
- **Coliformes totales (CT)**
Son bacilos cortos, no esporulados, aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos, que fermentan la lactosa con producción de gas y acidez a 35 ± 0.5 °C en 24-48 horas. Se utilizan como indicadores de contaminación (su ausencia es evidencia de agua bacteriológicamente segura; siempre están presentes en el intestino humano y animales de sangre caliente; eliminados en gran cantidad por los heces)

4.3 Selección de las estaciones de muestreo.

4.3.1 Identificación de las fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación, ya sea tipo municipal, industrial, retorno agrícola, se podrán identificar por el muestreo y de esta manera se fijan las condiciones de dichas descargas, con el fin de preservar la calidad del cuerpo de agua.

Cuando se descargan en el agua los sólidos de las aguas negras, tienen lugar la degradación y la descomposición debido a las actividades de las bacterias y los microorganismos presentes en las aguas negras y en las aguas receptoras. El oxígeno es necesario para que se verifiquen todas esas reacciones biológicas y bioquímicas. Son los organismos aerobios los que hacen este trabajo si hay oxígeno presente y es la descomposición aerobia de los sólidos orgánicos la que tiene lugar.

Cuando no hay oxígeno, son los organismos anaerobios los que predominan y resulta la putrefacción. Por consiguiente, cuando se descargan aguas negras en una corriente, las reacciones resultantes dependerán del oxígeno disuelto que contenga el agua.

4.3.2 Localización y acondicionamiento de los sitios de muestreo.

Comisión Nacional del agua define desde el gabinete los focos principales de contaminación, sentidos de escurrimientos, caudales, distancias, etcétera; para definir el número y ubicación de los sitios de muestreo.

Además se debe considerar la seguridad de obtener la muestra en toda época de año ó por los menos dentro del lapso de desarrollo de la investigación. Los primeros resultados darán la pauta para reorganizar los sitios de muestreo eliminando los que den resultados iguales ó con poca variación.

4.4 Muestreo y análisis

Para obtener un indicio verdadero de la naturaleza de una agua natural o residual es necesario asegurarse primero que la muestra es representativa de la fuente. Satisfecho este requisito, se debe desarrollar los análisis apropiados mediante procedimientos estándar y comparar los resultados obtenidos por analistas diferentes.

La razón básica para examinar el agua y aguas negras es determinar cuál es el tratamiento necesario y permitir la aplicación de los métodos más efectivos. Las pruebas de laboratorio sólo proporcionan una parte de los datos necesarios; deberán estar acompañadas de exámenes de campo y observaciones. Las pruebas de laboratorio muestran la situación en el momento particular en que se tomó la muestra, pero pueden dar poca o ninguna indicación de las condiciones que existen realmente en el campo. Para la interpretación de los resultados, generalmente son necesarios tanto un estudio de campo competente como una serie de pruebas de laboratorio.

4.4.1 Periodo de Muestreo

Cuando se diseña un programa de muestreo es fundamental que se especifique claramente su objetivo, por ejemplo, estimar concentraciones máximas o medias, detectar cambios o tendencias, estimar porcentajes o tener una base para cobrar cada efluente industrial. También se debe especificar el margen de error tolerable; y también es necesario tener en mente los recursos disponibles para la toma de muestras y análisis, pues se puede encontrar que reducir la incertidumbre de los resultados podría requerir el doble número de muestras, lo que haría costoso el análisis. Por tanto, es importante establecer un nivel práctico y aceptable en las variaciones de los resultados en base al uso deseado. En forma ideal todos los análisis se deben practicar inmediatamente después de la recolección de las muestras, ya que entre más rápido se hagan, es más probable que los resultados sean una evaluación verdadera de la naturaleza real del líquido *in situ*.

Con característica inestables, como gases disueltos, constituyentes oxidables o reducibles, etc., los análisis deben efectuarse en el campo o tratar las muestras adecuadamente para fijar las concentraciones de los materiales inestables. Los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo en la composición de una muestra se pueden retardar si se almacena a baja temperatura (4°C); también se recomienda no exponerla a la luz.

Entre mas contaminada esté el agua es más corto el tiempo disponible para la toma de muestras y el analisis si se requieren evitar errores significativos.

Para dar un informe estadístico de los datos de la calidad del agua en el río Lerma es necesario contar cuando menos 16 muestras o tres años de registro por parámetro, en el banco de datos.

4.4.2 Recopilación de los datos obtenidos en el laboratorio.

El estudio de calidad del agua, se baso en datos proporcionados por CNA de algunos parámetros más representativos de las siguientes estaciones de muestreo:

Nombre de la Estación	Estado	Localización	
Puente Solis (DIF)	México	Longitud:100.051	Latitud:19.97
Acámbaro(Puente Ferrocarril)	Guanajuato	Longitud:100.748	Latitud:20.06
Aguas Arriba de la Piedad	Michoacán	Longitud:101.983	Latitud:20.35
Briseñas	Jalisco	Longitud:102.520	Latitud:20.26

Con esta información se analizará el comportamiento de los parámetros en el río Lerma, de acuerdo a la ubicación de las anteriores estaciones, siguiendo el sentido del escurrimiento.+

En las siguientes tablas se presenta el monitoreo de cada estación en el intervalo de 1991 hasta 1998, con cuatro muestras en promedio efectuadas por año, tanto en época de estiaje como de lluvia. Los datos corresponden a los parámetros fisicoquímicos más representativos y que son valorados numéricamente.

Estación de Monitoreo	Tabla N°
Puente Solis (DIF)	4.1
Acámbaro(Puente Ferrocarril)	4.2
Aguas Arriba de la Piedad	4.3
Briseñas	4.4

+Este análisis está basado en su realización de acuerdo al BOLETIN DE CALIDAD DEL AGUA N° 6, de la CNA, elaborado en julio de 1988.

TABLA 4.1

Estación: Puente Solís (DIF)			Estado: México				
DATE	HORA	COLI TOT	OBOS	GRAS ACEI	PH SITU	PH LAB	SAAM
28-Ene-91	08:25	700	38.5	5.6		8	
22-Abr-91	08:00		4.06	3.3		7.6	
15-Jul-91	09:05			31.4		7.5	0.214
28-Oct-91	08:30		9.13	54.4		7.8	0.928
30-Mar-92		240000	5.8		7.9		2.048
26-Jun-92	08:50	560000	6.8	8.4		8	
23-Sep-92	15:35	300000	12.34	10.08	7.8		0.019
30-Nov-92	16:45	80000	15.7	9.5	7.4		0.441
04-Mar-93		400	5.92	22.5		7.9	584
25-May-93	08:30	49000		21.9	7.7		0.698
13-Sep-93	07:35	200000	47.6	4.9	8.1		0.062
07-Dic-93	08:45	90000	4.73	7.52	7.7		0.165
01-Feb-94		1000	25.375	10.7		7.8	0.001
01-Feb-94	10:30		25.375	10.7		7.8	0.001
26-Abr-94	08:20	46000	28	7.08		7.6	0.516
09-Ago-94	18:40		67	54.4		8	0.293
10-Ago-94	08:40		67	54.4		8	0.293
29-Nov-94	20:10	46000	32	5		8	0.61
13-Mar-95	16:00	230000		76			
19-Jun-95	16:00	24000		54		7.5	
06-Sep-95	17:10				6.6		
13-Feb-96	13:35				8		
07-May-96	13:20	24000	72.8		7.8	7.2	
20-Ago-96	15:40	150000	73.6	12.5	6.9	7.1	
04-Nov-96	16:00	150000	11.5	9.9	8	7.5	
20-Feb-97	16:00	9300	12.2	18.5	7.4	7.4	
14-Abr-97	16:30	15000	16		7.4	7.6	
07-Ago-97	16:30	46000	22.5	19.2	7.1	7.3	
06-Oct-97	17:00	240000	8.4		7.4	6.8	
03-Feb-98	15:48	9300	30			7	
19-Abr-98	17:10	24000	62.3	49.3	7.31	7.77	
19-Jun-98	17:10	24000	62.3	49.3	7.31	7.77	
24-Ago-98	15:15	240000	17	0.4	6	6.5	
16-Nov-98	15:30	43000	19.7		7	7.5	

TABLA 4.2

Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)			Estado: Guanajuato				
DATE	HORA	COLI TOT	DBOS	GRAS ACEI	PH SITU	PH LAB	SAAM
28-Ene-91			5.48	16.5	6	7.8	0.39
22-Abr-91	10:00		1.1			7.5	0.106
08-Jul-91	12:20	240000		62.03	6	7.5	0.288
28-Oct-91	10:20		3.55	72.7	7	7.85	0.524
30-Mar-92	10:35	34000	1.26	72.7	7	7.9	0.15
18-Jun-92		500000	0.738	4.88	7	8	0.01
23-Sep-92	17:50	5200000	5.328	22.22	7.7		0.012
28-Sep-92		5200000	5.33	22.2	7	7.7	0.012
30-Nov-92		780000	4.11	11.9	7.6		0.317
09-Dic-92	18:35	780000	4.11	11.91	7.6	7	0.317
04-Mar-93		16700	2.34	35.4		7.8	0.325
24-May-93		130000		19.6	7	7.6	0.433
26-Ago-93		570000	4.68	4.07	7	7.9	0.14
13-Sep-93		570000	4.68	4.07		7.9	0.143
22-Nov-93		4000	2.36	4.04	7	8	0.089
07-Dic-93	10:45	4000	2.36	4.04	8		0.089
01-Feb-94	12:25	12000	4.29	6		7.8	0.117
01-Feb-94	12:50	12000	4.29	6	7	7.8	0.117
26-Abr-94	11:20	240000	3.5	6.56		7.6	0.328
21-Jul-94	13:05	2.4E+11	12	35.4	7	8	0.64
09-Ago-94	11:00		6	43.1		8.1	0.01
10-Ago-94	11:00		6	43.1		8.1	0.1
29-Nov-94	10:20	2400000	7.8	9		8	0.76
16-May-95	12:50	2400000	7.25	2.5	7	6.9	0.118
08-Sep-95	14:45	1100000	10.2	4.7	7	7.4	2.34
14-Nov-95		23000	3.24	5.57	7	8	0.118
19-Feb-96	16:55	240000	9.8	9.6	7	7.8	0.79
06-May-96	15:45	93000	3.04	2.47		7.7	0.01
29-Ago-96	16:55	240000	7.6	3.83	7	8.5	0.05
04-Nov-96	16:50	40000	4.68	6.57	7	8.1	0.423
19-Feb-97	16:43	43000	9.7	7.21		7.8	0.286
15-May-97	17:15	2100	8.12	3.98		8	0.101
27-Ago-97	16:05	4300	15.6	2.47		8.1	0.073
13-Nov-97	17:03	46000	25.8	1.23		6.7	0.033
12-Feb-98	16:40	900	7.94	3.45		7.5	
27-May-98	17:15	110000	4.24	0.114		8	0.05
18-Ago-98	17:05	2400000	19.2	2.55		7.4	0.05
24-Nov-98	15:45	93000	12.7	0.454		7.7	0.654

TABLA 4.3

Estación: A. A., de la Piedad			Estado: Michoacán				
DATE	HORA	COLI TOT	DBOS	GRAS ACEI	PH SITU	PH LAB	SAAM
28-Ene-91	12:30		6.09	2.1	7	7.4	0.31
09-Abr-91	11:10		15.23	13.6	7	7.3	0.608
01-Jul-91	11:15	1100000		39.2	7	6.9	0.263
28-Oct-91	14:30		10.1	16.1	7	7.3	0.288
02-Mar-92	10:00	25000	3.57	16.2	7	7.57	0.11
01-Jun-92	10:45	168000	32.3	14.32		7.6	0.02
06-Sep-92		3300000	8.45	8.53	7.7		1.015
06-Dic-92	12:45	7000	10.68	10.45	7.5		0.334
31-Ene-93	14:20	2000000	22.33	13.1		7.3	0.26
20-May-93	13:00	58000		29.4		7.8	0.151
09-Ago-93	10:30	46000	15	29.7		7.7	0.01
15-Nov-93	12:40	6000	20.3	18.4		8.3	0.001
05-Abr-94	14:00		11.2	4.36			0.01
20-Jul-94		180000	8.8	59.7		7.6	0.332
04-Oct-94	12:50		9.67	13.94			
29-Mar-95		126000	3.2	15.8		7.47	
26-Jun-95		200000	31	14		6.92	
13-Sep-95		1440000		7.3		7.43	
11-Dic-95		170000	9.5	11.5	7	7	
10-Ene-96	16:45	170000			7	7	
23-Abr-96	10:31		29.37	20.41	7	7	
15-Jul-96	11:00		13.95	0.72		7.32	
12-Oct-96	14:45					7	
20-Feb-97	12:15				7	8.15	
13-May-97	9:10				7	8.44	
09-Ago-97					7	7.38	
26-Nov-97	12:30			9.45	7	7.51	
30-Mar-98	11:20			19.53	7	7.67	
30-Mar-98				19.54	7	7.67	
02-Jul-98	11:00		8	16.83	7	7.31	
28-Sep-98	13:30		19.66	16.9	7	7.18	
02-Dic-98	11:15		16	20.5	7	7.65	

Tabla 4.4

Estacion: Briseñas Estado: Jalisco
 No de Secc: S12b-015 Clave: 00JA12CA0180005

DATE	HORA	ALC TOT	CLORU- ROS	COLI FEC	COLI TOT	COND ESP	DBO5	DQO	DUR TOT	FENOL	GRAS ACEIT
7-Ago-91		100	23	400	2800	250	2.8	36	157	0.25	51
27-Nov-91		155	27		30000	300	3	34	148	0.36	105
Promedio Anual		124	25	400	9165	274	2.9	35	152	0.305	73
25-May-92		229	41	6000	8800	540	16	75	203	0.4	35
4-Ago-92		128		7500	10000	400	19	67		0.3	69
Promedio Anual		171	41	6708	9381	465	17	71	203	0.35	49
30-Mar-93		347	23	900	2700	500	14.4	100	259	0.16	67
28-Jul-93		135		4500	5300		16	45	124		23
2-Nov-93		173	36	3100	4800	201.4	18	45	201.4	0.41	106
Promedio Anual		201	29.5	2324	4095	317	16	59	186	0.285	55
22-Mar-94		250	26	23800	40000	500	5.74	26	184	0.28	104
2-Ago-94		152	57			710	15	58	174	0.4	54
Promedio Anual		195	41.5	23800	40000	596	9.3	39	179	0.34	75
30-Mar-95		198	35		100	550	9.7	50	136	0.3	19
2-Ago-95		147	28	850	95000	471	8.92	60	117	0.5	20
23-Oct-95		224	17	600	1900	880	9.08	8	206.04	0.6	47
Promedio Anual		187	26	714	2623	611	9.23	29	149	0.466	26
27-Feb-96	14:00	156	28	23000	58000	650	12	52	165	0.4	14
3-Jul-96	9:40	215	27	4360	7160	640	13	77	168	0.27	9.7
1-Oct-96	9:00	196	29.3	12000	39000	600	27	38	167	0.15	3.5
Promedio Anual		187	28	10636	25445	630	16	53	167	0.273	7.8
6-Abr-97	11:50	230	29	4033	5567	800	13.8	48	178	0.51	8.6
10-Jul-97	8:45	153	36	5680	6350	718	9	42	177	0.32	7.2
29-Jul-97	10:55	305	30	12200	17800	440	17	65	109	0.4	5.1
7-Oct-97	8:45	175	38	5680	6350	718	9	42	177	0.18	7.2
Promedio Anual		216	33	8898	9017	669	12	49	180	0.35	7.03
7-Abr-98	13:46	296	116	4100000	6200000	1825	250	340	112	0.47	15.6
28-Jul-98	9:45	166	15	8000	75000	374	17	37	91	0.31	5.6
5-Oct-98	9:00	189	16	30000	100000	283	10	25	95	0.28	12
Promedio Anual		217	49	1379333	2125000	827	92	134	99	0.35	11.07

Tabla 4.4 (Continuación)

Estacion: Briseñas Estado: Jalisco
 No de Secc: S12b-015 Clave: 00JA12CA0180005

NITRO AMON	NITRO NITRAT	ORTO PO4	OXI DIS	PH SITU	PH LAB	SST	SOLID TOT	SAAM	TEM AGUA	TEM AMB	TURBIE DAD
0.32	0.43	0.39	2.4		7.6	365	220	0.01	25	27	350
0.47	0.68		6.3		8.33	1200	440	0.2	17	21	30
0.39	0.54	0.39	3.9		8	797.5	311	0.04	21	24	102
0.82	0.31	0.28	3		8.01	135	630		24.5	25	13
0.61	0.28	0.65	1.2	7.25		605	1202		24	27	225
0.71	0.29	0.43	1.9	7.25	8.01	370	870		24	26	54
0.72	1.03	0.66	6	7.74		55	450	0.15	23	27	9
1.15	2.03	0.51	2.2		6.88	126	1024	0.14	25	28	79.9
2.03	2.05	0.47	3.7		7.5	202	478	0.15	22.5	26	19.1
1.19	1.62	0.54	3.7	7.74	7.2	127.66	604	0.15	23	27	36
3.33	0.6	0.165	5.38		7.29	71	400	0.27	26	28	5.9
3.35	0.27	3.15	6.6		8.36	141	900	0.52	22.5	26	122
3.34	0.4	0.72	8		7.81	106	600	0.37	24	27	27
0.42	0.36	0.34	5.7		7.68	62	172	0.07			41
0.37	0.83		1.82		7.2	90	704	0.15			179
0.4	1.62		7.9		8.16	115	570	0.04	24	29	22
0.4	0.79	0.34	4.3		7.7	89	410	0.07	24	29	54
0.51		0.9	8.6	7		40	494	0.26	25	28	20
	0.59	0.65	7.3	7	7.6	55	488	0.04			15
1.53	0.98	3.1	1.39	7.43		525	600	0.04	22	22	69
0.88	0.76	1.55	4.4	7.1	7.6	206.66	525	0.07	23	25	27
1.37	0.39	2.7	5.9	8	8.31	90	520	0.07	26.5	26	8.5
1.33	0.1	3.07	3.2	7.4	7.91	188	698	0.04	23	19	66
1.37	0.57	1.53	1.8	6.8	7.84	288	764	0.01	24	31	130
1.33	0.1	3.07	3.2	7.4	7.91	188	698	0.04	23	19	86
1.35	0.29	2.6	3.5	7.4	8.0	189	670	0.04	24	24	73
54	0.16	11.91	0	7	8.15	190	1336	1.7	25	38.5	30
0.94	1.1	4.02	1.4	9.35	8.01	300	686		25	21	150
0.4	1.2	0.95		6.98		270	640	2	23.8	23	156
18.45	0.82	5.63	0.7	7.78	8.08	253	887	1.85	25	28	112

4.5 Identificación de las plantas de tratamiento de aguas residuales y sus gastos.

Las aguas residuales son generadas por las actividades del sector social que incluyen las descargas de residuos de origen doméstico y público: las del sector agropecuario que incluyen los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, así como por las aguas de retomo agrícola; las del sector industrial representado por las descargas originadas por las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población.

