

DIAGNÓSTICO DE LAS NECESIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS POBLACIONES DE LA CUENCA LERMA - CHAPALA

Informe Final

SUBCOORDINACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

COORDINACIÓN DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA

M. en I. Ivette Renée Hansen Rodríguez
Dra. Gabriela Mantilla Morales
Dra. Gabriela E. Moeller Chávez
M. en I. Fernando Pozo Román
M. en C. Alejandro Jesús Ruíz López

RESUMEN EJECUTIVO

En la cuenca del río Lerma se genera una tercera parte de la producción industrial nacional, el 20% del comercio y una de cada ocho de las hectáreas de riego y de temporal se encuentran en esta zona. El incremento del número de descargas a los cuerpos receptores ha ocasionado una fuerte contaminación y ha disminuido la calidad del recurso agua. Asimismo, las actividades socioeconómicas de los grandes centros urbanos y la falta de tratamiento de las aguas residuales de origen industrial y municipal agrava el problema de disponibilidad de agua para el consumo humano.

Un factor determinante en la problemática de la contaminación por descargas municipales es el que se refiere a los niveles de cobertura de alcantarillado en la región. Se presentan dos casos: la existencia un sistema de alcantarillado adecuado que permite recolectar y concentrar las aguas residuales para su tratamiento antes de descargarlas o de su reuso, y cuando para el saneamiento de zonas con una baja cobertura se requiere primero realizar las obras de recolección necesarias o, en su caso, la implantación de esquemas de saneamiento básico para un tratamiento en el sitio en el que se generan las aguas residuales. En la región Lerma-Santiago el 53% de las viviendas se encuentra en las grandes ciudades, el 23% en las ciudades medias y el 24% en el medio rural. En términos globales, la región es predominantemente urbana, con un 76% de las viviendas dentro de la zona urbana de las grandes y medias ciudades.

Se recabó la información de los planes de saneamiento en las comisiones estatales de agua de Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Estado de México y Querétaro; así como de los Organismos Operadores de las ciudades más importantes. Se analizaron los planes estatales hidráulicos de los estados antes mencionados y se realizaron visitas técnicas a poblaciones mayores de 50,000 habitantes (24 localidades). Conforme a la información generada por INEGI se analizaron las necesidades de tratamiento de las poblaciones mayores de 20,000 habitantes

Se realizaron estimaciones del monto de inversión necesario para el saneamiento de la cuenca. Acorde con los datos de INEGI, existen 13,877 localidades en la zona de estudio. La cobertura en el medio urbano es del 90% (741,000 habitantes sin servicio). Se colectan 26 m³/s de aguas residuales, de los cuales se trata un 25%, lo que representa 7 m³/s. El sector público-urbano descarga mediante sus sistemas de alcantarillado 827 hm³/año. En este contexto, se han contabilizado 106 poblaciones mayores de 10,000 habitantes en la cuenca. La mayor parte de estas poblaciones se localizan en Guanajuato. El estado que tiene mayor cobertura de tratamiento es Querétaro y el que presenta un déficit más importante es Michoacán.

De las 55 localidades mayores de 20,000 habitantes, 34 no cuentan con planta de tratamiento, lo que representa casi 1'780,000 habitantes sin saneamiento apropiado. En Jalisco, el 47% de la infraestructura de saneamiento de la cuenca (549 l/s) se encuentra en localidades menores de 20,000 habitantes, mientras que en el estado de Querétaro el 88% de las plantas trata las aguas generadas por la capital del mismo.

De acuerdo con el análisis del Plan de saneamiento del estado de Guanajuato, las localidades de Purísima de Bustos, Comonfort, Pénjamo, Villagrán y Salvatierra (mayores a 20,000 habitantes) no han sido incluidas para dotarlas de infraestructura de saneamiento. En estas localidades se realizó el cálculo de inversión para tres procesos. Se estima que si se utiliza el sistema de lodos activados, la inversión será de \$121'891,354, en caso de equipar estas localidades con filtro percolador la erogación se estima en \$83'861,825. Finalmente, la inversión más económica es la de lagunas de estabilización, cuyo monte se estima en \$66'053,501, pero hay que considerar las grandes extensiones de terreno que esta alternativa implica.

En el estado de Michoacán, la ciudad de Morelia ya está considerada en el presupuesto de inversión y se está construyendo una PTAR de 1,200 l/s mediante el proceso de lodos activados. Las poblaciones mayores de 20,000 habitantes sin infraestructura de saneamiento son Yurécuaro, Puruándiro, Maravatío de Ocampo y Jacona de Plancarte. La inversión estimada al utilizar el proceso de lodos activados es de \$102'293,557, en el caso de equipar estas localidades con filtro percolador la erogación se estima en \$71'751,866 y si se utilizan lagunas de estabilización es de \$55'096,120.

En Jalisco, las poblaciones sin infraestructura de saneamiento son Sayula, Atotonilco el Alto, Zapotlanejo y Lagos de Moreno, esto es, 157,500 habitantes. En este caso, si se utilizan lodos activados la inversión es de \$130'641,817, con filtro percolador es de \$99'558,584 y con lagunas de estabilización la erogación estimada es de \$68'478,921.

En el Estado de México las localidades mayores de 20,000 habitantes sin PTAR son Ocoyoacac, San Pablo Autopan, San Miguel Zinacantepec y San Mateo Atenco. La población sin servicio estimada es de 150,000 habitantes. Con lodos activados, la inversión asciende a \$125'455,617, para filtro percolador es de \$93'138,230 y con lagunas de estabilización es de \$66'254,524.

En el estado de Querétaro la única localidad mayor de 20,000 habitantes es El Pueblito, ahora conurbado a la capital. Su población asciende a 38,700 habitantes y no ha sido considerada de manera independiente en el Plan de Saneamiento. Sin embargo, es posible que sus aguas residuales sean tratadas por una de las plantas de la ciudad de Querétaro. Si se considera una PTAR para la localidad, sobre todo considerando las posibilidades de reúso y para disminuir costos de conducción, la inversión para el proceso de lodos activados es de \$37'059,613, con filtro percolador es de \$28'370,261 y con lagunas de estabilización es de \$19'337,091.

La elección del proceso de tratamiento está en función del espacio disponible en cada localidad, y de la fortaleza de las finanzas de cada municipio, ya que si bien es cierto que la alternativa más económica desde el punto de vista de inversión es la de lagunas de estabilización, se requieren extensiones de terreno muy importantes. En el caso de lodos activados, es necesario asegurar el pago mensual de electricidad para que funcione adecuadamente, y considerar que se necesita una plantilla de operadores capacitados para que el proceso sea eficiente.