El tratamiento de las aguas residuales o aguas negras anteriormente mencionadas, es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado. Una vez completado este proceso de tratamiento, es aun necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se hayan separado.

Hay tres métodos a seguir para llevar a cabo la disposición final de las aguas negras: *por irrigación, subsuperficial y por dilución.*

Una planta de tratamiento de aguas negras se diseña para retirar de las aguas negras las cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permiten su disposición, sin infringir los objetivos reglamentarios propuestos.

Los diversos procesos que se usan para el tratamiento de aguas negras siguen estrechamente los lineamientos de los de autopurificación de una corriente contaminada. Los dispositivos para el tratamiento solamente localizan y limitan estos procesos a un área adecuada, restringida y controlada, y proporcionan las condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímicas.

Hay tres clases principales de procesos de tratamiento:

1.- Procesos físicos que dependen esencialmente de las propiedades físicas de la impureza, como tamaño de partícula, peso específico, viscosidad, etc. Ejemplos comunes de este tipo de procesos son: cribado, sedimentación, filtrado, transferencia de gases.

2.- Procesos químicos que dependen de las propiedades químicas de una impureza o que utilizan las propiedades químicas de reactivos agregados. Algunos procesos químicos son: coagulación, precipitación, intercambio iónico.

3.- Procesos biológicos que utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas. Los procesos biológicos aerobios incluyen filtrado biológico y los lodos activados. Los procesos de oxidación anaerobia se usan para la estabilización de lodos orgánicos y desechos orgánicos de alta concentración.

En algunas situaciones, un solo proceso de tratamiento puede dar el cambio deseado en la composición, pero en la mayoría de los casos, es necesario utilizar una combinación de varios procesos. Por ejemplo, la sedimentación del agua residual quitará parte, pero de ninguna manera toda la materia suspendida.

La adición de un coagulante químico seguido de un agitado suave (floculación) causará la aglomeración de partículas coloidales mismas que se pueden remover en gran parte por sedimentación. La mayoría de los sólidos no sedimentables que quedan, se pueden quitar mediante filtrado en un lecho de arena. La adición de un desinfectante sirve para matar los microorganismos dañinos que hayan sobrevivido a los niveles de tratamiento precedentes.

4.5.1 Plantas actuales operando.

En la cuenca del Lerma, para lograr un vertido adecuado de las aguas tratadas al río, se recurrió a sistemas de alta eficiencia, que consisten en tratamientos biológicos secundarios, de lagunas de estabilización (figura 4.1), lodos activados en diferentes modalidades, aereación extendida (figura 4.2), zanjas de oxidación biológica y convencional (figura 4.3), así como lagunas aereadas de mezclado completo (figura 4.4).

La selección de los procesos de tratamiento se hizo en razón de las características específicas de cada planta, incluyendo área disponible, topografía y tipo de suelo, buscando lograr la mayor uniformidad posible en los procesos, para lograr una adecuada disposición de los efluentes en los cuerpos receptores (río Lerma, Lago de Chapala) ó su reutilización para el riego, según el caso.

-Proceso de lagunas de estabilización

Los sistemas de lagunas de estabilización se refieren a estanques construidos de tierra, de profundidad reducida (menor que 5m.), diseñados para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la masa biológica o biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales (mecánica del fluido y factores físicos, químicos y meteorológicos). El término de lagunas de oxidación se empleaba en el pasado para implicar la oxidación de la materia orgánica con el oxígeno producido por las algas a través de la fotosíntesis. Este aspecto es muy importante pero existen otros procesos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica como lo es la estabilización por digestión anaerobia, el cual es muy importante en las lagunas facultativas primarias y predominantemente en las lagunas anaerobias. La finalidad del proceso es obtener un efluente de características definidas (DBO, DQO, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, algas, nutrientes, parásitos, bacterias y protozoarios patógenos, etc) de acuerdo a su reuso agrícola, piscícola o para descarga a cuerpos receptores.

En el ANEXO 2 se presenta el proyecto de la planta de tratamiento de Zacapu, Michoacán, que es del tipo lagunas de estabilización con capacidad para 120 litros por segundo

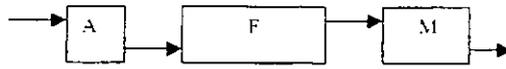
-Proceso de lodos activados por aereación extendida.

Las aguas residuales son canalizadas desde la población hasta una estructura de tratamiento preliminar, que cuenta con unas rejillas de acero para retener la basura sólida. De ahí las aguas pasan a través de unos canales que sirven para asentar las partículas de arena.

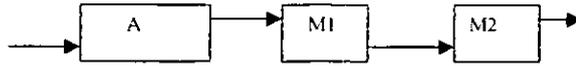
Las aguas negras, ya libres de sólidos gruesos y arena, llegan al cárcamo de bombeo para elevarlas y lograr que en el resto del tratamiento el agua fluya por gravedad.

En la siguiente etapa, las aguas negras pasan por el cárcamo de bombeo a los tanques de aereación o de oxidación biológica, que son de forma rectangular, con una profundidad cercana a los cuatro metros. Estas son las estructuras más importantes del tratamiento: aquí se produce una oxigenación forzada, imprescindible para que las bacterias aerobias degraden la materia orgánica de los desechos que se busca eliminar. Después de un periodo de entre 16 y 20 horas, las aguas adquieren una depuración superior al 80 por ciento. La oxigenación se logra mediante equipos mecánicos de eje vertical -fijos o flotantes-, rotores horizontales tipo jaula de ardilla, así como mediante sopladores y difusores de fondo, o mediante cañones de aire, que son como sopladores flotantes.

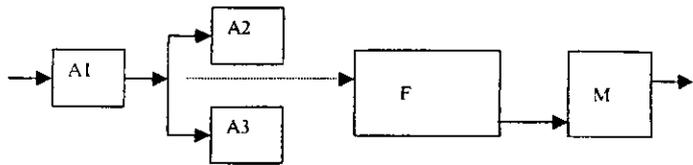
FIGURA 4.1 Arreglos comunes de sistemas lagunares



a) Línea para remoción de patógenos



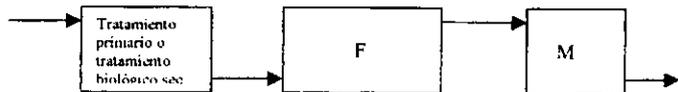
a) Línea francesa



a) Línea para áreas turísticas



a) Línea con lagunas acreadas



a) Línea con tratamiento primario y/o tratamiento biológico secundario

A= anaerobia
F= facultativa
M= maduración

Fig. 4.2 Lodos activados por aereación extendida

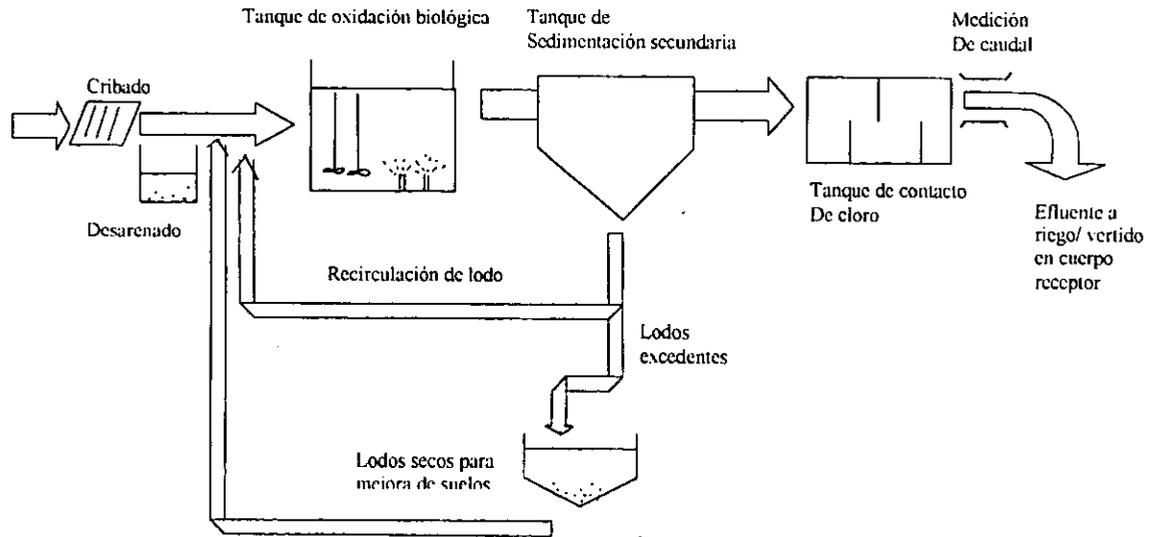


Fig. 4.3 Zanjas de Oxidación Biológica

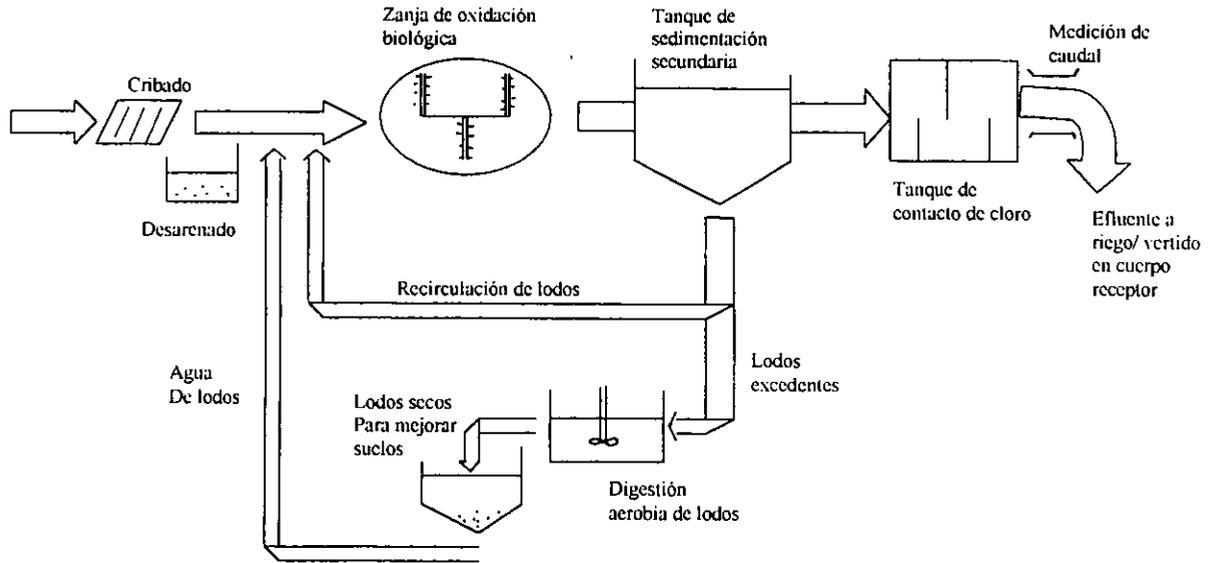
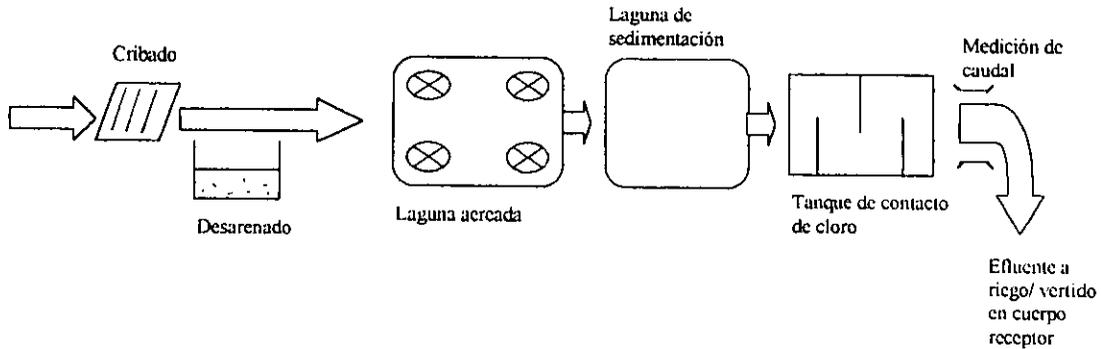


Fig. 4.4 Lagunas Aereadas



-Sistema de zanjas de oxidación biológica.

Este proceso es una variante del de lodos activados, que, como se observa en el diagrama de flujo correspondiente, se asemeja al de aereación extendida, aun en el tiempo en que se retienen las aguas en el tanque de oxidación, que por su forma (una pista elíptica de fondo somero) se denomina zanja de oxidación biológica.

La sedimentación secundaria se realiza en tanques circulares con equipo electromecánico para recolectar y extraer los lodos que se van acumulando. Estos lodos, en su mayoría, se regresan al inicio del proceso para entrar en contacto con materia orgánica fresca.

-Sistema de Lagunas Aereadas de mezclado completo.

Difiere de los procesos de lodos activados en algunos puntos. Físicamente, en lugar de tanques de concreto se emplean estanques de tierra que son impermeabilizados con arcilla mejorada. Los tiempos de retención son considerablemente mayores, ya que alcanzan de tres a cinco días en los sistemas lagunares, pues las lagunas aereadas no emplean recirculación de lodos y consiguientemente se requieren mayores tiempos para la degradación de la materia orgánica. Los lodos producidos se acumulan en el fondo de la laguna de sedimentación donde paulatina y parcialmente se degradan.

En las tablas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 siguientes se enlistan las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por entidad que existen en la cuenca del Lerma, así como el gasto de diseño, de operación, eficiencia y su vertido al cuerpo receptor o reuso.

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

ESTADO: MEXICO TABLA 4.5 FECHA: JULIO-98

Municipio	Localidad	Proceso de tratamiento	Gasto de Diseño (l/s)	Gasto de Operación (l/s)	Eficiencia (%)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Acambay	Acambay	Laguna de estabilización	22.0	4.9		Arroyo Tierra Blanca	
Almoloya de Juárez	Almoloya de Juárez	Laguna de estabilización	34.0	12.0		Río Almoloya	
Almoloya del Río	Almoloya del Río	Laguna de estabilización	31.0	14.0	52	Río Lerma	
Atizapán	Sta. Cruz Atizapán	Laguna de estabilización	28.0	7.4	55	Río Lerma	
Atlacomulco	Atlacomulco	Zanjas de Oxidación	220.0	80.0		Río Lerma	
El Oro	El Oro	Laguna de estabilización	15.0	3.7		Presa el Mortero	Requiere Rehabilitación
Jiquipilco	Jiquipilco	Laguna de estabilización	9.0	4.1		Arroyo la Planta	
Jocotitlán	Jocotitlán	Zanjas de Oxidación	30.0	17.0			
Joquicingo	Joquicingo	Laguna de estabilización	18.0	18.0			
Mexicaltzingo	Mexicaltzingo	Laguna de estabilización	37.0	15.0		Río Lerma	
San Antonio la Isla	San Antonio la Isla	Laguna de estabilización	42.0	16.0		Río Lerma	
San Bartolo Morelos	San Bartolo Morelos	Laguna de estabilización	10.0	1.9		Arroyo Morelos	Requiere Rehabilitación
San Felipe del Progreso	San Felipe del Progreso	Laguna de estabilización	12.0	2.2		Arroyo San Felipe	
San Pedro Techuchulco	San Pedro Techuchulco	Laguna de estabilización	18.0	5.4		Laguna de Almoloya	
Santa María Rayón	Santa María Rayón	Laguna de estabilización	32.0	7.6		Río Lerma	
Texcalyacac	Texcalyacac	Laguna de estabilización	17.0	5.0		Laguna de Almoloya	Requiere Rehabilitación
Tiangustenco	San Lorenzo Huehuetitlán	Laguna de estabilización	5.0	3.0		Laguna de Almoloya	
Toluca	Toluca Norte	Filtros Biol+Lodos Act.	1250.0	950.0	87	Río Verdigucl	
Toluca	Toluca Oriente	Lodos Activados	1000.0	630.0	83	Canal Totoltepec	
		Σ	2830.0	1797.2			

ESTADO: QUERETARO TABLA 4.6 FECHA: JULIO-98

Municipio	Localidad	Proceso de tratamiento	Gasto de Diseño (l/s)	Gasto de Operación (l/s)	Eficiencia (%)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Querétaro	Querétaro (centro)	Lodos Activados	80.0	70.0		Riego Agrícola	
Querétaro	Querétaro (sur)	Filtros Biológicos	500.0	125.0		Riego Agrícola	
		Σ	580.0	195.0			

ESTADO: MICHOCAN

TABLA 4.7

FECHA: JULIO-98

Municipio	Localidad	Proceso de tratamiento	Gasto de Diseño (l/s)	Gasto de Operación (l/s)	Eficiencia (%)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Briseñas	Briseñas	Lagunas Aereadas	20.0	12.0	50	Río Lerma	Requiere Rehab y Amp
J. Sixto Verduzco	Pastor Ortiz	Laguna de estabilización	60.0	0.0		Río Lerma	Falta de Rec. Org. Op
Jiquilpan	Jiquilpan	Laguna de estabilización	40.0	35.0	75	Riego Agrícola	1ª Etapa
La Piedad	La Piedad	Lagunas Aereadas	200.0	110.0	80	Río Lerma	1ª Etapa
Sahuayo	Sahuayo	Laguna de estabilización	180.0	160.0	60	Canal la Yerbabuena	Req. Rel. E Inst. Aerea
Venustiano Carranza	La Palma	Laguna de estabilización	15.0	0.0		Lago de Chapala	Requiere Rehabilitación
Zamora	Zamora	Laguna de estabilización	330.0	275.0	80	Dren "A" riego Agrícola	En fase de Arranque
Σ			845.0	592.0			

ESTADO: GUANAJUATO

TABLA 4.8

FECHA: JULIO-98

Municipio	Localidad	Proceso de tratamiento	Gasto de Diseño (l/s)	Gasto de Operación (l/s)	Eficiencia (%)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Abasolo	Abasolo	Laguna de estabilización	70.0	35.0			
Allende	Nigromante	Primario Avanzado	5.0	5.0		Río Laja	
Comonfort	Soria	Laguna de estabilización	4.0	4.0		Río Laja	
Coroneo	Coroneo	Laguna de Estab+Filtros	4.5	0.0			
Irapuato	F. Kaban	Lodos Activados	4.0	4.0		Río Guanajuato	
Irapuato	F. Palomas	Lodos Activados	5.0	5.0		Río Guanajuato	
Irapuato	F. Tancoyol	Biológico	6.0	6.0		Río Guanajuato	
Irapuato	Irapuato	Laguna de estabilización	700.0	540.0		Río Silao	
Irapuato	Irapuato Praderas	Tanque Imhoff	22.0	0.0			Opera como cárcamo
Irapuato	Villas de Irapuato	Laguna de estabilización	22.0	0.0			Opera como cárcamo
Pénjamo	Sta. Ana Pacuceco	Laguna de estabilización	60.0	30.0		Río Lerma	
Salamanca	F. las Reynas	Tanque Imhoff	20.0	0.0			Opera como cárcamo
Salamanca	Renovación	Zanjas de Oxidación	36.0	0.0			Opera como cárcamo
Salamanca	Salamanca	Lodos Activados	745.0	250.0	83	Río Lerma	La opera PEMEX
Salamanca	Vergel	Lodos Activados	4.0	4.0		Río Lerma	
San F. Del Rincón	San F. Del Rincón	Lodos Activados	260.0	0.0			
Victoria	Victoria	Primario Avanzado	5.0	5.0			
Σ			1972.5	888.0			

ESTADO:

JALISCO

TABLA 4.9

FECHA: JULIO-98

Municipio	Localidad	Proceso de tratamiento	Gasto de Diseño (Us)	Gasto de Operación (Us)	Eficiencia (%)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Chapala	Chapala	Zanjas de Oxidación	60.0	60.0		Lago de Chapala	
Chapala	S. Ant. Tlayacapan	Zanjas de Oxidación	12.0	12.0		Lago de Chapala	
Chapala	San Nicolás de Ibarra	Lodos Activados	12.0	6.0		Lago de Chapala	Requiere ampliación
Ixtlahuacán de los M.	Ixtlahuacán de los M.	Zanjas de Oxidación	20.0	17.0		Lago de Chapala	
Jamay	Jamay	Zanjas de Oxidación	40.0	60.0		Lago de Chapala	Requiere Rehabilitación
Jocotepec	El Chante	Zanjas de Oxidación	6.0	3.0	90	Lago de Chapala	
Jocotepec	Jocotepec	Zanjas de Oxidación	66.0	60.0	90	Lago de Chapala	
Jocotepec	San Juan Cosalá	Lodos Activados	13.0	6.0		Lago de Chapala	
La Barca	La Barca	Zanjas de Oxidación	60.0	60.0	90	Río Lerma	Reh. Prog. Para el 2000
Sn. Diego de Alejandr.	Sn. Diego de Alejandr.	Laguna de estabilización	7.3	7.3		Río Turbio	
Tizapán el Alto	Tizapán el Alto	Lodos Activados	28.0	40.0	90	Lago de Chapala	Requiere Ampliación
Tuxcueca	San Luis Soyatlan	Lodos Activados	24.0	8.0		Lago de Chapala	Requiere Rehabilitación
Tuxcueca	Tuxcueca	Lodos Activados	12.0	7.0		Lago de Chapala	
			Σ 360.3	346.3			

4.5.2 Plantas en proceso de construcción.

Plantas en proceso de construcción en 1999-2000.

Estado de México:

Municipio	Localidad	Proceso de Tratamiento	Capacidad Discño(lps)
Jocotitlán	Jocotitlán	Zanjas de Oxidación	30.00
Capulhuac	Capulhuac	Filtros Biológicos	195.00

Plantas de Tratamiento de aguas residuales a rehabilitar en 1999-2000

Estado de México:

Municipio	Localidad	Proceso de Tratamiento	Capacidad (l/s)	
			Instalada	Operanda
San Antonio Isla	San Antonio Isla	Lagunas de Estabilización	42.00	7.40
Mexicaltzingo	Mexicaltzingo	Lagunas de Estabilización	37.00	15.50
Sta. María Rayón	Sta. María Rayón	Lagunas de Estabilización	32.00	4.80
S. Felipe del Progreso	S. Felipe del Progreso	Lagunas de Estabilización	12.00	5.00

4.5.3 Plantas en proyecto.

Para tratar el agua no existen proyectos tipo, ya que las características hidráulicas y químico-biológicas del influente, la calidad requerida del agua tratada, las etapas de tratamiento seleccionadas, el tipo de subsuelo, los procedimientos constructivos y el costo que los beneficiarios están dispuestos a gastar en inversión directa y operación, al combinarse, dan como resultado una solución única.

Entre los estudios básicos que se requieren destacan: el gasto mínimo y medio por tratar durante la vida útil de la obra; las características químicas y biológicas de las aguas residuales, con sus variaciones estacionales; y los estudios preliminares topográficos y del subsuelo.

Las condiciones que afectan el funcionamiento de las estructuras de una planta de tratamiento son:

- Topografía del terreno
- Condiciones geotécnicas
- Solución de cimentación
- Impermeabilidad de las estructuras
- Durabilidad de los materiales
- Procedimientos constructivos
- Sistemas de conexión
- Operación y conservación

Si estas condiciones no son tomadas en cuenta en forma adecuada, pueden afectar la operación de las instalaciones, produciendo los siguientes efectos:

- Variación de cargas y gradientes hidráulicos
- Hundimiento general y diferencial de las estructuras
- Fugas y filtraciones en tanques
- Desintegración del concreto y corrosión del acero
- Ruptura de tuberías

Con las condiciones anteriores, en la cuenca del Río Lerma se tienen proyectadas las siguientes Plantas de tratamiento de aguas residuales dentro del Programada para 1999-2000.

Estado de Guanajuato:

Municipio	Localidad	Proceso de Tratamiento	Capacidad Diseño(lps)
León	León	Filtros Biológicos	3,000.00

Estado de Michoacán:

Municipio	Localidad	Proceso de Tratamiento	Capacidad Diseño(lps)
Morelia	Morelia	Por definir	1,200.00

Capítulo 5

PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION.

5.1 Cuantificación y evaluación de la calidad del agua en el río Lerma.

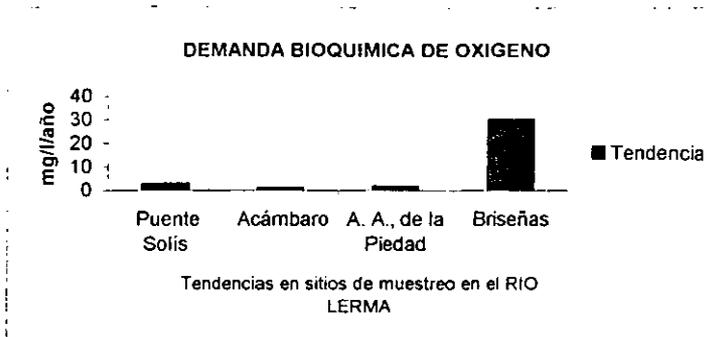
Para determinar sistemáticamente la calidad del agua en el Lerma, CNA establece un mecanismo que permita mejorar el manejo ágil y simple de los datos a través del SICA (Sistema de Información de Calidad del Agua) donde se analiza el comportamiento de los parámetros y su evolución con el tiempo.

La información que manejaremos es la de las estaciones de monitoreo descritas en el capítulo anterior, formando tablas estadísticas de los datos de calidad del agua en lluvias y estiaje. Una para cada estación de monitoreo de la zona y para cada parámetro registrado en ella (cuando son pocas las muestras no se incluye). En cada tabla por parámetro se presenta la estadística por cada año muestreado, separando el semestre de estiaje del de lluvias y agregando un trimestre de estiaje; esto porque para los estudios de calidad conviene separar las estadísticas cuando el agua abunda y cuando escasea.

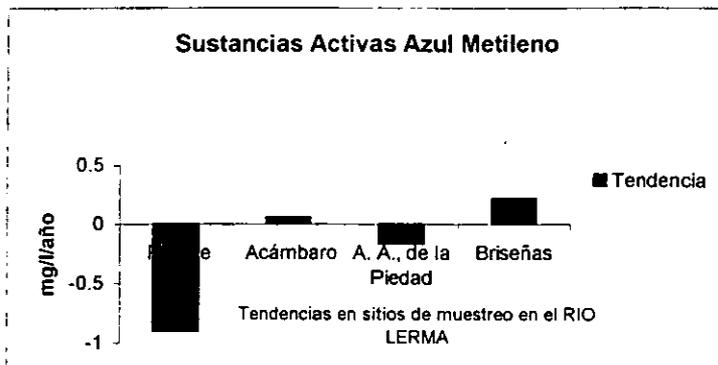
Dentro de la información incluida están el número de muestras, los valores máximos, mínimos y promedios del parámetro en cada periodo. (Anexo 3)

Como complemento de las mismas tablas, se incluyen gráficas del valor promedio en el trimestre de estiaje, se incluye como referencia, una línea horizontal que representa el límite permisible de ese parámetro según normas de agua potable. Además se incluye una línea recta que representa la tendencia del parámetro, obtenida al ajustar, por la técnica de mínimos cuadrados los valores promedios observados a la ecuación de una recta del tipo $Y=A+BX$. (Anexo 3)

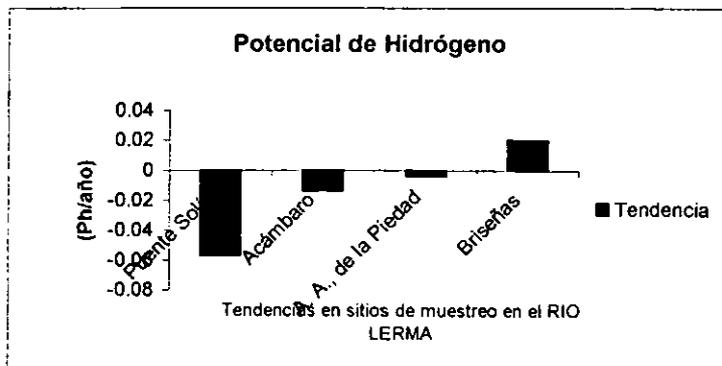
Para mostrar gráficamente el comportamiento de un parámetro a lo largo del Lerma, se toma como base las estaciones ubicadas en él, desde aguas arriba hacia aguas abajo. Se grafican las tendencias anuales de estiaje para cada estación (o sea la pendiente "B" de la recta $Y=A+BX$ explicada en el párrafo anterior); por lo que cada una de estas gráficas pueden entenderse como "tendencia de tendencias". Las cuales se muestran a continuación.



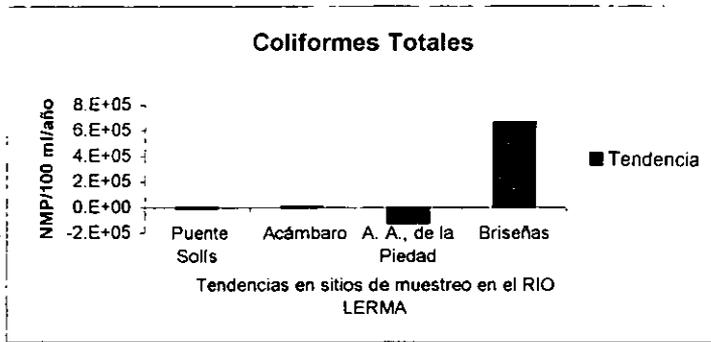
Gráfica 5.1



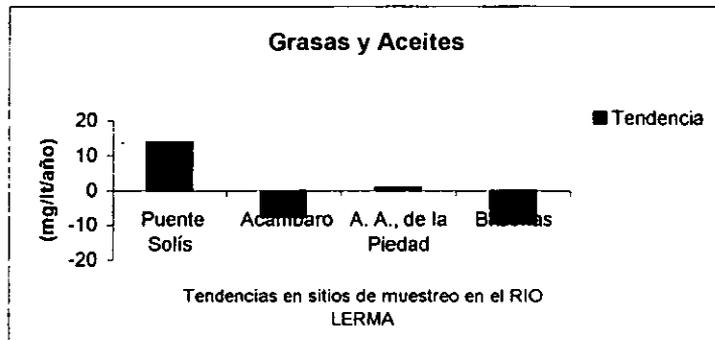
Gráfica 5.2



Gráfica 5.3



Gráfica 5.4



Gráfica 5.5

Cada punto de la gráfica representa la tendencia del parámetro en cada sitio de muestreo: y es negativo si disminuye y positivo si aumenta con el tiempo. La presentación de varias estaciones en la misma gráfica permite comparar el comportamiento del parámetro a lo largo del río Lerma y la posible influencia de la contaminación o medidas de control de unos sitios respecto a otros.

5.2 Diferentes usos del agua de acuerdo a su calidad.

Los usos del agua son múltiples y que la calidad requerida para cada uno de ellos varía en forma considerable de acuerdo al uso al cual se destine. Un valor alto de un parámetro puede ser importante para cierto uso pero despreciable o dañino para otro.

Un ejemplo de ello lo representa la concentración de oxígeno disuelto, el cual es de suma importancia para aquellos cuerpos destinados a fines de acuicultura, pero que tiene una importancia restringida para la dotación de agua potable y es casi indeseable para los fines de agua de calentamiento. Otro caso lo representa la concentración de coliformes totales presentes, los cuales no son importantes para las operaciones de navegación, pero que son de considerable importancia en aquellos cuerpos destinados a la recreación o pesca.