De manera global y a nivel de cuenca, la inversión por proceso es la siguiente:

- Lodos activados: \$ 517'341,958
- Filtro percolador: \$ 376'680,766
- Lagunas de estabilización: \$ 275'220,157

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Metodología general del proyecto	3
1. ÁREA DE ESTUDIO	4
1.1 Ubicación	4
1.2 Distribución de la población en la cuenca Lerma - Santiago	14
1.3 Generación de aguas residuales	24
1.4 Infraestructura de saneamiento existente	28
1.5 Saneamiento básico	29
1.6 Descarga de las aguas residuales industriales	29
1.6.1 Influencia de las descargas de aguas residuales industriales	30
1.7 Contaminación del agua	31
1.8 Programas regionales de saneamiento	33
2. COSTOS ÍNDICE	37
2.1 Aspectos generales	37
3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO	39
3.1 Lodos activados convencional	39
3.2 Filtro percolador	40
3.3 Sistema lagunar	40
3.4 Humedales	41
4. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO REQUERIDAS EN LAS POBLACIONES MAYORES DE 20,000 HABITANTES EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA	42
4.1 Dotación diferente por estado. Costos a diciembre de 2005	42
4.2 Análisis comparativo	48
4.2.1 Ejercicio 1	49
4.2.2 Ejercicio 2	53
5. CONCLUSIONES	56
Bibliografía	59

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Población urbana, media urbana y rural en la Región Lerma-Santiago	14
2. Ciudades mayores de 50,000 habitantes por subregión	15
3. Poblaciones mayores de 10,000 habitantes en la cuenca Lerma-Chapala	16
4. Poblaciones mayores de 20,000 habitantes en la cuenca Lerma-Chapala	19
5. Generación y recolección de aguas residuales municipales en la Región Lerma-Santiago	25
6. Cuerpos receptores en el Alto Lerma	26
7. Cuerpos receptores en el Medio Lerma	27
8. Cuerpos receptores en el Bajo Lerma	27
9. Infraestructura de saneamiento en la cuenca Lerma-Chapala	28
10. Ecuaciones para estimación de costos índice de inversión	37
11. Proceso de lodos activados	42
12. Lagunas de estabilización	43
13. Filtro percolador	44
14. Humedales ($Q_{\text{diseño}} 2-70$ l/s)	45
15. Costos de inversión para Ocotlán y Santiago de Querétaro	46
16. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales Costos a diciembre de 2005	47
17. Lodos activados	49
18. Lagunas de estabilización	50
19. Filtro percolador	51
20. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales. Costos a junio de 2005	52
21. Costos de inversión, a septiembre de 2002. Dotación constante	53
22. Costos de inversión, a junio de 2005. Dotación constante	54
23. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales. Dotación constante. Costos a junio de 2005	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Cuenca Lerma-Chapala	4
2. El corredor industrial León-Querétaro	6
3. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 1970	20
4. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 1980	21
5. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 1990	21
6. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 2000	22
7. Proporción de población urbana Cuenca Lerma-Chapala, 2000	22
8. Proporción de población urbana Cuenca Lerma-Chapala e n función de la población económicamente activa, 2000	23
9. Degradación de la calidad del agua	31
10. Cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado en los cinco estados que conforman la cuenca	34
11. Proceso de lodos activados convencional	39
12. Proceso para un sistema de filtro percolador	40
13. Arreglo típico de tratamiento de un sistema lagunar	41
14. Arreglo típico de tratamiento por humedales	41

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del río Lerma se genera una tercera parte de la producción industrial nacional, el 20% del comercio y una de cada ocho de las hectáreas de riego y de temporal se encuentran en esta zona. El incremento del número de descargas a los cuerpos receptores ha ocasionado una fuerte contaminación y ha disminuido la calidad del recurso agua. Asimismo, las actividades socioeconómicas de los grandes centros urbanos y la falta de tratamiento de las aguas residuales de origen industrial y municipal agravan el problema de disponibilidad de agua para el consumo humano.

Un factor determinante en la problemática de la contaminación por descargas municipales es el que se refiere a los niveles de cobertura de alcantarillado en la región. Se presentan dos casos: la existencia un sistema de alcantarillado adecuado que permita recolectar y concentrar las aguas residuales para su tratamiento antes de descargarlas o de su reuso, y cuando para el saneamiento de zonas con una baja cobertura se requiere primero realizar las obras de recolección necesarias o, en su caso, la implantación de esquemas de saneamiento básico para un tratamiento en el sitio en el que se generan las aguas residuales.

El acceso a los servicios básicos también se presenta de manera irregular. En las grandes ciudades el porcentaje de cobertura del servicio de drenaje (97%) es mayor al del agua potable (95%), mientras que en las ciudades medias urbanas el servicio de agua potable (92%) es superior al de alcantarillado (85%). En la zona rural esta diferencia entre agua potable (74%) y drenaje (54%) se incrementa notablemente. En promedio, la cobertura en el medio urbano es del 90%, lo cual representa 741,000 habitantes sin servicio de drenaje en la cuenca. Se colectan 26 m³/s de aguas residuales, de los cuales se tratan aproximadamente 7 m³/s.

El sector público-urbano descarga mediante sus sistemas de alcantarillado 827 hm³/año, caudal que se envía a cuerpos de agua o drenes agrícolas, generalmente sin previo tratamiento. En este contexto, se han contabilizado 106 poblaciones mayores de 10,000 habitantes en la cuenca (INEGI, 2000). La mayor parte de estas poblaciones se localizan en el estado de Guanajuato.

Conforme a las bases de datos de la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua y la base de datos de la Gerencia de Inspección y Medición, se tienen registradas de manera confiable 179 descargas en la cuenca, con gastos de descarga que varían de un intervalo de 0.04 a 530 l/s. El gasto total registrado descargado es de 2,956 l/s. En esta base de datos, únicamente están registradas 22 plantas de tratamiento. Varios municipios cuentan con descargas múltiples que han de ser tomadas en cuenta para definir las necesidades de tratamiento de las poblaciones.