5.3 Índice de Calidad del Agua (ICA).

Debido a que los adjetivos utilizados para clasificar la calidad de agua – como *limpio*, *turbio*, *sucio*, etc.- no pueden ser reproducibles con todo rigor se hizo necesario el desarrollar una herramienta para su evaluación denominada Índice de Calidad de agua (ICA).

Los índices desarrollados son utilizados para determinar la *calidad* de un cuerpo de agua, sirviendo como medida de la contaminación existente en él. Dichos índices consideran a valores de características específicas del cuerpo de agua, como son el oxígeno disuelto (OD), pH o temperatura, lo cual representa un nivel en el cual se puedan tener parámetros objetivos acerca de la calidad del cuerpo de agua.

Los índices de calidad de agua presentan la ventaja de que con un solo número –o palabra- pueden describir de forma objetiva y completa la calidad de agua existente, lo cual involucra de forma directa la evaluación combinada de parámetros determinados en análisis de laboratorio así como en determinaciones en campo.

Es por ello que el índice debe considerarse de forma distinta a todos y cada uno de los parámetros individuales de los cuales se encuentra formado, dando en cada caso una orientación específica de acuerdo a los usos a los que está destinado el cuerpo de agua.

Existen diversos índices desarrollados para la evaluación de la calidad del cuerpo de agua. Entre ellos pueden mencionarse los índices de Horton, Brown, Harkins y el de Walski&Parker. Algunos de ellos toman en cuenta todos los parámetros que son considerados como importantes en la calidad del agua, mientras que otros toman en consideración solo aquellos parámetros que son importantes de acuerdo a los fines a los que se destina el cuerpo de agua.

De esta forma un índice de calidad de agua puede definirse como una medida que refleja la influencia -compuesta- de la calidad total de un número de características con cierta calidad individual.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas: las denominadas aritméticas y las multiplicativas, a su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Dos investigadores, Landwehr y Denninger, demostraron que la superioridad de cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad. En cuanto a la ponderación, indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tienen el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado, sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación en relación al riesgo que implica el aumento o disminución de su concentración.

5.3.1 Técnica Multiplicativa.

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown (1973), obteniendo a partir de una media geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i} \quad (5.1)$$

donde:

W_i = pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de una forma tal que se cumpla que:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (5.2)$$

n = número de parámetros elegidos

Q_i = es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100

\prod representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W.

Finalmente el ICA que arroja la ecuación (5.1) es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir de la cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación.

5.3.2 Técnica Aritmética.

El índice de calidad varía de 0 a 100. El valor nulo corresponde a la peor calidad y el máximo a la calidad óptima. Se puede conocer aplicando la ecuación:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Escala de los I.C.A.
 En función del uso del agua

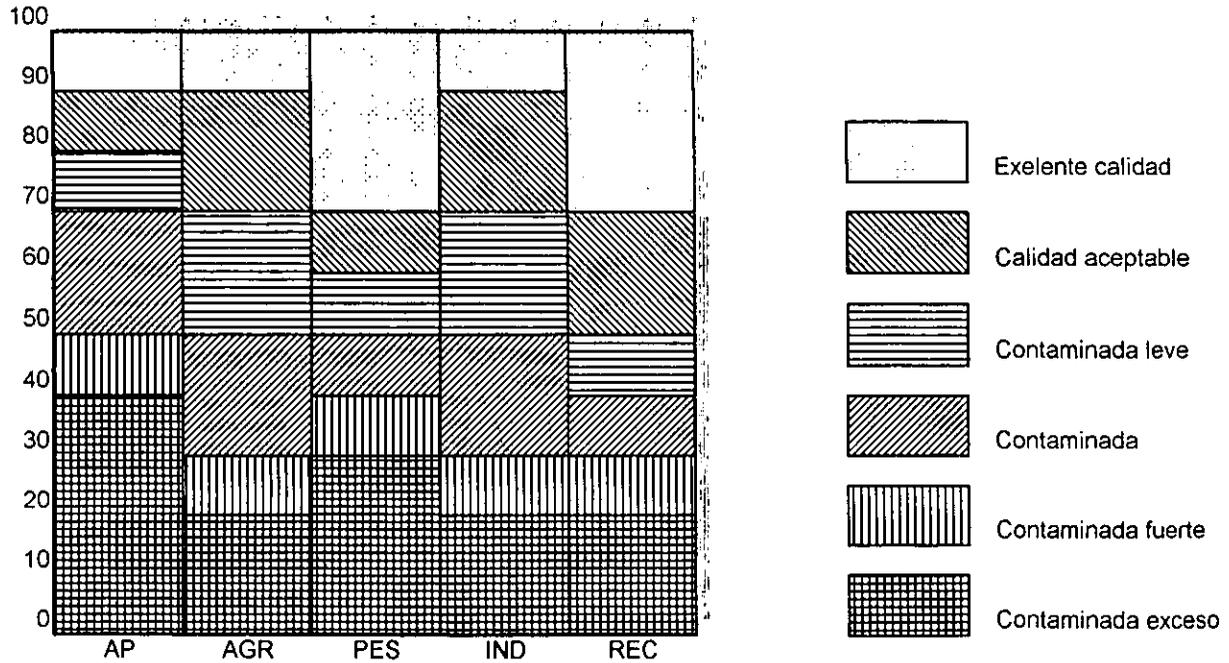


figura 5.1

donde:

I = Índice de calidad del agua general

I_i = Índice de calidad del parámetro considerado

W_i = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado.

5.4 Cálculo del ICA, antes de la descarga del río Lerma en el Lago de Chapala.

Para analizar la calidad del agua del río Lerma se usará la expresión propuesta por Brown (1973), ecuación (5.1)

Se toman en cuenta la inclusión de 15 parámetros en la evaluación de la expresión de Brown, con la asignación correspondiente de los pesos W mostrados en la tabla 5.1. Por otro lado, con la idea de poder comparar los resultados que se obtengan y analizar más objetivamente la calidad del agua del río Lerma en el tramo final, se considerarán los criterios presentados por Dinius* (1987) con relación a la escala de los ICA de acuerdo al uso del agua (figura 5.1)

**El método que se presenta es el que se consideró más adaptable a la situación de nuestro país, modificándose con la inclusión de algunos parámetros sugeridos en el estudio realizado por Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1974.*

Tabla 5.1 Parámetros considerados en la evaluación del ICA

Parámetro	Unidad	Peso W_i
OD	% Sat	0.103
DBO	.mg/l	0.096
DQO	.mg/l	0.053
Ph	---	0.063
SST	.mg/l	0.033
Coli T	NMP/100 ml	0.083
Coli F	NMP/100 ml	0.143
NO ₃	.mg/l	0.053
NH ₃	.mg/l	0.043
PO ₄	.mg/l	0.073
Fenoles	µg/l	0.033
ΔT	°C	0.043
Alcalinidad	.mg/l	0.055
Dureza	.mg/l	0.058
Cloruros	.mg/l	0.068
	Σ	1.000

Las gráficas de sensibilidad en donde, en función de la concentración del parámetro, se lee la calificación de la calidad Q_i se presentan en las figuras 5. 2 y 5. 3

Cabe señalar que dichas gráficas de calificación de la calidad en función de la concentración del parámetro son reproducidas de las referencias originales.

Respecto a las estaciones de la calidad del agua en la cuenca, se tomará la localizada en el último tramo la que corresponde a la estación "Briseñas", en donde se ubican las poblaciones de la Piedad, Yurécuaro y la Barca.

Los datos de la estación analizada se encuentran en la tabla 4.4 de la información de la calidad del agua para el periodo 1991-1998. En seguida se muestran los resultados obtenidos, donde para el cálculo del ICA, utilizando el programa Excel 97 (hoja electrónica de cálculo).

ESTA TESIS NO DEBE
SAIR DE LA BIBLIOTECA

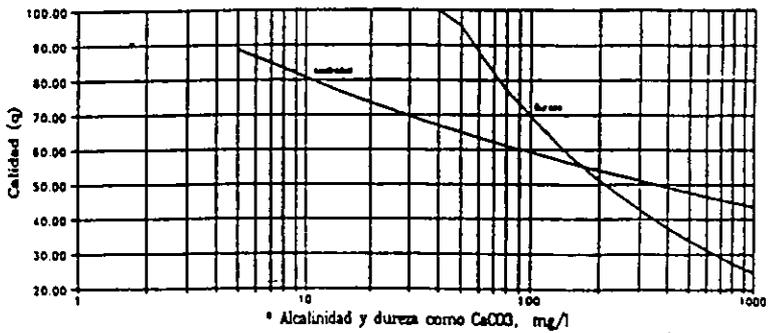
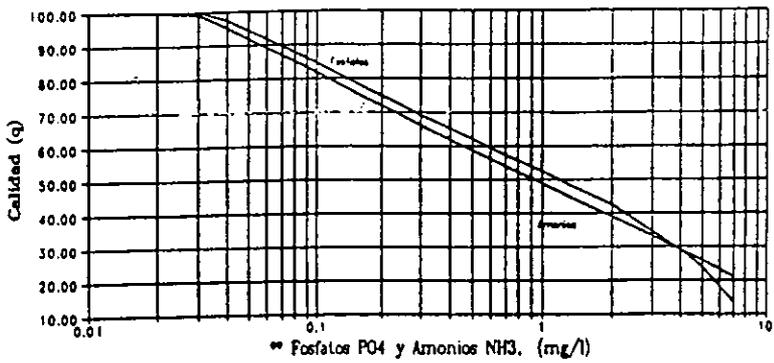
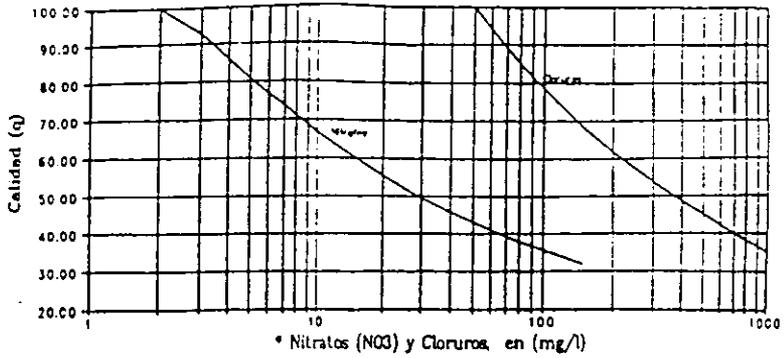


FIGURA 5.2

Gráficas de sensibilidad. Calificación del parámetro en función de su concentración.

* Fuente - Dinius (1987) ; ** Fuente - Instituto Ingeniería (1974)

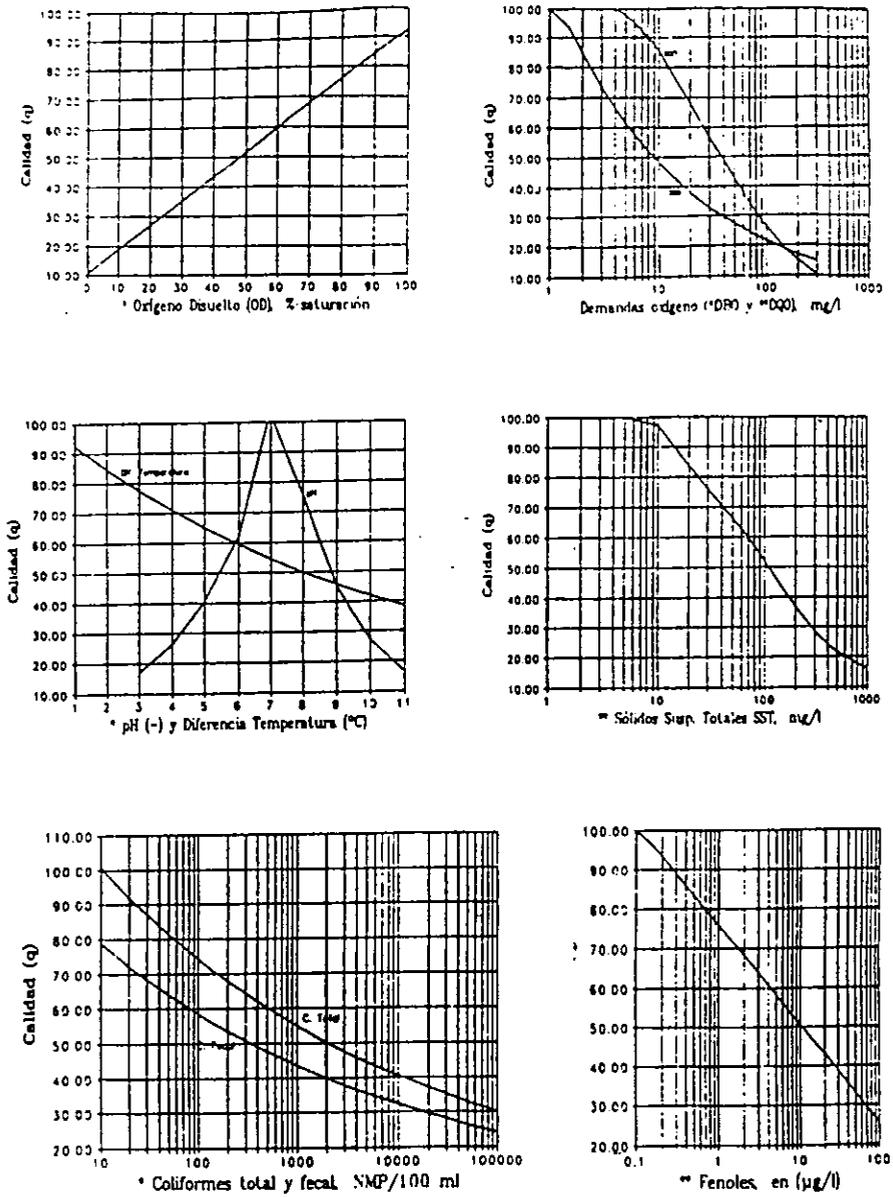


FIGURA 5.3
Gráficas de sensibilidad. Calificación del parámetro en función de su concentración.
* Fuente - Dinius (1987) ; ** Fuente - Instituto Ingeniería (1974)

Estación. Briseñas						
AÑO	Parámetro	Valor	Peso	Calidad del	Q_i^{wi}	ICA
		promedio	Específico(w_i)	Parámetro(Q_i)		
1991	OD=3,9 mg/l	43.8	0.103	41	1.466	54
	DBO	2.9	0.096	70	1.504	
	DQO	35	0.053	61	1.243	
	ph	8	0.063	68	1.305	
	SST	688	0.033	18	1.100	
	Coli. F	400	0.083	25	1.306	
	Coli. T	9165	0.143	46	1.729	
	NO ₃	0.54	0.053	100	1.276	
	NH ₃	0.39	0.043	61	1.193	
	PO ₄	0.39	0.073	65	1.356	
	Fenoles	0.312	0.033	80	1.156	
	Dif. Temp.	3	0.043	70	1.200	
	Alcalinidad	124	0.055	53	1.244	
	Dureza	152	0.058	50	1.255	
	Cloruros	25	0.068	100	1.368	

AÑO	Parámetro	Valor	Peso	Calidad del	Q_i^{wi}	ICA
		promedio	Específico(w_i)	Parámetro(Q_i)		
1992	OD=1,9mg/l	22.62	0.103	28	1.409	44
	DBO	17	0.096	33	1.399	
	DQO	71	0.053	36	1.209	
	ph	8.01	0.063	68	1.305	
	SST	286	0.033	30	1.119	
	Coli. F	6708	0.083	24	1.302	
	Coli. T	9381	0.143	30	1.626	
	NO ₃	0.29	0.053	100	1.276	
	NH ₃	0.71	0.043	54	1.187	
	PO ₄	0.43	0.073	56	1.342	
	Fenoles	0.35	0.033	79	1.155	
	Dif. Temp.	2	0.043	81	1.208	
	Alcalinidad	171	0.055	52	1.243	
	Dureza	203	0.058	44	1.245	
	Cloruros	41	0.068	100	1.368	

AÑO	Parámetro	Valor	Peso	Calidad del	Q_i^{wi}	ICA
		promedio	Específico(wi)	Parámetro(Qi)		
1993	OD=3,7mg/l	43.22	0.103	42	1.470	49
	DBO	16	0.096	34	1.403	
	DQO	59	0.053	41	1.218	
	ph	7.2	0.063	95	1.332	
	SST	112	0.033	46	1.135	
	Coli. F	2324	0.083	26	1.311	
	Coli. T	4095	0.143	35	1.663	
	NO ₃	1.62	0.053	100	1.276	
	NH ₃	1.19	0.043	46	1.179	
	PO ₄	0.54	0.073	52	1.334	
	Fenoles	0.256	0.033	85	1.158	
	Dif. Temp.	4	0.043	62	1.194	
	Alcalinidad	201	0.055	50	1.240	
	Dureza	186	0.058	49	1.253	
	Cloruros	27	0.068	100	1.368	