Se han realizado visitas técnicas a los municipios ribereños del lago de Chapala. En la ribera existen 17 plantas de tratamiento y casi todas las cabeceras municipales cuentan con una cobertura de drenaje del 90%. En el municipio de Cojumatlán no se cuenta con planta de tratamiento y se localiza una comunidad de pescadores, los cuales procesan diariamente 700 kg de pescado/día y los desechos son vertidos directamente en el lago. Una primera estimación de la inversión requerida para la rehabilitación de nueve plantas de tratamiento en la cuenca es de 87.4 millones de pesos.

De los 200 municipios que conforman la cuenca, únicamente 58 cuentan con algún sistema de tratamiento. El estado que tiene mayor cobertura de tratamiento es Querétaro y el que presenta un déficit más importante es Michoacán. De las 55 poblaciones mayores de 20,000 habitantes, 34 no cuentan con planta de tratamiento, lo que representa casi 1'780,000 habitantes sin saneamiento apropiado. En Jalisco, el 47% de la infraestructura de saneamiento de la cuenca (549 l/s) se encuentra en poblaciones menores de 20,000 habitantes, mientras que en el estado de Querétaro, el 88% de las plantas trata las aguas generadas por la capital del mismo.

Objetivos

- Definir y cuantificar las necesidades de tratamiento en poblaciones mayores de 20,000 habitantes de la cuenca Lerma-Chapala.
- Estimar la inversión necesaria para el saneamiento de las poblaciones de la cuenca Lerma-Chapala.

Metodología general del Proyecto

Se recabó la información de los planes de saneamiento en las Comisiones Estatales de Agua de los estados que conforman la cuenca Lerma-Chapala u Organismos Operadores de las ciudades más importantes.

Se analizaron los planes estatales hidráulicos de Jalisco, Estado de México, Guanajuato, Querétaro y Michoacán.

Se realizaron encuestas y visitas técnicas a poblaciones mayores de 50,000 habitantes y de acuerdo a la información generada por INEGI se analizaron las necesidades de tratamiento de las poblaciones mayores de 20,000 habitantes (55 localidades).

Se propusieron trenes de tratamiento tipo para el tratamiento de aguas residuales. Se realizaron estimaciones del monto de inversión necesario para el saneamiento de la cuenca.

1. ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Ubicación

La Cuenca Lerma – Chapala se encuentra dentro de la Región Lerma - Santiago - Pacífico, considerada como uno de los principales sistemas hidrológicos que conforman el territorio nacional.

Su cauce se origina en la laguna de Almoloya, Estado de México, con coordenadas geográficas de 19°09'00" latitud norte y 99°29'00" longitud oeste, y termina al desembocar en el lago de Chapala, ubicado en las coordenadas geográficas 20°14'14" latitud norte y 102°37'26" longitud oeste, después de un recorrido de 754 km y drenar una superficie de 41,429 km².

En su recorrido atraviesa parte de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Figura 1).



Figura 1. Cuenca Lerma-Chapala

Fuente: Peniche, 2003

Alto Lerma

Está integrado por cinco subcuencas hidrográficas: Alzate, Ignacio Ramírez, Solís y Tepuxtepec, que al año 2000 albergaban a 2'609,339 habitantes. El principal polo de asentamientos humanos es la ciudad de Toluca y su valle.

La ciudad de Toluca pasó de tener 114,000 habitantes en 1970 a 1'151,651 para el año 2000 (tasa de crecimiento anual promedio de 4.33%), aglutinando a los municipios de Toluca, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Zinacantepec y Mexicalcingo.

La CNA establece que la exportación de aguas del Valle de Toluca al Área Metropolitana de la Ciudad de México incide en la sobreexplotación del acuífero. Actualmente se ha reducido a 6 m³/s y la importación es de 1 m³/s del sistema Cutzamala para abastecer a la Ciudad de Toluca. Actualmente, del volumen extraído total (383 Mm³/s) el 42% se queda en el Valle de Toluca y se reparte de la siguiente manera: 79% para abastecimiento urbano, 12.9% para uso industrial y 8.1% dedicado a las actividades agropecuarias (Le Page, 2005).

El Plan de Desarrollo del Estado de México 1999-2005, indica que la porción correspondiente al Alto Lerma presenta un balance positivo aunque 16.3 m³/s de agua no se consideren como aptas para el consumo humano y la mayor parte están concesionadas, por lo que no son aprovechables y exporta 6 m³/s (16.7% a los municipios conurbados del Valle de México y el 83.3% restante al Distrito Federal) e importa 30 Mm³.

La política de parques industriales ha tendido a localizarlos en municipios que se encuentren en el curso principal del río, por lo que también existe una preocupación acerca de las aguas residuales que a él se verterán. Aunque se menciona que la mayoría de las industrias desalojan sus aguas residuales a colectores que van directamente a plantas de tratamiento como RECICLAGUA y a las macroplantas Toluca Norte y Toluca Oriente, siendo en estos en donde se tiene un mayor control de las descargas.

De acuerdo con el Programa hidráulico de gran visión 2001-2025 de la Región Lerma-Chapala-Santiago de la CNA, seis de los doce acuíferos de esta subregión presentan sobreexplotación. De la extracción de agua subterránea, el 39% se destina a uso agrícola, el 52% se emplea en uso público urbano y el 9% en uso industrial.

En el Estado de México el organismo operador encargado de la prestación de servicio de agua en bloque es la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado de México, a través de la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM), la cual brinda el servicio a los municipios, previa firma de un convenio. Para el cálculo de las tarifas los municipios se han clasificado en cinco grupos de acuerdo a sus características socioeconómicas. Un problema lo representa el hecho de que ante el incumplimiento en el pago de las tarifas no se suspenda el servicio.

Corredor industrial León-Querétaro

En el estado de Guanajuato, se ha designado por corredor industrial al espacio que liga varias ciudades a lo largo de los 125 kilómetros de la carretera Panamericana entre León y Celaya.

En la actualidad, el concepto de corredor podría ser extendido hasta San Francisco del Rincón por el lado occidental, y hasta Querétaro por el lado oriental, agrandándose de esta manera sobre una longitud de 200 kilómetros (Figura 2).

En casos extremos, algunos autores llegan a considerar que el corredor se extiende hasta las ciudades de Lagos de Moreno en Jalisco y San Juan del Río en Querétaro, pero estas dos últimas aparecen muy desligadas, por su lejanía (50 km.) y la casi ausencia de poblados intermedios.

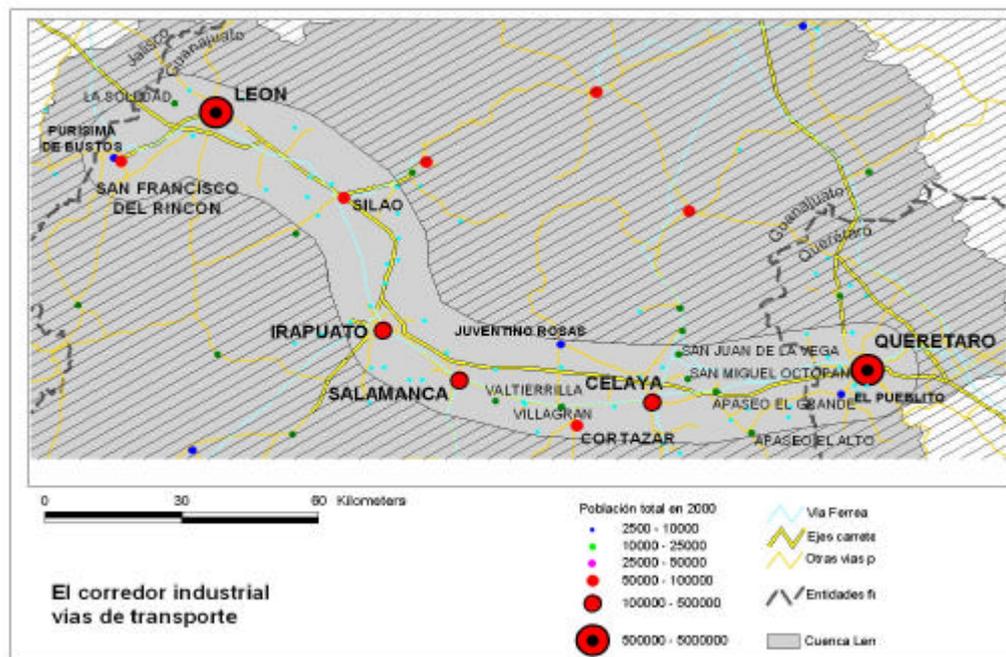


Figura 2. El corredor industrial León-Querétaro
Fuente: Le Page, 2005

El inicio del proceso intensivo de industrialización de la región comenzó con el establecimiento de la Refinería “Ing. Antonio M. Amor” (RIAMA) de PEMEX en Salamanca, en 1950.

En la actualidad, cinco ciudades rebasan los 100,000 habitantes y siete los 20,000. Las dos principales urbes crecen con tasas superiores al 3% anual. Las ciudades medianas que se encuentran dentro de la cuenca del Lerma tienen su propia problemática del agua.

San Francisco del Rincón (90,000 habitantes)

Ubicada al suroeste de León, San Francisco del Rincón es fabricante tradicional de sombreros y últimamente en la industria del zapato y la curtiduría. Con el tiempo se ha unido con la ciudad vecina de Purísima de Bustos, englobando así cerca de 100,000 habitantes para el año 2000.

León (1.1 millones de habitantes)

Con aproximadamente 1.1 millones de habitantes, la gran mayoría radicando en la urbe, León es la ciudad más poblada dentro de la cuenca Lerma-Chapala. La industria del calzado es tradicional y de gran importancia, con 4,110 establecimientos en el sector de la industria del cuero y calzado que emplea a 64,932 personas (Censos económicos, INEGI, 1999). La estructura de la industria es compleja, existe mucha diferencia entre tipos de productores capitalistas, familiares, e incluso “en casa”.

La apertura del mercado permitió la entrada del zapato chino mucho más barato, considerado como “competencia desleal” y al cual se combatió aplicando altísimos aranceles y recientemente con la modernización de las empresas grandes. Al mismo tiempo, León se ha consolidado como un centro comercial y de servicios para toda la región de El Bajío, de ahí que el 66% de su PEA ocupada esté en este sector.

La totalidad del agua potable de la ciudad proviene de acuíferos. En la actualidad, 108 pozos proveen a la ciudad de 2,948 l/s. Uno de los principales proyectos para enfrentar la creciente demanda de agua potable consiste en la construcción de una presa y un acueducto que permitirán incrementar la oferta en 3,800 l/s, trayendo agua del estado de Jalisco. Para resolver el problema a corto plazo SAPAL desarrolla un proyecto que consiste en una batería de pozos y un acueducto que incrementará la capacidad instalada del sistema en 600 l/s. La cobertura de los servicios de agua potable alcanza al 97% de la población de la ciudad, pero solamente el 70% tiene un servicio continuo.

SAPAL ha incrementado el porcentaje de facturación de un 41% en 1992, a 59% en el 2001, como resultado de un mejor mantenimiento en las redes de distribución; así como de una operación más eficiente del sistema, lo cual permitió incrementar el volumen facturado al tiempo que se reducía el volumen producido.

En 1992, SAPAL concursó la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en modalidad de inversión total privada, concesionando el servicio los primeros diez años de operación, lo cual fue postergado por cambios importantes en la regulación, los requerimientos y el entorno económico-financiero. La construcción de la planta se inició en 1999 y comenzó a operar en septiembre de 2000.

Silao (62,000 habitantes)

Se ubica a medio camino entre León e Irapuato; fue una ciudad poco activa hasta mediados de los 80's, pero la instalación de una planta General Motors en 1994 dinamiza la industria local y alienta la implantación de una veintena de compañías subcontratistas del sector automóvil. En este subsector trabajan 4,583 empleados. Existen industrias relacionadas con el sector agro que son empacadoras de fruta, legumbres y diversos lácteos (Censos económicos, INEGI, 1999).

El acuífero de Silao-Romita, con un abatimiento anual de 3 metros es uno de los más explotados de la región, de allí la reciente pugna que existió entre los moradores de La Romita en contra del proyecto de un ducto hacia la ciudad de León.

Irapuato (320.000 habitantes)

Con 440,000 habitantes, el municipio de Irapuato es el cuarto mas grande de la cuenca. La ciudad cuenta con 320,000 habitantes y es la capital textil en Guanajuato. Es el primer sector productivo de la ciudad donde destacan una decena de empresas maquiladoras, una treintena de empresas medianas y un centenar de talleres familiares que emplean a 8,850 personas (Censos económicos, INEGI, 1999).

Irapuato está muy ligado con el sector agrícola. El ramo agroindustrial incluye plantas transformadoras, empacadoras y congeladoras para carnes, lácteos, frutas y legumbres, aceites y grasas comestibles que dan empleo a 9,117 personas; la industria metálica y la industria química conexas del sector agrícola. Al igual que otras ciudades de El Bajío, la actividad comercial también es importante, dando empleo a 72,000 habitantes.

La Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Irapuato (JAPAMI) inicia sus actividades como organismo descentralizado en el año de 1984. En su primera etapa (84-94), el organismo se dedicó mejorar el servicio a través de obras de conducción, rehabilitación de pozos y obras de alcantarillado. La segunda etapa inicia con la entrega de la planta de tratamiento construida al sur de la ciudad, entregada por la CNA en 1994. Durante los cuatro años siguientes, las inversiones se orientaron a la canalización de las aguas negras hacia la planta.

La ciudad se asienta sobre el acuífero Irapuato-Valle de Santiago, también sobre-explotado ya que acusa un déficit anual de 173 Mm³ y un abatimiento promedio de dos metros. Los 50 pozos extraen alrededor de 1,200 l/s, pero Irapuato se considera como uno de los municipios más eficientes del estado y del corredor con pérdidas por transmisión inferiores al 30%.

Salamanca (137,000 habitantes)

La ciudad de Salamanca presenta una marcada tendencia a estabilizar o disminuir su población en el futuro próximo, ya que su flujo inmigratorio es muy bajo.

Aunque la refinería represente apenas el 13% del total nacional, Salamanca es un importante cluster petroquímico y es el segundo productor de aceites en México. Los principales giros industriales en el municipio se dedican a la elaboración de derivados del petróleo, uniformes deportivos, productos químicos, hielo, óxido de hierro, mezclas de hule y plásticos, vaselina, aceites y sulfunatos, nitrógeno, argón, anhídrido carbónico, pinturas, adhesivos, mejoradores de suelos, envases de hojalata, equipos industriales, reactores, pesticidas, sulfato de amonio, urea, refacciones industriales, velas, brillantinas y bióxido de carbono líquido, principalmente.

La actividad industrial más importante es la refinación de petróleo, que da empleo a 5,038 personas. Es una ciudad con 56% de su PEA ocupada en el sector terciario (comercio y servicios).

El servicio de agua potable depende en su totalidad del agua subterránea, la cual se extrae a través de 33 pozos (550 l/s). El acuífero de Salamanca acusa una disminución promedio anual del orden de 1.5 a 2 metros, por lo que se encuentra en veda rígida desde 1983. En lo que concierne al consumo urbano, la CEAG estima un consumo promedio de 247 l/hab/d, más una pérdida del 52% en el proceso de distribución.

Según los cálculos de la CEAG, la mejora de los procesos de distribución (micromedición, control de pérdidas) y la tecnificación de la agricultura no será suficiente para revertir el abatimiento del acuífero.

El organismo llamado Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Salamanca (CMAPAS), creado en 1990, no se encarga del tratamiento de las aguas residuales, pero tiene un convenio con PEMEX, en cuya planta se procesan 160 l/s. Esta capacidad es insuficiente y añadida al área que no está cubierta por la red de drenaje, se puede estimar que entre una tercera parte y la mitad de las aguas negras no están tratadas, descargándose directamente al río Lerma.

Cortázar (53,866 habitantes), Villagrán (22,949 habitantes) Valtierrilla (11,372 habitantes) y Mexicanos/Sarabia (9,590 habitantes)

A lo largo de 20 kilómetros, estas cinco ciudades acumulan cerca de 100,000 personas esparcidas sobre los municipios de Salamanca, Villagrán y Cortázar. Este último más orientado al comercio, mientras que la ciudad de Villagrán se inclina hacia la industria. La CEAG estima que la eficiencia de distribución es bastante buena en Villagrán (30% de desperdicio con una dotación de 157 l/hab/d), pero deficiente en Cortázar, ya que se tiene pérdida de hasta la mitad y una dotación de sólo 104 l/hab/d. Estas evaluaciones se deben tomar con cautela ya que Cortázar dispone de un sistema de micromedición, mientras Villagrán no lo tiene implementado.

Celaya (383.000 habitantes en municipio, 278.000 habitantes en la ciudad)

La industria celayense representa el 11.8% del estado. La región de Celaya tiene un gran desarrollo agrícola y en consecuencia, la industria está muy ligada con él, ya sea mediante el subsector de productos alimenticios y bebidas, como con la industria química; pero sobre todo, con la industria metal-mecánica que genera la mitad del PIB municipal.

Aunque las industrias manufactureras, en general, emplean a 21,025 personas; son las actividades terciarias de comercio y servicios las que emplean a casi 72,000 habitantes.

De la misma manera que en el resto del estado de Guanajuato, el acuífero de Celaya que se extiende sobre varios municipios desde Salamanca hasta Apaseo El Alto, está muy sobreexplotado, con un abatimiento anual calculado de 3 metros. En la urbe, la gran concentración de pozos crea un cono de abatimiento propiciando agrietamientos y desniveles que pueden alcanzar los tres metros.

La JUMAPA es el organismo operador del agua. Principalmente a causa de la crisis económica del 94, este organismo no ha podido reembolsar el préstamo contratado en 1990, lo que impide nuevas inversiones y grava enormemente las finanzas municipales.

Pequeñas ciudades entre Celaya y Querétaro

Los municipios de Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, así como la parte oriental de Celaya presentan una cadena de pequeños a medianos centros urbanos. Los ocho más importantes suman 85,000 personas y se ubican de oeste a este de cada lado del eje vial principal:

- San Miguel Octopan (11,450)
- Apaseo El Grande (21,500)
- San José Agua Azul (4,500)
- San Pedro Tenango (3,500)
- Apaseo El alto (24,300)
- San Juan de La Vega (13,500)
- San Bartolomé de Agua (2,700)
- San Juan del Llanito (3,000)

Querétaro (620,000 habitantes)

Marca el final a lo largo del corredor industrial y es el polo urbano opuesto a León. La ciudad de Querétaro tiene el más alto crecimiento anual desde los años setenta, entre las ciudades del corredor industrial, y ha tenido una intensa inmigración proveniente de la capital de la república.

Destacan tres parques industriales, que han sido receptores de la descentralización del Distrito Federal y del crecimiento explosivo de la maquila extranjera. Para 1999, el sector manufacturero, con 1,936 establecimientos, daba empleo a 43,341 personas, 10,000 más que en 1989 (Censos económicos, INEGI, 1989, 1999). Las ramas destacadas son la metal-mecánica y de autopartes, la de alimentos procesados, la eléctrica y electrónica, y la química y vidriera, entre otras. Sin embargo, la actividad de los productos metal-mecánicos y de autopartes constituye el 66% de los giros industriales. Se reporta la compra-venta de derechos agrícolas de agua subterránea, pero también se menciona que varias empresas han mejorado la eficiencia en cantidad de agua utilizada y reciclaje de agua residual.