AÑO	Estación: Brisefías					
	Parámetro	Valor	Peso	Calidad del	Q_i^{wi}	ICA
1994		promedio	Específico(wi)	Parámetro(Qi)		
	OD=6,0 mg/l	25	0.103	30	1.420	45
	DBO	9.3	0.096	46	1.444	
	DQO	39	0.053	59	1.241	
	ph	7.81	0.063	80	1.318	
	SST	100	0.033	48	1.136	
	Coli. F	23800	0.083	20	1.282	
	Coli. T	40000	0.143	25	1.585	
	NO ₃	0.4	0.053	100	1.276	
	NH ₃	3.34	0.043	30	1.157	
	PO ₄	0.72	0.073	47	1.325	
	Fenoles	0.242	0.033	85	1.158	
	Dif. Temp.	3	0.043	70	1.200	
	Alcalinidad	195	0.055	51	1.241	
	Dureza	179	0.058	48	1.252	
Cloruros	38	0.068	100	1.368		

AÑO	Parámetro	Valor	Peso	Calidad del	Q_i^{wi}	ICA
		promedio	Específico(wi)	Parámetro(Qi)		
1995	OD=4,3mg/l	51	0.103	50	1.496	55
	DBO	9.23	0.096	45	1.441	
	DQO	29	0.053	69	1.252	
	pH	7.7	0.063	82	1.320	
	SST	86	0.033	55	1.141	
	Coli. F	714	0.083	29	1.322	
	Coli. T	2623	0.143	41	1.701	
	NO ₃	0.79	0.053	100	1.276	
	NH ₃	0.4	0.043	64	1.196	
	PO ₄	0.34	0.073	59	1.347	
	Fenoles	0.422	0.033	78	1.155	
	Dif. Temp.	4	0.043	62	1.194	
	Alcalinidad	187	0.055	52	1.243	
	Dureza	149	0.058	51	1.256	
	Cloruros	26	0.068	100	1.368	

AÑO	Parámetro	Valor	Peso	Calidad del	Q_i^{wi}	ICA
		promedio	Específico(wi)	Parámetro(Qi)		
1996	OD=4,4mg/l	51	0.103	50	1.496	50
	DBO	16	0.096	34	1.403	
	DQO	53	0.053	51	1.232	
	pH	7.6	0.063	88	1.326	
	SST	105	0.033	47	1.135	
	Coli. F	10636	0.083	22	1.292	
	Coli. T	25445	0.143	32	1.641	
	NO ₃	0.76	0.053	100	1.276	
	NH ₃	0.88	0.043	78	1.206	
	PO ₄	1.55	0.073	40	1.309	
	Fenoles	0.253	0.033	85	1.158	
	Dif. Temp.	2	0.043	81	1.208	
	Alcalinidad	187	0.055	52	1.243	
	Dureza	167	0.058	49	1.253	
	Cloruros	28	0.068	100	1.368	

AÑO	Parámetro	Valor promedio	Peso Especifico(wi)	Calidad del Parámetro(Qi)	Q_i^{wi}	ICA
1997	OD=3.5mg/l	41.6	0.103	42	1.470	48
	DBO	12	0.096	40	1.425	
	DQO	49	0.053	50	1.230	
	ph	7.7	0.063	84	1.322	
	SST	189	0.033	40	1.129	
	Coli. F	9017	0.083	30	1.326	
	Coli. T	6898	0.143	26	1.593	
	NO ₃	0.29	0.053	100	1.276	
	NH ₃	1.35	0.043	47	1.180	
	PO ₄	2.6	0.073	38	1.304	
	Fenoles	0.35	0.033	86	1.158	
	Dif. Temp.	0	0.043	92	1.215	
	Alcalinidad	216	0.055	54	1.245	
	Dureza	160	0.058	56	1.263	
	Cloruros	33	0.068	98	1.366	

AÑO	Parámetro	Valor promedio	Peso Especifico(wi)	Calidad del Parámetro(Qi)	Q_i^{wi}	ICA
1998	OD=0.7mg/l	8.5	0.103	18	1.347	34
	DBO	92	0.096	22	1.345	
	DQO	134	0.053	25	1.186	
	ph	7.9	0.063	80	1.318	
	SST	253	0.033	32	1.121	
	Coli. F	2'125,000	0.083	20	1.282	
	Coli. T	1'379,333	0.143	20	1.535	
	NO ₃	0.82	0.053	100	1.276	
	NH ₃	18.45	0.043	10	1.104	
	PO ₄	5.63	0.073	26	1.269	
	Fenoles	0.35	0.033	86	1.158	
	Dif. Temp.	3	0.043	78	1.206	
	Alcalinidad	217	0.055	53	1.244	
	Dureza	99	0.058	70	1.279	
	Cloruros	49	0.068	98	1.366	

Análisis de los resultados.

En términos del valor del ICA no se tiene gran diferencia en el periodo de años estudiados, éstos valores se reflejan en la figura 5.4. La calidad del agua disminuye del año 91 al 92 , manteniendo en promedio ésta misma calidad hasta el año 94, donde vuelve a recuperarse hacia el año 95 y posteriormente tiende a disminuir para el año 98 donde el ICA nos arroja el valor de 34 puntos. Este efecto – de no mejorar la calidad del agua- es posible que se deba a que en el recorrido de la corriente existan extracciones y si no hay ningún tributario significativo, el gasto sea menor cada año.

Otro aspecto a señalar en el descenso de la calidad del agua en el año 1998, puede ser provocado por el aumento de las descargas de aguas residuales de las poblaciones ubicadas aguas arriba como lo es la Piedad Michoacán

Así mismo, haciendo referencia a la figura 5.1 y considerando que el agua es utilizada para riego, en términos generales, la calidad del agua en éste último tramo ha estado “contaminada”.

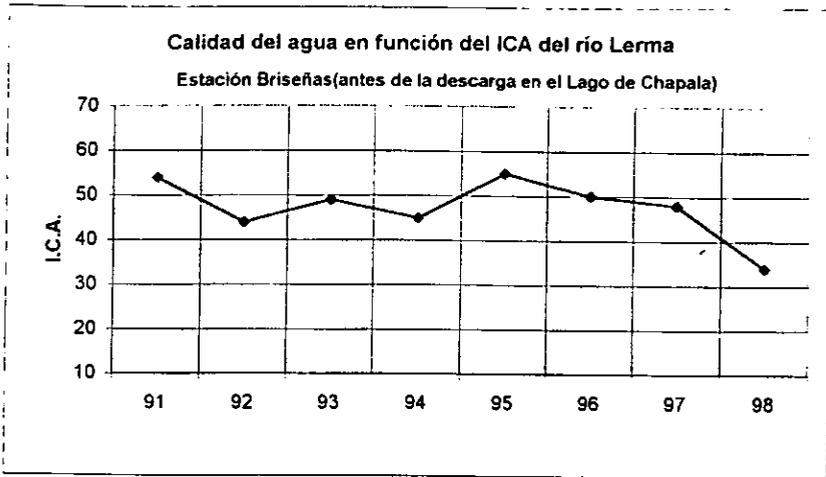


figura 5.4

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Evaluar y analizar la calidad del agua de los cuerpos sujetos a descargas residuales es actualmente una tarea a realizar para poder evitar, mediante la toma de decisiones pertinentes, el incremento en el deterioro de la calidad del agua en los mismos.

En el periodo de estiaje, el grado de contaminación del agua en el río Lerma ha sido mayor en algunos parámetros (mostrados en el anexo 2), que en el periodo de lluvias. Lo anterior podría pensarse que sea contrario a lo esperado, ya que al haber más escurrimiento, como es el caso en lluvias, la dilución es mayor. Sin embargo, también es cierto que un mayor gasto puede producir más arrastre de materia contaminante.

También se empleo el Índice de Calidad del Agua (ICA) para analizar la historia de los escurrimientos del río Lerma en el último tramo, antes de descargar en el Lago de Chapala. Encontrando "contaminada" la calidad del agua en el estudio realizado en el capítulo anterior.

6.1 Tratamiento actual.

La fuente de abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana de Guadalajara, que comprende los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, y Tonalá, con una población cercana a los cuatro millones de habitantes; es el lago de Chapala que para su conservación es indispensable aumentar el caudal y mejorar la calidad del agua del río Lerma. Con tal propósito deberán tomarse de manera inmediata las medidas siguientes:

- Fomentar los programas de ahorro y uso eficiente del agua en la agricultura, así como la reutilización de las descargas una vez renovadas
- Aumentar la productividad agrícola mediante en manejo científico de los cultivos de temporal
- Ajustar paulatinamente las tarifas del agua para sufragar su costo real y así propiciar su uso racional

En materia de saneamiento es fundamental contar con mecanismos que garanticen que las plantas de tratamiento actuales, sean operadas para el gasto de diseño permanentemente, y se cumpla con el objetivo de sanear la cuenca. Además la continuación de los proyectos referentes al Consejo de Cuenca que entre otros acuerdos está la terminación de plantas que están en construcción y proyecto.

Otra de las medidas a tomar es la reforestación de la cuenca como el programa piloto de 7000ha en la cuenca del Lago de Pátzcuaro para evaluar las técnicas empleadas en la recuperación de áreas degradadas y en el control de los azolves. En el Estado de México se reforestó en terraceos, principalmente en la Subcuenca de Atlacomulco y en los límites con Querétaro.

6.2 Tratamiento requerido.

Para reforzar el control de la contaminación del agua, es necesario llevar un programa de plantas de tratamiento que atiendan otros puntos críticos donde el saneamiento es impostergable.

La industria privada debe desempeñar un papel más activo, respondiendo favorablemente a la Ley de Derechos en materia de descargas a cuerpos receptores. También debe participar con la incorporación del rehuso y recirculación del agua en los procesos productivos, lo que permite importantes ahorros del agua, resultando atractivo financieramente, porque cada día debe ser más barato recircular el agua en relación con el costo de la extracción y pago de derechos.

Por otra parte las poblaciones demandan cada vez más agua para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes debiendo cubrir las pérdidas que ocurren desde su captación hasta la llave del usuario. Por lo que es necesario identificar los puntos críticos de los sistemas de abastecimiento, racionalizar el consumo y reducir las pérdidas.

El principal usuario del agua en la cuenca es el riego agrícola. Poco más del 38% del agua destinada al riego la aprovechan pequeños y medianos sistemas. Conocer con detalle su ubicación, sus patrones de uso de agua y eficiencia, resulta fundamental para su control en una cuenca donde el mercado del agua está demandado. Además de inventariar esos usos, se requiere mecanismos prácticos para controlar sus extracciones y así equiparlos con los controles existentes en los distritos de riego de la cuenca. Con ello se avanzará en efficientar el uso del agua.

Dicha eficiencia se basa en mejorar las prácticas de irrigación, que por lo general es por gravedad mediante la conducción a cielo abierto, con este método de riego superficial, menos de la mitad del agua descargada llega a las plantas. La baja eficiencia puede atribuirse, en parte, a las pérdidas durante la conducción, ocasionadas por la infiltración y la evaporación.

Como resultado de estas bajas eficiencias, mayores volúmenes de agua son necesarios, requiriéndose instalaciones más amplias para almacenamiento y mayor capacidad de los canales, todo lo cual requiere fuertes inversiones de capital.

Las otras formas de riego más adecuadas son el riego por aspersión y por goteo.

El riego por aspersión simula la lluvia en todos sus aspectos, con una importante excepción: esta lluvia simulada puede ser controlada, tanto en el tiempo como en intensidad.

El riego por goteo consiste en llevar el agua a presión hasta una red de salidas espaciadas a distancias relativamente cortas, y descargando el líquido a través de estas salidas a una presión prácticamente nula. La ventaja de este método es el marcado aumento en la producción de los cultivos, frecuentemente produciendo el doble o más que con el riego por aspersión o por surcos.

Finalmente, no hay que olvidar que el análisis realizado se basa en el Índice de Calidad del Agua (ICA), en lo que se tomaron en cuenta sólo parámetros físico-químicos del agua, por lo que es necesario considerar análisis con parámetros altamente tóxicos como metales pesados, porque la mayoría de estos contaminantes (metales, pesticidas e hidrocarburos), muestran una alta afinidad a la materia particulada y, consecuentemente, se encuentran enriquecidos en los sedimentos.

ANEXO 1

ANEXO 1

MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA CUENCA LERMA-CHAPALA
ESTADO DE MEXICO

Municipio	Subcuenca	Cuenca
Almoloya del Río	Alzate	Alto Lerma
Atizapán	Alzate	Alto Lerma
Calimaya	Alzate	Alto Lerma
Calpulhuac	Alzate	Alto Lerma
Metepec	Alzate	Alto Lerma
Chapultepec	Alzate	Alto Lerma
Metepec	Alzate	Alto Lerma
Mexicalcingo	Alzate	Alto Lerma
Otzolotepec	Alzate	Alto Lerma
Rayón	Alzate	Alto Lerma
San Antonio la Isla	Alzate	Alto Lerma
San Mateo Atenco	Alzate	Alto Lerma
Temoaya	Alzate	Alto Lerma
Tenango del Valle	Alzate	Alto Lerma
Toluca	Alzate	Alto Lerma
Xonacatlán	Alzate	Alto Lerma
Almoloya de Juárez	Ramírez	Alto Lerma
Amanalco	Ramírez	Alto Lerma
Villa Victoria	Ramírez	Alto Lerma
Zinacatepec	Ramírez	Alto Lerma
San Felipe del Progreso	Tepatitlán	Alto Lerma
Atzacomulco	Tepuxtepec	Alto Lerma
Ixtlahuaca	Tepuxtepec	Alto Lerma
Jiquipilco	Tepuxtepec	Alto Lerma
Jocotitlán	Tepuxtepec	Alto Lerma
Temascalcingo	Tepuxtepec	Alto Lerma
El Oro	Solís	Alto Lerma

**MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA CUENCA LERMA-CHAPALA
ESTADO DE MICHOACAN**

Municipio	Subcuenca	Cuenca
Contepec	Tepuxtepec	Alto Lerma
Epitacio Huerta	Tepuxtepec	Alto Lerma
Anganguero	Solis	Alto Lerma
Aporo	Solis	Alto Lerma
Irimbo	Solis	Alto Lerma
Maravatio	Solis	Alto Lerma
Senguio	Solis	Alto Lerma
Tlalpujahuá	Solis	Alto Lerma
Angamacuítiro	Angulo	Medio Lerma
Coeneo	Angulo	Medio Lerma
Huaniqueo	Angulo	Medio Lerma
Jiménez	Angulo	Medio Lerma
Morelos	Angulo	Medio Lerma
Zacapu	Angulo	Medio Lerma
Numarán	Río Lerma	Medio Lerma
Panindícuaro	Río Lerma	Medio Lerma
Penjamillo	Río Lerma	Medio Lerma
La Piedad	Río Lerma	Medio Lerma
Puruándiro	Río Lerma	Medio Lerma
San José Sixto Verduzco	Río Lerma	Medio Lerma
Yurécuaro	Río Lerma	Medio Lerma
Zináparo	Río Lerma	Medio Lerma
Chavinda	Duero	Bajo Lerma
Cherán	Duero	Bajo Lerma
Chilchota	Duero	Bajo Lerma
Jacona	Duero	Bajo Lerma
Purépero	Duero	Bajo Lerma
Tangamandapio	Duero	Bajo Lerma
Tangancicuaró	Duero	Bajo Lerma
Tlazazalca	Duero	Bajo Lerma
Zamora	Duero	Bajo Lerma
Briseñas	Chapala	Bajo Lerma
Cojumatlán de Régules	Chapala	Bajo Lerma
Churintzio	Chapala	Bajo Lerma
Ecuandureo	Chapala	Bajo Lerma
Ixtlán	Chapala	Bajo Lerma
Jiquilpan	Chapala	Bajo Lerma
Marcos Castellanos	Chapala	Bajo Lerma
Pajacuarán	Chapala	Bajo Lerma
Sahuayo	Chapala	Bajo Lerma
Tanhuato	Chapala	Bajo Lerma
Venustiano Carranza	Chapala	Bajo Lerma
Villamar	Chapala	Bajo Lerma
Vista Hermosa	Chapala	Bajo Lerma

**MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA CUENCA LERMA-CHAPALA
ESTADO DE GUANAJUATO**

Municipio	Subcuenca	Cuenca
Coroneo	Solís	Alto Lerma
Jerécuaro	Solís	Alto Lerma
Tarandacuao	Solís	Alto Lerma
Acámbaro	Salamanca	Alto Lerma
Jaral del Progreso	Salamanca	Alto Lerma
Salamanca	Salamanca	Alto Lerma
Salvatierra	Salamanca	Alto Lerma
Santiago Maravatío	Salamanca	Alto Lerma
Tarimoro	Salamanca	Alto Lerma
Uriangato	Salamanca	Alto Lerma
Valle de Santiago	Salamanca	Alto Lerma
Yuriria	Salamanca	Alto Lerma
Allende	Begoña	La Laja
Dolores Hidalgo	Begoña	La Laja
San Felipe	Begoña	La Laja
San José Iturbide	Begoña	La Laja
Apaseo el Alto	Pericos	La Laja
Apaseo el Grande	Pericos	La Laja
Celaya	Pericos	La Laja
Comonfort	Pericos	La Laja
Cortazar	Pericos	La Laja
Santa Cruz de Juventino Rosas	Pericos	La Laja
Villagrán	Pericos	La Laja
León	Alto Turbio	Medio Lerma
Manuel Doblado	Alto Turbio	Medio Lerma
Purísima del Rincón	Alto Turbio	Medio Lerma
San Francisco del Rincón	Alto Turbio	Medio Lerma
Abasolo	Río Lerma	Medio Lerma
Cuerámara	Río Lerma	Medio Lerma
Guanajuato	Río Lerma	Medio Lerma
Huanímaro	Río Lerma	Medio Lerma
Irapuato	Río Lerma	Medio Lerma
Pénjamo	Río Lerma	Medio Lerma
Pueblo Nuevo	Río Lerma	Medio Lerma
Romita	Río Lerma	Medio Lerma
Silao	Río Lerma	Medio Lerma

**MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA CUENCA LERMA-CHAPALA
ESTADO DE QUERETARO**

Municipio	Subcuenca	Cuenca
Corregidora	Pericos	La Laja
Huimilpan	Pericos	La Laja
El Marqués	Pericos	La Laja
Querétaro	Pericos	La Laja

**MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA CUENCA LERMA-CHAPALA
ESTADO DE JALISCO**

Municipio	Subcuenca	Cuenca
San Diego de Alejandria	Alto Turbio	Medio Lerma
Degollado	Río Lerma	Medio Lerma
Arandas	Chapala	Bajo Lerma
Atotonilco el Alto	Chapala	Bajo Lerma
Ayotlán	Chapala	Bajo Lerma
La Barca	Chapala	Bajo Lerma
Chapala	Chapala	Bajo Lerma
Jamay	Chapala	Bajo Lerma
Jesús María	Chapala	Bajo Lerma
Jocotepec	Chapala	Bajo Lerma
Manzanilla de la Paz	Chapala	Bajo Lerma
Ocotlán	Chapala	Bajo Lerma
Poncitlán	Chapala	Bajo Lerma
Tizapán el Alto	Chapala	Bajo Lerma
Tototlán	Chapala	Bajo Lerma
Tuexcueca	Chapala	Bajo Lerma
Zapotlán el Rey	Chapala	Bajo Lerma

ANEXO 2

A N E X O 2

Sistema Lagunar para el tratamiento de aguas residuales en Zacapu, Mich.

Las lagunas de estabilización por su contenido de oxígeno disuelto en el agua, pueden ser anaerobias, facultativas y de maduración. En este proyecto se proponen dos lagunas anaerobias para operar en paralelo, dos facultativas y tres de maduración; considerando un arreglo anaerobio-facultativo-maduración porque se requiere obtener un mayor grado posible de tratamiento para una reducción mayor de organismos patógenos.

En la figura A2-1 se muestra el diagrama de proceso al pasar el flujo por las diferentes lagunas que conforman el tren, hasta la descarga del efluente. El tiempo de retención en las diferentes lagunas es:

Laguna Anaerobia	1.72 días
Laguna Facultativa	11.58 días
Laguna de Maduración	6.44 días

En la figura A2-2 se muestra el perfil hidráulico del sistema de las lagunas de estabilización que son estanques construidos de tierra, de profundidad reducida (<5m.)

Estudio Geotécnico.

Este estudio esta basado en una exploración superficial a través de pozos a cielo abierto, al efectuarse los análisis estatigráficos y de comportamiento de las estructuras térreas, adicionalmente fue necesario practicar una exploración adicional hasta 20m de profundidad, debido a los altos contenidos de agua y la erraticidad encontrada en el subsuelo.

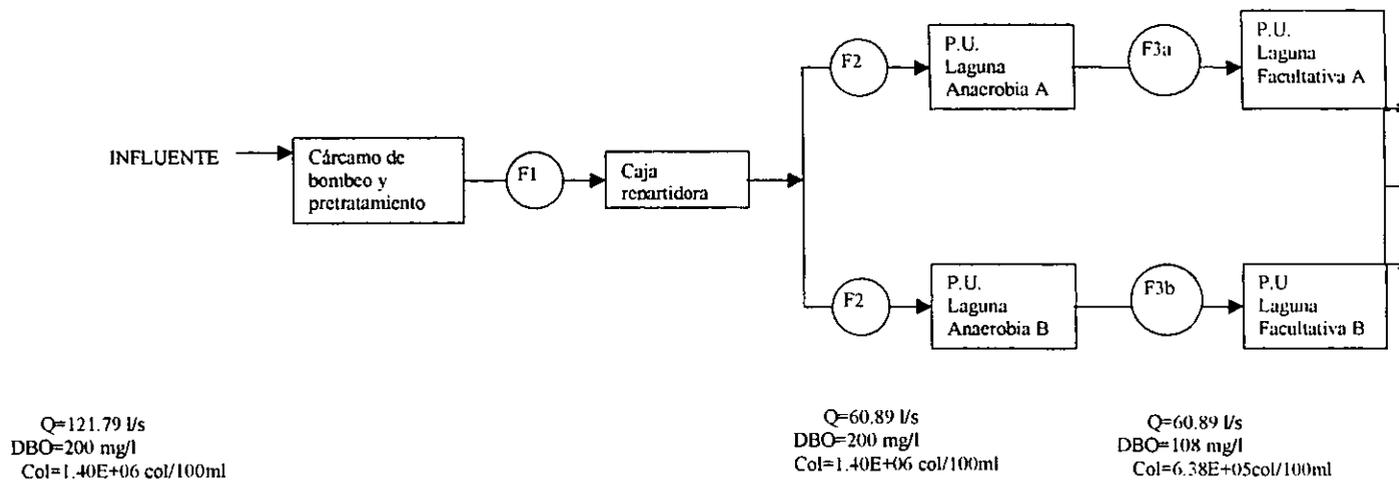
En este segundo estudio se precisaron los espesores de los mantos compresibles, se calcularon con mayor conocimiento del subsuelo los hundimientos, la estabilidad de los taludes, la recomendación de la construcción del tapete de arcilla para impermeabilizar el fondo de las laguna, así como la aplicación de un proceso de precarga para reducir los asentamientos diferenciales que ocurrirán durante la vida útil de los bordos, con el fin de disminuir los riesgos por agrietamiento transversal.

Es importante mencionar que el sitio de la planta se ubica en la llamada "Ciénega de Zacapu". Esta zona ha estado inundada por periodos geológicos recientes y hasta unas decenas de años, la SARH proyecto un sistema de drenes que rectifican el cauce del río Angulo y drenan la Ciénega de Villa Jiménez (noreste). Actualmente la planicie se utiliza con fines agrícolas.

Trabajos de Campo. Con el fin de establecer las condiciones estatigráficas del sitio y determinar las propiedades índice y mecánicas de los diferentes estratos, se excavaron 10 pozos a cielo abierto , PCA-1 a PCA-10 a profundidades variables entre 2.0 y 3.0 m para obtener muestras alteradas e inalteradas de los estratos representativos.

DIAGRAMA DE PROCESO

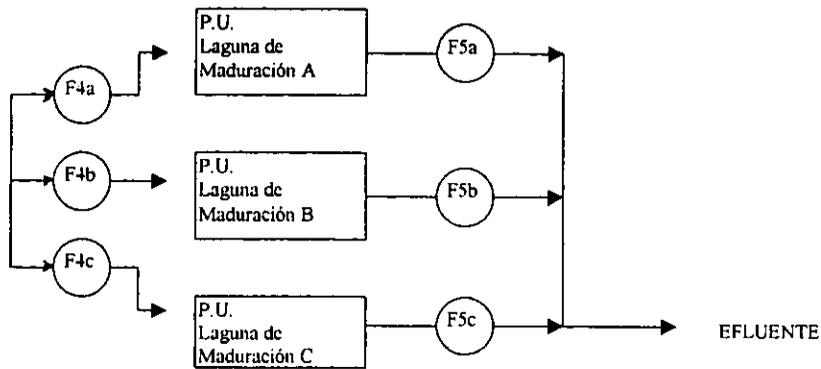
Sistema Lagunar para el tratamiento de aguas residuales
Zacapu, Michoacán



96

Figura A2-1
(1/2)

DIAGRAMA DE PROCESO
 Sistema Lagunar para el tratamiento de aguas residuales
 Zacapu, Michoacán



Q=60.89 Vs
 DBO=31.80 mg/l
 Col=1.04E+04 col/100ml

Q=60.89 l/s
 DBO=15.75 mg/l
 Col=1000 col/ml

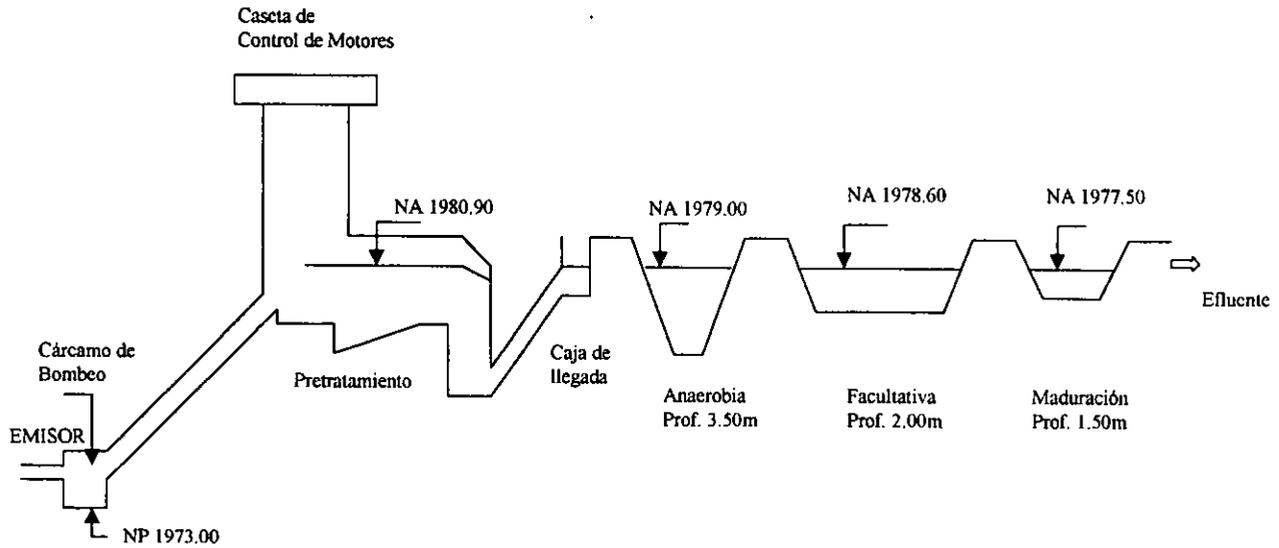
SIMBOLOGIA

Proceso unitario P.U

Flujo (F)

Figure A2-1
 (2/2)

Sistema Lagunar para el tratamiento de aguas residuales
De Zacapu Michoacán
PERFIL HIDRAULICO
Elevaciones en m.s.n.m.
Sin escala



86

FIGURA A2-2

Asimismo se realizaron dos sondeos mixtos SM-1 y SM-2 a una profundidad de 20m. La ubicación en planta de estos trabajos se presentan en la figura A2-3

En el PCA-1 se encontraron grietas de espesor variable entre 1 y 3 cm., se observaron multitud de agujeros producidos por las tuzas

En un análisis de estatigrafía nos afirma que existen dos grupos de pozos: los de la parte alta y los de la parte baja.

- a) Parte alta, pozos 3,4,7,8,9 y 10 incluyendo el sondeo SM-2. Esta área se sombre en la figura A2-3 y en ella promedian los suelos con contenidos de agua menores de 100%; asimismo las elevaciones de los brocales de los pozos son superiores a la cota 77.00 con cota máxima de 78.50m. En esta zona se estima obtener suelos de consistencia media susceptibles de utilizarse en la formación de los bordos, hasta una cota variable entre 76.00 y 76.50. En el sondeo SM-2 se localiza una costra superficial de 5.0m de espesor, de consistencia media dura, con número medio de golpes 15, variable entre 6 y 25. Esta costra permitirá alojar con cierta seguridad las estructuras de entrada del líquido a tratar, así como el edificio de oficinas y laboratorio. Las paredes de los pozos cercanos PCA-9 y PCA-10, se observaron secas y libres de grietas.
- b) Parte baja, pozos 1,2,5 y 6, incluyendo al sondeo SM-1, en estas áreas predominan los contenidos de agua mayores de 100%, con valores de hasta 501%. Los brocales de estos pozos se ubican debajo de la cota 77.5. Las elevaciones a partir y hacia abajo principian a aparecer suelos con contenido de agua mayor de 100%, se presentan en la siguiente tabla

TABLA A2-A

Pozo Num	Elevación del brocal Y nivel de aguas freáticas	Elevación con $\omega > 100\%$	Elevación del corte
1	76.00.....74.00naf	75.25+	2.0 relleno
2	76.10.....73.90naf	75.70+	76.00
3	76.80.....74.60naf	---	76.00
4	77.70.....75.70naf	75.20	76.00
5	77.00.....75.00naf	76.50+	76.50
6	77.50.....75.40naf	76.00+	76.50
7	77.00.....74.40naf	75.25	76.50
8	77.50.....75.50naf	-----	76.50
9	78.00.....76.00naf	-----	75.50
10	78.50.....no report	-----	sin corte

Nota: + pozos de la zona baja; los datos del nivel de aguas freáticas no son confiables. En el pozo 1 se compactarán 2.00m para formar el bordo.

Permeabilidad. La variación de la permeabilidad es de 10^{-4} a 10^{-7} cm/seg, la cual se considera satisfactoria para los fines del proyecto; sin embargo, durante los trabajos de campo se detectaron grietas en los pozos a cielo abierto 1 y 2, pérdida del lodo de perforación y agujeros producidos por las tuzas, lo anterior alertó para analizar la fuga del líquido del tratamiento y sus implicaciones.

En caso de ocurrir filtraciones en el terreno bajo las lagunas a través de los ductos perforados por las tuzas, éstas se ahogarian y se contaminarían los mantos freáticos aledaños. Esta situación fue analizada con SEMARNAP y el INE. El Instituto Nacional de Ecología cuando se efectuaba el estudio de impacto ambiental recomendó reducir los riesgos de fuga del líquido de tratamiento. Para ello se estudiaron las alternativas de membrana plástica impermeable y tapete de arcilla impermeable; como los plásticos son fácilmente atacables por las tuzas y resultan muy caros, se optó por utilizar el tapete de arcilla compactada y protegerlo con una doble capa de espuma volcánica (tezontle), que hará las veces de filtro protector de la arcilla compactada y barrera protectora contra la acción de las tuzas.

Hundimientos.- Se estimaron los hundimientos máximos que ocurrirán debido a las sobrecargas que impondrán los bordos de las lagunas, los cuales en su máxima altura construible (lagunas de maduración), alcanzarán 2.0m de desnivel con relación al fondo de los estanques. En la zona de las lagunas anaerobias, a pesar de que el desnivel es de 4.0 metros, la sobrecarga no excederá los 2.0 m., debido a los niveles del terreno natural, con respecto a los niveles de excavación.

Etapa de Construcción.

- ◊ Despalmar los primeros 15 a 20 cm del material del subsuelo para eliminar la capa vegetal y las raíces retirarlas.
- ◊ Excavar formando la sección de la laguna.
- ◊ Formar los bordos compactando capas de 30 cm de espesor, con el material producto de la excavación.
- ◊ Almacenar en el área destinada al almacenamiento o precarga el material sobrante de la excavación que se utilizará para formar bordos. Este material será aquel que cuyo contenido de agua sea como máximo del 100%.
- ◊ Retirar de la obra el material cuyo contenido de agua sea superior al 100%, considerando que aquel que se aproxime a este límite se podrá orear en el área de almacenamiento.
- ◊ Excavar en el fondo de las lagunas para construir la capa impermeable.
- ◊ Construir el fondo impermeable de las lagunas, colocar la primera capa de grava y arena de 15 cm utilizando rodillo liso y compactando al 95% de su peso volumétrico seco; construir la capa impermeable de 30 cm de espesor, compactando los limos del sitio al 85% proctor.
- ◊ Los procesos constructivos anteriores se iniciarán en la zona sureste y finalizarán en la parte noroeste del terreno, en el área de almacén de materiales.
- ◊ Una vez terminados los bordos con taludes 2:1 y las primeras 2 capas del fondo, afinar los taludes y colocar el recubrimiento de piedra del talud mojado (10 a 15 cm), y la tercera capa del fondo de grava y arena de 15 cm de espesor de forma similar a la primera.