La totalidad del agua urbana proviene del subsuelo. Se cuentan 58 pozos en el acuífero de Querétaro, más 11% de importaciones de otros acuíferos, sumando así 2,200 l/s. Se estima que la producción de agua es insuficiente ya que existe un déficit del orden de un tercio. Para enfrentar este problema, el gobierno del estado ha recibido la autorización de importar 78.8 Mm³ de una presa en el Río Extoraz, situada a 138 km al noreste de la ciudad. Se contempla que este proyecto podría concluir en el 2007.

El sector agua está manejado por la CEA a nivel estatal. Este organismo operador, creado en 1980, muestra una buena salud financiera, aunque con verdaderas deficiencias operativas debido a la escasez del agua. El acuífero Querétaro experimenta un abatimiento promedio anual de la orden de 3 metros, pero con puntas de hasta 6 metros, y la alta tasa de crecimiento urbana aumenta la presión sobre esta reserva. En la actualidad se están llevando a cabo varias acciones para contrarrestar la baja del acuífero y sobretodo, abastecer a la ciudad: tecnificación del riego, transferencia de otros acuíferos, construcción de presas, programa de reuso para la industria

El corredor industrial permanece en proceso de desarrollo y estructuración. El crecimiento poblacional es bastante importante (3-4% anual). La presión urbana es importante sobre ciertos acuíferos, por lo que la CEAG evalúa que alcanza niveles del 28.1% en el acuífero del Río Turbio y 26.6% en el Valle de León. La zona ha sido puesta bajo el régimen de veda estricta, imposibilitando la perforación de nuevos pozos para el uso urbano.

La situación de la distribución del agua presenta graves deficiencias en cuanto a pérdidas distribución y recaudación. Las pérdidas se estiman en alrededor de la mitad, pero la situación es muy desigual de un municipio a otro. En cuanto a la distribución de agua, se contabiliza que casi la totalidad de la población urbana tiene suministro, pero la calidad del servicio es también desigual, al haber un gran número de casos con distribución discontinua.

La recaudación es el sector que recibe en la actualidad más inversión, ya que es todavía bastante deficiente en los municipios de Silao, Irapuato y Celaya. El costo de los servicios es un problema álgido, que se ha confinado en el plan político, pero que en todos casos es necesario implementar eficazmente para desarrollar el sector Agua de cada una de las entidades urbanas.

Los niveles de contaminación del corredor industrial son muy altos. Los parámetros de medición de la contaminación son escasos y a veces incompletos, pero el Índice de Calidad del Agua (ICA) calculado para el Río Turbio (25) es revelador del nivel crítico de contaminación. En otros ríos relacionados con el corredor industrial como el Laja o el Guanajuato, el ICA se ha evaluado entre 45 y 55 que establece al agua como contaminada para todos los usos.

Los organismos municipales gestores del agua fueron creados a finales de los ochentas, principios de los noventas. Evidentemente no todos tienen la misma eficiencia, ni la misma salud financiera. La necesidad de inversión ha provocado la suscripción de préstamos muy altos, que en algunos casos llegan a gravar de manera muy importante el funcionamiento de estas instituciones. El caso de la ciudad de Querétaro es diferente, ya que la inversión está gestionada directamente desde la institución estatal.

El Lerma, entre Guanajuato y Michoacán, y la Ciénega de Chapala

Las subcuencas pertenecientes al Medio Lerma en el estado de Michoacán y parte de Guanajuato son las de Yurécuaro, Yurira y Angulo; mientras que la del Duero ya correspondería al Bajo Lerma. Cada una de las subcuencas alberga por lo menos un centro de población importante: La Piedad, Moroleón-Uriangato y Zacapu, respectivamente.

La ciudad de La Piedad (70,000 habitantes) se distingue por su actividad pecuaria y sus descargas al Río Lerma. La ciudad cuenta con una planta de tratamiento que tiene capacidad de diseño para tratar el 90% del agua residual generada. Se encuentra dentro de una zona de alta generación de contaminantes formada por la zona urbana agroindustrial de Abasolo-Pénjamo-La Piedad. De la población total del municipio el 5% se dedica al sector primario, el 30% al sector secundario y el 65% al sector terciario. La Piedad tiene una dotación de 414 l/hab/d, con 15% de fugas y 86% de eficiencia comercial; además, no se realiza micromedición (Programa hidráulico de gran visión 2001-2025 de la Región Lerma-Chapala-Santiago, CNA). Es la única ciudad de Michoacán en donde las tarifas cubren los gastos por la dotación del servicio. De acuerdo con los datos generados por el municipio, La Piedad tiene una cobertura en agua potable de 90% y en drenaje del 70%.

Moroleón-Uriangato (86,203 habitantes) constituyen un enclave urbano especializado en la producción de ropa. Albergan a más de 7,000 establecimientos manufactureros que dan empleo a casi 20,000 personas. No cuentan con planta de tratamiento y en conjunto generan 140 l/s de aguas residuales. La dotación es de 282 y 263 l/hab/d, respectivamente, con casi el 50% de fugas. Mientras que Moroleón tiene el 96% de micromedición, Uriangato sólo tiene el 67%. Las descargas de aguas residuales de ambas ciudades desembocan en la Laguna de Yuriria, lo que incide en la eutroficación de la misma.

Zacapu (49,089 habitantes) es una ciudad con casi el 60% de la PEA en el sector servicios y con una industria con tres sectores de importancia principalmente (química, de madera y papel). Del total de la población de la cuenca Angulo, el 50% es urbana con una cobertura de agua potable del 88% y de drenaje del 39%. La ciudad de Zacapu cuenta con una planta de tratamiento con capacidad para tratar 120 l/s, aunque se generan 145 l/s de aguas residuales.

Bajo Lerma

Esta región comprende las subcuencas pertenecientes a la llamada Cuenca Propia del Lago de Chapala: Duero, Zula y Chapala, por lo que se incluyen municipios pertenecientes a Jalisco y Michoacán, principalmente.

Aunque la actividad agropecuaria es la más importante, han habido serios esfuerzos por industrializar esta porción del territorio sobre todo por parte del gobierno de Jalisco. En la década de los 70's el Gobierno del Estado promocionó un corredor industrial que pretendía consolidar una franja de 90 km desde El Salto pasando por Atequiza, Poncitlán y Ocotlán hasta llegar a La Barca, con lo que se aseguraría espacio suficiente, previendo la descentralización industrial.

La región Ciénega se caracteriza por el desarrollo manufacturero de Ocotlán en la actividad mueblera, principalmente; de Poncitlán, en la industria química; de Ayotlán, en la industria textilera, y por la presencia de Chapala y La Barca en servicios y comercio. Al ser la actividad agropecuaria una de las más importantes de la región Ciénega se ha conformado un corredor agroindustrial y de servicios, cuyas cabeceras son las ciudades de Ocotlán-La Barca, Sahuayo-Jiquilpan y Zamora-Jacona que en conjunto albergan a casi 380,000 habitantes. Aunque las poblaciones están más enfocadas a actividades terciarias (comercio y servicios) controlan una importante área de producción agropecuaria, especializada en la producción de fresa y hortalizas (Zamora-Jacona) y cereales (La Barca).

El conflicto en torno al agua se da entre el campo y la ciudad, principalmente por tres razones: a) el tipo de riego; b) la cercanía con el lago de Chapala, que cada vez recibe menos aportes del río Lerma; y, c) los conflictos internos entre ciudades y el problema del tratamiento de aguas residuales.

En cuanto a las plantas de tratamiento, tanto Zamora, Sahuayo, Ocotlán y La Barca cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, aunque no tratan el total del agua residual producida. Poblaciones como Jacona no cuentan con planta de tratamiento y Jiquilpan sólo trata el 38% de sus aguas residuales.

La rívera de Chapala

A la orilla del Lago de Chapala se localiza un conjunto de poblados que principalmente basan su economía en los servicios, con casi el 45% de la población económicamente activa, además del sector primario y secundario. En conjunto habitan en ella casi 110,000 habitantes distribuidos en 136 poblaciones, siendo las más importantes el corredor urbano-turístico Chapala-Jocotepec, en la ribera norte del lago, en donde la principal actividad económica está relacionada con la actividad turística y la vivienda de descanso. La ribera sur se caracteriza por una mayor actividad en los sectores primario y secundario, cuyos principales asentamientos son San Luis Soyatlán, Tizapán el Alto y Cojumatlán.

El Gobierno del Estado de Jalisco creó un programa para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para las poblaciones que se localizan en las márgenes del lago. Existen 17 plantas de tratamiento a cargo de la CEAS con una capacidad total para tratar 300 l/s. Aunque para cubrir al total de poblaciones en la cuenca propia del lago, es necesaria la construcción de 18 plantas de tratamiento.

1.2 Distribución de la población en la cuenca Lerma - Santiago

En la región Lerma-Santiago el 53% de las viviendas se encuentra en las grandes ciudades, el 23% en las ciudades medias y el 24% en el medio rural. En términos globales, la región es predominantemente urbana, con un 76% de las viviendas dentro de la zona urbana de las grandes y medias ciudades. Sin embargo, esta distribución no es uniforme en toda la región: en la zona del Alto Lerma no se presenta una predominancia de las grandes ciudades sobre las ciudades medias y la zona rural (Tabla 1).

Tabla 1. Población urbana, media urbana y rural en la Región Lerma-Santiago

Subregión	Total Viviendas	G. Ciudades		C. Medias Urb.		Rurales	
		Total	%	Total	%	Total	%
Alto Lerma	658,312	233,953	35	214,439	33	209,920	32
Medio Lerma	1,018,191	501,284	49	219,292	22	397,615	29
Bajo Lerma	241,813	53,988	22	125,857	52	61,968	26
Alto Santiago	1,132,980	839,870	74	153,064	14	140,046	12
Bajo Santiago	146,076	56,935	39	33,430	23	55,711	38
Regional	3,197,372	1,686,030	53	746,082	23	765,260	24

Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda, 1995

En la Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico, el censo de 1990 reporta 21 ciudades con más de 50,000 habitantes, cinco de ellas en el estado de Guanajuato, cinco en Jalisco, cuatro en Colima, dos en Michoacán, dos en el estado de México, una en Querétaro, una en Aguascalientes y una en Nayarit (Tabla2). El resto de la población urbana ubicada en poblaciones mayores de 2,500 habitantes representa el 76% de la población total de la región y el 24% restante corresponde a la población rural. De igual forma, ese mismo censo registra 26 ciudades de entre 20,000 y 50,000 habitantes, las cuales para el año 2005 deberán contar con plantas de tratamiento, 11 en Guanajuato, ocho en Jalisco, cuatro en Michoacán, dos en el estado de México y una en Zacatecas.

De acuerdo con los datos generados por el XII Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000) existen 13,877 localidades en la zona de estudio.

Tabla 2. Ciudades mayores de 50,000 habitantes por subregión

Subregión	Localidad	Población	Estado
ALTO LERMA	Metepec	158,000	México
	Toluca	435,000	México
	San Mateo Atenco	57,000	México
	Acámbaro	55,000	Guanajuato
	Morelia	549,000	Michoacán
Subtotal		1'254,000	
MEDIO LERMA	San Miguel Allende	59,000	Guanajuato
	Dolores Hidalgo	50,000	Guanajuato
	Querétaro	536,000	Querétaro
	Celaya	277,000	Guanajuato
	Salamanca	137,000	Guanajuato
	Valle de Santiago	58,000	Guanajuato
	Cortazar	53,000	Guanajuato
	León	1'020,000	Guanajuato
	Irapuato	319,000	Guanajuato
	Silao	67,000	Guanajuato
	San Francisco del Rincón	65,000	Guanajuato
	Guanajuato	74,000	Guanajuato
	La Piedad	70,000	Michoacán
Subtotal		2'785,000	
BAJO LERMA	Zamora	122,000	Michoacán
	Sahuayo	57,000	Michoacán
	Ciudad Guzmán	85,000	Jalisco
Subtotal		264,000	
TOTAL (*)		4'309,000	

Fuente: XII Censo de Población y Vivienda 2000, INEGI

(*) Valor redondeado

Poblaciones mayores de 10,000 habitantes

De acuerdo con el XII Censo de Población y Vivienda de INEGI (2000), en la Cuenca Lerma-Chapala existen 106 poblaciones mayores de 10,000 habitantes (Tabla 3).