ANEXO 3

ANEXO 3

Parámetro: Potencial de Hidrógeno(PH) unidad:(PH)

Estación: Puente Solís (DIF)

A	SEMESTRE SECO					Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO				
	Ñ	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom	
91	2	2	7.6	7.5	7.55	1	7.6	2	8	7.8	7.9	
92	2	2	8	7.9	7.95	1	7.9	2	7.8	7.4	7.6	
93	2	2	7.9	7.7	7.8	1	7.9	2	8.1	7.7	7.9	
94	3	3	7.8	7.6	7.73	3	7.73	3			8	
95	1	1			7.5			1			6.6	
96	2	2	8	7.8	7.9	1	8	2	8	7.1	7.55	
97	2	2	7.5	7.4	7.4	2	7.4	2	7.2	7.1	7.1	
98	3	3	7.5	7	7.2	2	7.2	2	7.3	6.3	6.8	

Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)

A	SEMESTRE SECO					Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO				
	Ñ	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom	
91	2	2			7.5	1	7.5	2	7.85	7.8	7.82	
92	2	2	8	7.9	7.95	1	7.9	4	7.7	7	7.65	
93	2	2	7.8	7.6	7.7	1	7.8	4	8	7.9	7.95	
94	4	4	8	7.6	7.8	3	7.74	3	8.1	8	8.06	
95	1	1			6.9			2	8	7.4	7.7	
96	2	2	7.8	7.7	7.75	1	7.8	2	8.5	8.1	8.3	
97	2	2	8	7.8	7.9	1	7.8	2	8.1	6.7	7.4	
98	2	2	8	7.5	7.75	1	7.5	2	7.7	7.4	7.55	

Estación:A. A. de la Piedad

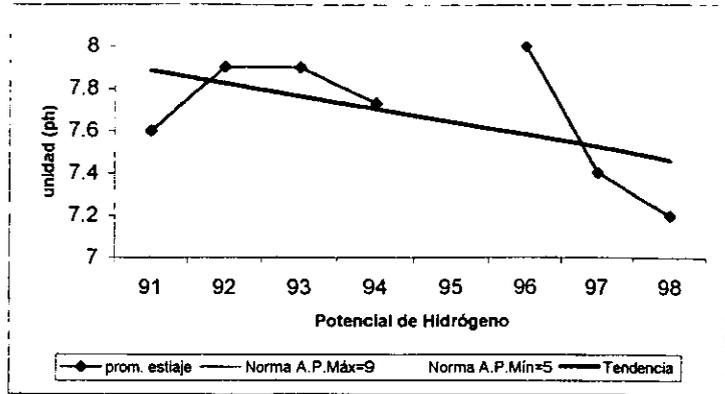
A	SEMESTRE SECO					Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO				
	Ñ	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom	
91	2	2	7.3	6.9	7.1	1	7.3	2	7.4	7.3	7.35	
92	2	2	7.6	7.56	7.58	1	7.56	2	7.7	7.5	7.6	
93	1	1			7.8			3	8.3	7.3	7.77	
94	1	1			7.6							
95	2	2	7.47	6.92	7.19	1	7.47	2	7.43	7	7.21	
96	2	2	7.32	7	7.16	1	7	2	7	7	7	
97	2	2	7.72	7.57	7.64	1	7.57	2	7.25	7.19	7.22	
98	3	3	7.38	7.15	7.3	2	7.38	2	7.32	7.09	7.2	

Estación:Briseñas

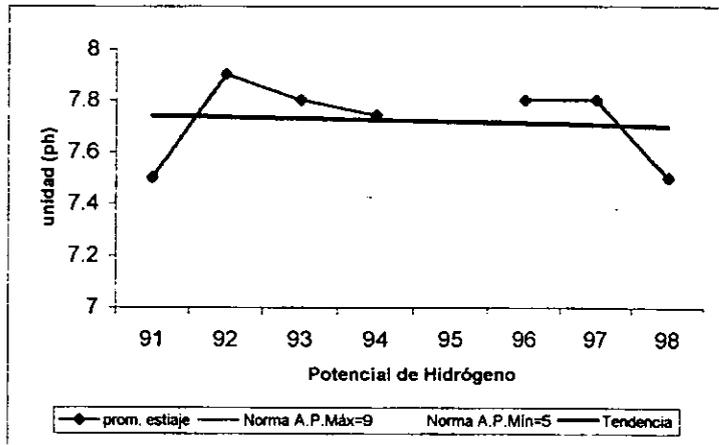
A	SEMESTRE SECO					Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO				
	Ñ	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom	
91								2	8.33	7.6	7.96	
92	1	1			8.01			1			7.25	
93	2	2	7.74	6.88	7.31	1	7.74	1			7.5	
94	1	1			7.29		7.29	1			8.36	
95	1	1			7.68		7.68	2	8.16	7.2	7.66	
96	2	2	7.6	7	7.3	1	7	1			7.43	
97	3	3	8.15	7.32	7.7	1	8.15	1			7.65	
98	2	2	8.68	7.57	8.12	1	7.57	1			6.96	

Estación: Puente Solis (DIF)

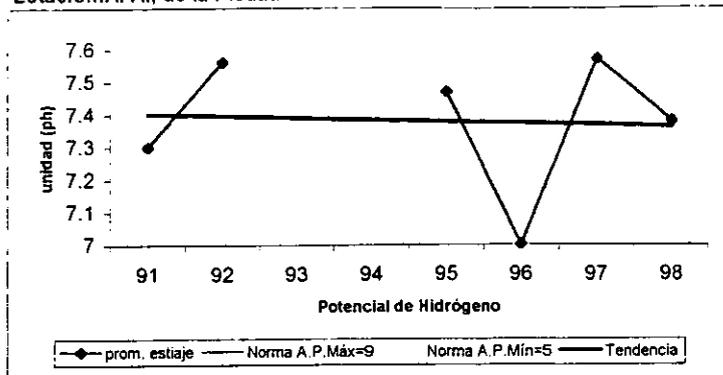
Estado: México



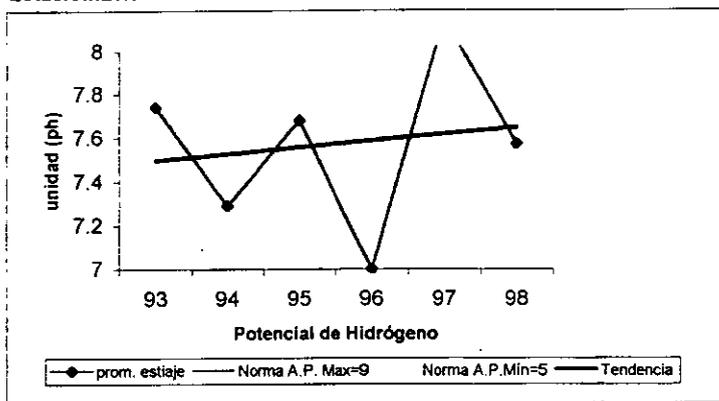
Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)



Estación: A. A., de la Piedad



Estación: Briseñas Estado: Jalisco



Parámetro: Demanda Bioquímica de Oxígeno

unidad: (mg/l)

Estación: Puente Solís (DIF)

A Ñ O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	2	38.5	4.06	21.28	2	21.28	1			9.13
92	2	6.8	5.8	6.3	1	5.8	2	15.7	12.34	14.02
93	1			5.92	1	5.92	2	47.6	4.73	26.16
94	3	28	25.375	26.25	3	26.25	3	67	32	55.33
95				72.8						
96	1						2	73.6	11.5	42.55
97	2	16	12.2	14.1	2	14.1	2	22.5	8.4	15.45
98	3	62.3	30	51.53	2	46.15	2	19.7	17	18.35

Estación: Acámbaro (Puente Ferrocarril)

A Ñ O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	2	5.48	1.1	3.29	1	3.29	1			3.56
92	2	1.26	0.738	0.99	1	1.26	4	5.328	4.11	4.72
93	1			2.34	1	2.34	4	4.68	2.36	3.52
94	4	12	3.5	6.02	3	4.02	3	7.8	6	6.6
95	1			7.25			2	10.2	3.04	6.62
96	2	9.8	3.04	6.42	1	9.8	2	7.6	4.68	6.14
97	2	9.7	8.12	8.91	1	9.7	2	25.8	15.6	20.7
98	2	7.94	4.24	6.09	1	7.94	2	19.2	12.7	15.95

Estación: A. A. de la Piedad

Estado: Michoacán

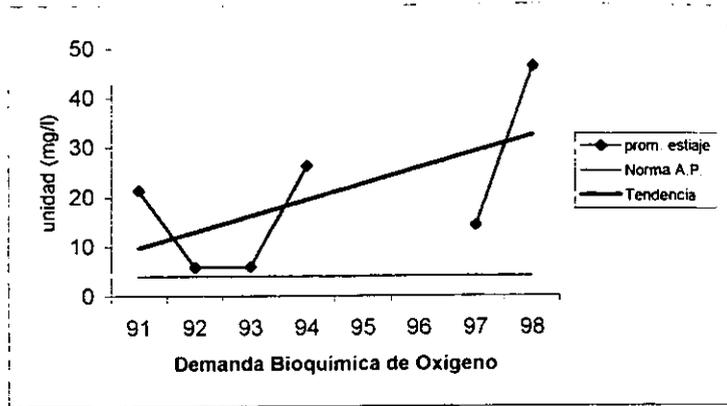
A Ñ O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	1			15.23	1	15.23	2	10.1	6.09	8.09
92	2	32.3	3.57	17.9	1	3.57	2	10.68	8.45	9.56
93	1			22.33	1	22.33	2	20.3	15	17.65
94	2	11.2	8.8	10	1	11.2	1			9.67
95	2	31	3.2	17.1	1	3.2	1			9.5
96	2	29.37	13.95	21.66	1	29.37				
97										
98	1			8			2	19.66	16	17.83

Estación: Briseñas

A Ñ O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91							2		2.8	2.9
92	1			16			1			19
93	2	16	14.4	15.2	1	14.4	1			18
94	1			5.74	1	5.74	1			15
95	1			9.7	1	9.7	2	9.08	8.92	9
96	2	13	12	12.5	1	12	1			27
97	3	17	9	13.26	1	13.8	1			9
98	2	250	17	133.5	1	250	1			10

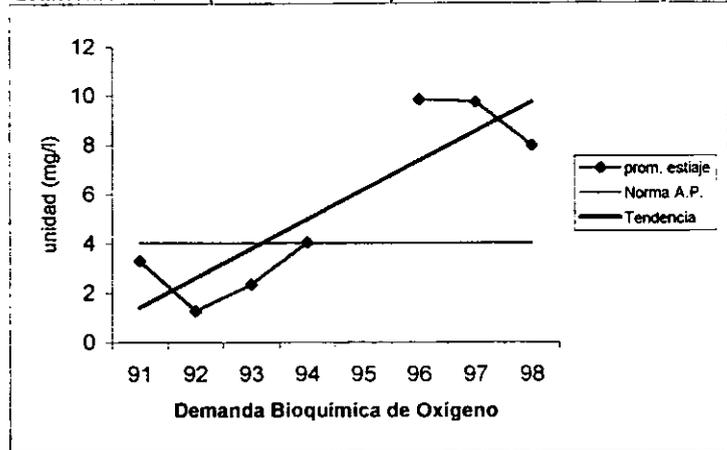
Estación: Puente Solís (DIF)

Estado: México



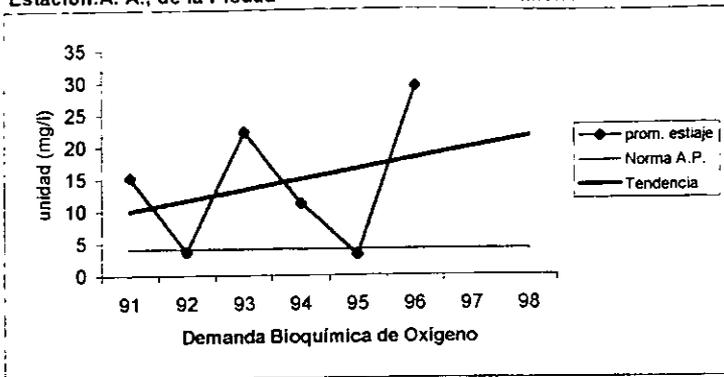
Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)

Estado: Guanajuato



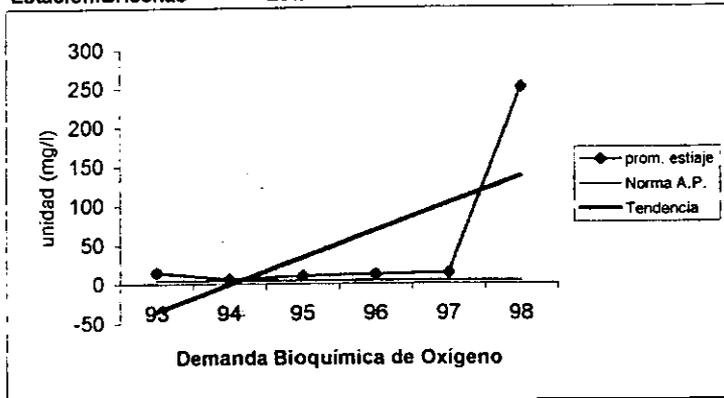
Estación: A. A., de la Piedad

Estado: Michoacán



Estación: Briseñas

Estado: Jalisco



Parámetro: Coliformes Totales

unidad: NMP/100ml

Estación: Puente Soils (DIF)

A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	1			700	1	700				
92	2	560000	240000	400000	1	240000	2	300000	80000	190000
93	2	490000	400	24700	1	400	2	200000	90000	145000
94	2	46000	1000	23500	1	1000	1			46000
95	2	230000	24000	127000	1	230000				24000
96	1			24000			2			150000
97	2	15000	9300	12150	2	12150	2	240000	46000	143000
98	3	24000	9300	19100	2	16650	2	240000	43000	141500

Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)

A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91							1			240000
92	2	500000	34000	267000	1	34000	4	520000	780000	2990000
93	2	130000	16700	73350	1	16700	4	570000	4000	287000
94	4	2.40E+11	12000	6.00E+10	3	68000	1			2400000
95	1			2400000			2	1100000	23000	561500
96	2	240000	93000	166500	1	240000	2	240000	40000	140000
97	2	43000	2100	22500	1	43000	2	46000	4300	25150
98	2	110000	900	55450	1	900	2	240000	93000	1246500

Estación: A. A., de la Piedad

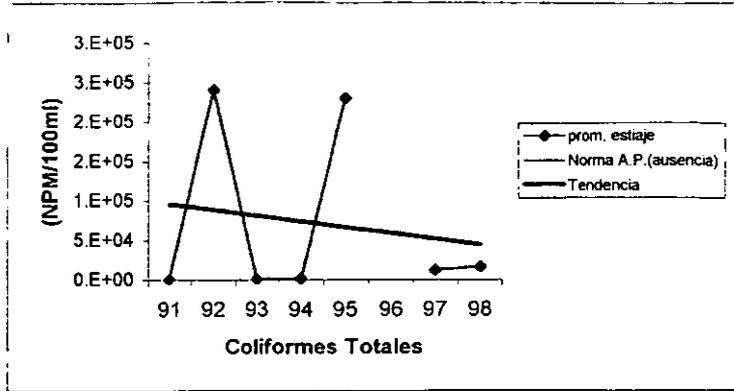
A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	1			1100000						
92	2	168000	25000	96500	1	25000	2	3300000	7000	1653500
93	2	2000000	58000	1029000	1	2000000	2	46000	8000	27000
94	1			180000						
95	2	200000	126000	163000	1	126000	2	1440000	170000	805000
96	1			170000	1	170000				
97										
98										

Estación: Briseñas

A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91							2	30000	2800	16400
92	1			8800	1	8800	1			10000
93	2	5300	2700	4000	1	2700	1			4800
94	1			40000	1	40000				
95	1			100	1	100	2	95000	1900	48450
96	2	59000		33080	1	59000	1			
97	3	17800	5567	23367	1	5567	1			6350
98	2	6200000	75000	3137500	1	6200000	1			100000

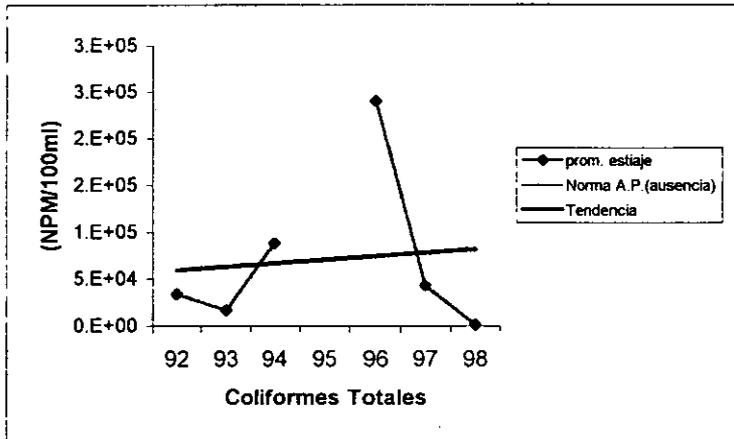
Estación: Puente Solís (DIF)

Estado: México



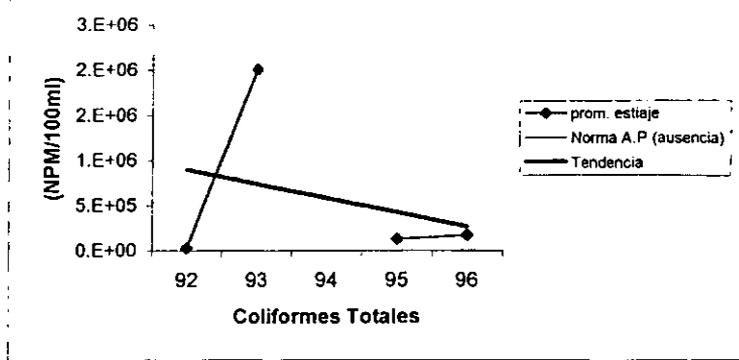
Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)

Estado: Guanajuato



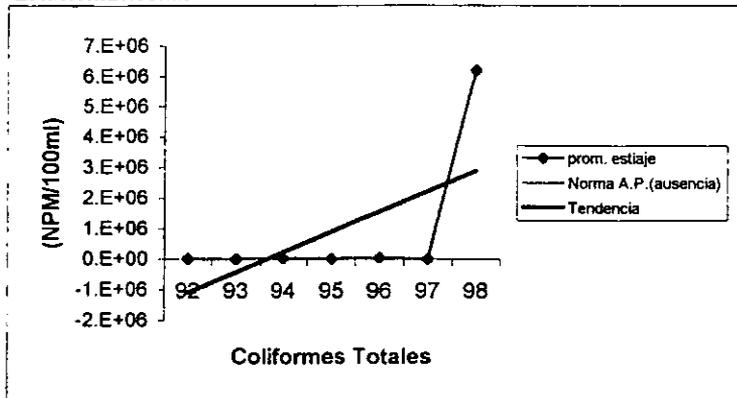
Estación: A. A. de la Piedad

Estado: Michoacán



Estación: Briseñas

Estado: Jalisco



Parámetro:

Grasas y aceites

unidad: mg/lt

Estación: Puente Solís (DIF)

A	Ñ	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO				
		mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom	
	O											
	91	2	31.4	3.3	17.36	1	3.3	2	54.4	5.6	30	
	92	1			8.4			2	10.08	9.5	9.79	
	93	2	22.5	21.9	22.2	1	22.5	2	7.52	4.9	6.21	
	94	3	10.7	7.08	9.49	3	9.49	3	54.4	5	37.9	
	95	2	76	54	65	1	76					
	96							2	12.5	9.9	11.2	
	97	1			18.5	1	18.5	1			19.2	
	98	2	49.3	49.3	49.3	1	49.3	1			0.4	

Estación: Acámbaro (Puente Ferrocarril)

A	Ñ	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
		mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
	O										
	91	2	62.03	16.5	39.26	1	16.5	1			72.7
	92	2	72.7	4.88	38.79	1	72.7	4	22.22	11.91	17.06
	93	2	35.4	19.6	27.5	1	35.4	4	4.07	4.04	4.05
	94	4	35.4	6	13.48	3	6.18	3	43.1	9	31.73
	95	1			2.5	1	2.5	2	5.57	4.7	5.13
	96	2	9.6	2.47	6.03	1	9.6	2	6.57	3.83	5.2
	97	2	7.21	3.98	5.6	1	7.21	2	2.47	1.23	1.85
	98	2	3.45	0.114	1.78	1	3.45	2	2.55	0.454	1.5

Estación: A. A., de la Piedad

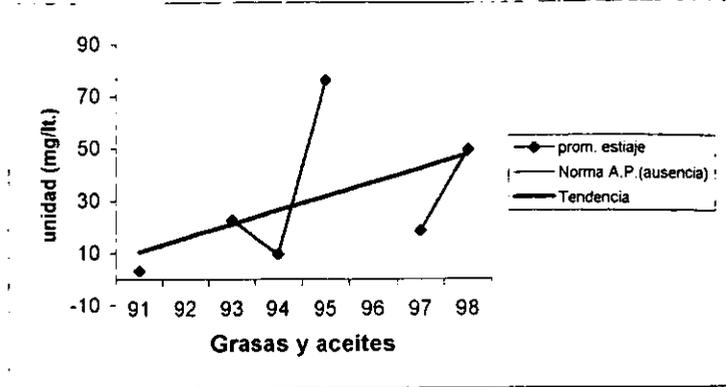
A	Ñ	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
		mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
	O										
	91	2	39.2	13.6	26.4	1	13.6	2	16.1	2.1	9.1
	92	2	16.2	14.32	15.26	1	16.2	2	10.45	8.53	9.49
	93	2	29.4	13.1	21.25	1	13.1	2	29.7	18.4	24.05
	94	2	59.7	4.36	30.03	1	4.36	1			13.94
	95	2	15.8	14	14.9	1	15.8	2	11.5	7.3	9.4
	96	2	20.41	0.72	10.57	1	20.41				
	97							1			9.45
	98	3	19.54	16.83	18.63	2	19.53	2	20.5	16.9	18.7

Estación: Briseñas

A	Ñ	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
		mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
	O										
	91							2	105	51	78
	92	1			35	1	35	1			69
	93	2	67	23	45	1	67	1			106
	94	1			104	1	104	1			54
	95	1			19	1	19	2	47	20	33.5
	96	2	14	9.7	11.85	1	14	1			33.5
	97	3	8.6	5.1	6.96	1	8.6	1			7.2
	98	2	15.6	5.6	10.6	1	15.6	1			12

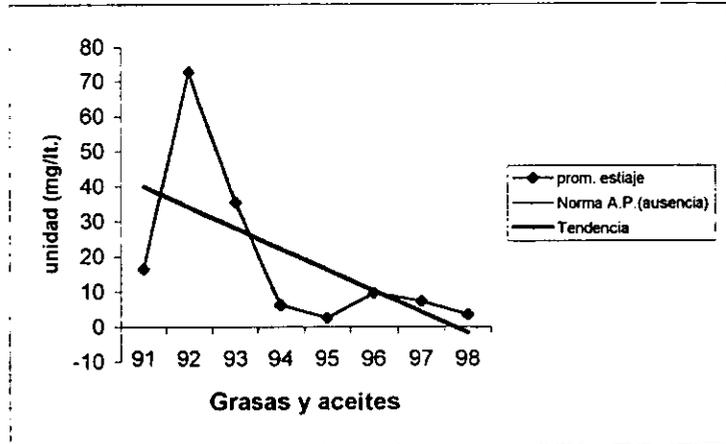
Estación: Puente Solís (DIF)

Estado: México



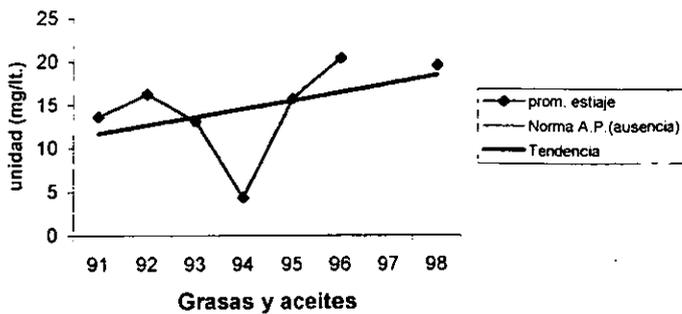
Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)

Estado: Guanajuato



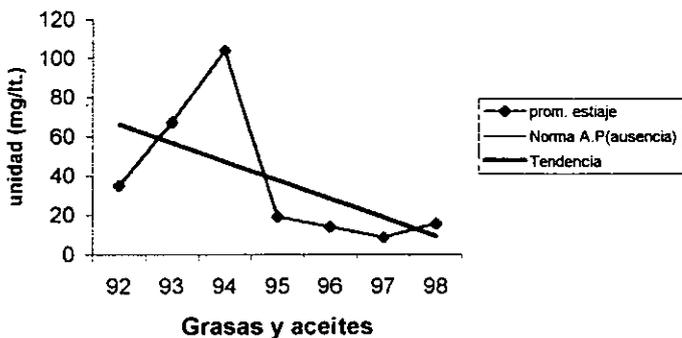
Estación:A. A., de la Piedad

Estado:Michoacán



Estación:Briseñas

Estado: Jalisco



Parámetro: Sustancias Activas Azul de Metileno (Detergentes)

unidad: mg/lit

Estación: Puente Solís (DIF)

A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	promedio
91	1			0.214			1			0.928
92	1			2.048	1	2.048	2	0.441	0.019	0.23
93	2	0.698	0.584	0.641	1	0.584	2	0.165	0.062	0.1135
94	3	0.516	0.001	0.172	3	0.172	3	0.61	0.293	0.398
95										
96										
97										
98										

Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)

A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	2	0.288	0.106	0.197	1	0.106	2	0.524	0.39	0.457
92	2	0.15	0.01	0.08	1	0.15	4	0.317	0.012	0.1645
93	2	0.433	0.325	0.379	1	0.325	4	0.143	0.089	0.116
94	4	0.64	0.117	0.3	3	0.187	3	0.76	0.01	0.29
95	1			0.118	1	0.118	2	2.34	0.118	1.229
96	2	0.79	0.01	0.4	1	0.79	2	0.423	0.05	0.236
97	2	0.286	0.101	0.193	1	0.286	2	0.073	0.033	0.053
98	1			0.05			2	0.654	0.05	0.352

Estación: A. A. de la Piedad

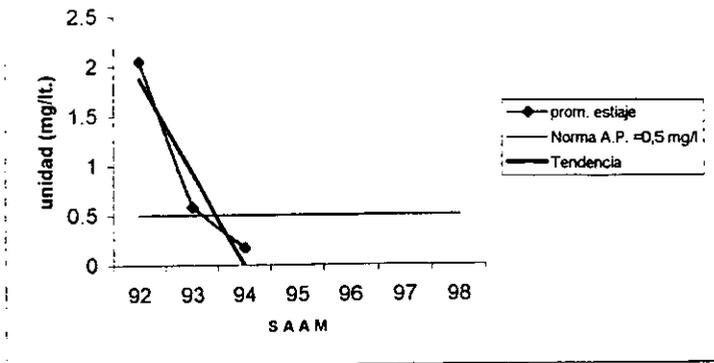
A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91	2	0.608	0.263	0.435	1	0.608	2	0.31	0.288	0.299
92	2	0.11	0.02	0.065	1	0.11	2	1.015	0.334	0.6745
93	2	0.26	0.151	0.2055	1	0.26	2	0.01	0.001	0.0055
94	2	0.332	0.01	0.171	1	0.01				
95										
96										
97										
98										

Estación:Briseñas

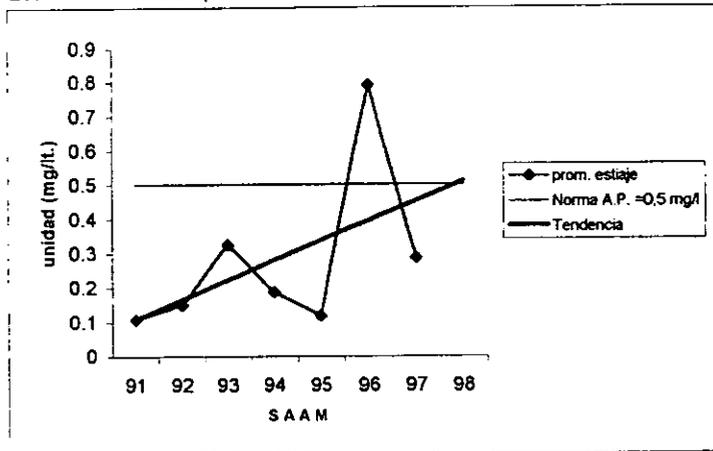
A N O	SEMESTRE SECO				Trimestre feb-mar-abr		SEMESTRE HUMEDO			
	mues tras	valor máx	valor mín	prom	mues tras	prom	mues tras	valor máx	valor mín	prom
91							2	0.2	0.01	0.105
92										
93	2	0.15	0.14	0.145	1	0.14	1			0.15
94	1			0.27	1	0.27	1			0.52
95	1			0.07	1	0.07	2	0.15		0.095
96	2	0.26	0.04	0.15	1	0.26	1			0.04
97	3	0.07	0.01	0.04	1	0.07	1			0.04
98	1			1.7	1	1.7	1			2

Estación: Puente Solís (DIF)

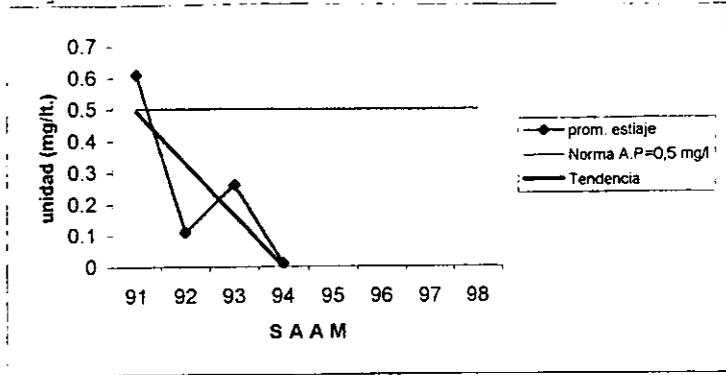
Estado: México



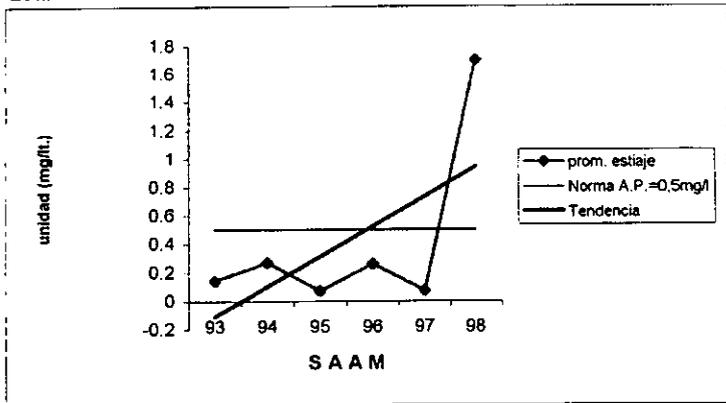
Estación: Acámbaro(Puente Ferrocarril)



Estación: A. A., de la Piedad



Estación: Briseñas Estado: Jalisco



BIBLIOGRAFIA

- CNA, SARH, Ley General de Aguas Nacionales.
Ed. CNA, Gerencia de la Unidad Jurídica tomada de la Ley de Aguas Nacionales publicada en el Diario Oficial de la Federación 1 de Diciembre 1992.
- SEMARNAP, CNA. Declaratoria de Clasificación del Río Lerma que establece su capacidad de asimilación y dilución.
Abril de 1996
- SEMARNAP, CNA. Proyecto de 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, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
Diciembre de 1996
- Programa Universitario del Medio Ambiente.
Temas ambientales.
- Fundamentos de Hidrología de Superficie
Aparicio M. J.
Limusa Noriega Editores
- Fair G. M. Geyer J.C.; Okun, D:A:
Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales
Editorial Limusa, México 1993
- Manual de tratamiento de aguas negras
Departamento de sanidad del estado de Nueva York
Limusa
- Fundamentos de control de la calidad del agua
Tebbutt
Limusa Noriega Editores reimpresión 1998

- **Indices de calidad del agua (ICA), formas para estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala**
Luis F. León Vizcaino
IMTA
- **Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento**
CNA, IMTA
Marzo de 1994
- **IMCYC “Durabilidad del Concreto” (ACI-201), nueva serie N. 20**
Limusa, México 1988
- **La Destrucción de la Naturaleza**
Carlos Vazquez Yanes
Alma Orozco Segovia
SEP, FCE, CONACYT, reimpresión 1995
- **Agua, Salud y Derechos Humanos**
Iván Restrepo (coordinador)
Comisión Nacional de Derechos Humanos
Primera Edición: enero 1995
- **Apuntes de Impacto Ambiental**
Facultad de Ingeniería UNAM
- **Apuntes de Comportamiento de Suelos**
Facultad de Ingeniería UNAM
- **Tesis “ Estudio de Calidad del Agua”**
Flora Muñiz Arcila
Facultad de Ingeniería UNAM 1997