Tabla 3. Poblaciones mayores de 10,000 habitantes en la cuenca Lerma-Chapala

Edo.	Municipio	Localidad	Población
Gto.	Abasolo	Abasolo	24.532
Gto.	Acámbaro	Acámbaro	55.516
Gto.	Allende	San Miguel de Allende	59.691
Gto.	Apaseo El Alto	Apaseo El Alto	24.300
Gto.	Apaseo El Grande	Apaseo El Grande	21.506
Gto.	Celaya	Celaya	277.750
Gto.	Celaya	San Juan de La Vega	13.500
Gto.	Celaya	San Miguel Octopan	11.452
Gto.	Manuel Doblado	Ciudad Manuel Doblado	12.558
Gto.	Comonfort	Comonfort	21.187
Gto.	Comonfort	Empalme Escobedo	12.321
Gto.	Cortazar	Cortazar	53.886
Gto.	Dolores Hidalgo	Dolores Hidalgo	50.391
Gto.	Guanajuato	Guanajuato	74.874
Gto.	Guanajuato	Marfil	14.480
Gto.	Irapuato	Irapuato	319.148
Gto.	Jaral del Progreso	Jaral del Progreso	16.862
Gto.	León	León de los Aldama	1.020.818
Gto.	León	Centro Familiar La Soledad	18.526
Gto.	Moroleón	Moroleón	40.512
Gto.	Pénjamo	Pénjamo	32.035
Gto.	Pénjamo	Santa Ana Pacueco	10.314
Gto.	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	25.274
Gto.	Romita	Romita	18.385
Gto.	Salamanca	Salamanca	137.000
Gto.	Salamanca	Valtierrilla	11.372
Gto.	Salvatierra	Salvatierra	34.066
Gto.	San Felipe	San Felipe	24.935
Gto.	San Francisco del Rincón	San Francisco del Rincón	65.183
Gto.	San José Iturbide	San José Iturbide	15.868
Gto.	San Luis de La Paz	San Luis de la Paz	42.588
Gto.	Santa Cruz de Juventino Rosas	Juventino Rosas	35.775
Gto.	Silao	Silao	61.661
Gto.	Tarimoro	Tarimoro	12.044
Gto.	Uriangato	Uriangato	45.691
Gto.	Valle de Santiago	Valle de Santiago	58.837

Edo.	Municipio	Localidad	Población
Gto.	Villagrán	Villagrán	22.949
Gto.	Yuriria	Yuriria	22.145
Jal.	Acatic	Acatic	11.005
Jal.	Arandas	Arandas	39.478
Jal.	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	26.235
Jal.	Ayotlan	Ayotlan	10.131
Jal.	Barca, La	Barca, La	32.134
Jal.	Zapotlan El Grande	Ciudad Guzmán	85.118
Jal.	Chapala	Chapala	19.311
Jal.	Chapala	Ajijic	13.031
Jal.	Degollado	Degollado	10.217
Jal.	Jamay	Jamay	15.498
Jal.	Jocotepec	Jocotepec	15.639
Jal.	Lagos de Moreno	Lagos de Moreno	79.592
Jal.	Ocotlan	Ocotlan	75.942
Jal.	Poncitlán	Poncitlán	12.418
Jal.	San Julián	San Julián	12.117
Jal.	San Miguel El Alto	San Miguel El Alto	21.098
Jal.	Sayula	Sayula	24.051
Jal.	Tepatitlán de Morelos	Tepatitlán de Morelos	74.262
Jal.	Tepatitlán de Morelos	Capilla de Guadalupe	11.825
Jal.	Tizapan El Alto	Tizapan El Alto	13.669
Jal.	Tototlan	Tototlan	10.467
Jal.	Zacoalco de Torres	Zacoalco de Torres	15.648
Jal.	Zapotlanejo	Zapotlanejo	27.608
Méx.	Atlacomulco	Atlacomulco de Fabela	19.988
Méx.	Capulhuac	Capulhuac de Mirafuentes	18.434
Méx.	Ixtlahuaca	San Pedro Los Baños	10.679
Méx.	Xalatlaco	Xalatlaco	12.276
Méx.	Lerma	Lerma de Villada	16.303
Méx.	Lerma	San Pedro Tultepec	11.496
Méx.	Lerma	Santa Maria Atarasquillo	12.180
Méx.	Metepec	Metepec	158.695
Méx.	Ocoyoacac	Ocoyoacac	22.145
Méx.	Otzolotepec	Villa Cuauhtemoc	16.445
Méx.	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	57.440
Méx.	Temascalcingo	Temascalcingo de José Ma. Velasco	11.598
Méx.	Tenango del Valle	Tenango de Arista	18.840
Méx.	Tianquistenco	Santiago Tianquistenco de Galeana	18.063
Méx.	Toluca	Toluca de Lerdo	435.125
Méx.	Toluca	San Andrés Cuexcontitlan	14.088
Méx.	Toluca	San Mateo Otzacatipan	16.912

Edo.	Municipio	Localidad	Población
Méx.	Toluca	San Pablo Autopan	27.329
Méx.	Toluca	San Pedro Totoltepec	16.872
Méx.	Toluca	Santiago Tlacotepec	12.906
Méx.	Xonacatlan	Xonacatlan	17.668
Méx.	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	42.603
Méx.	Zinacantepec	San Antonio Acahualco	12.550
Méx.	Zinacantepec	San Juan de las Huertas	10.718
Mich.	Cheran	Cheran	12.616
Mich.	Jacona	Jacona de Plancarte	48.197
Mich.	Jiquilpan	Jiquilpan de Juárez	25.778
Mich.	Maravatio	Maravatio de Ocampo	28.218
Mich.	Morelia	Morelia	549.996
Mich.	Morelia	Morelos	11.379
Mich.	Pátzcuaro	Pátzcuaro	47.993
Mich.	Piedad, La	Piedad de Cabadas, La	70.703
Mich.	Purepero	Purepero de Echaiz	13.900
Mich.	Puruandiro	Puruandiro	27.428
Mich.	Quiroga	Quiroga	13.163
Mich.	Sahuayo	Sahuayo de Morelos	57.827
Mich.	Tangancicuaro	Tangancicuaro de Arista	14.791
Mich.	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza	11.328
Mich.	Yurecuaro	Yurecuaro	20.297
Mich.	Zacapu	Zacapu	49.086
Mich.	Zamora	Zamora de Hidalgo	122.881
Mich.	Zinapecuaro	Zinapecuaro de Figueroa	14.547
Qro.	Corregidora	Pueblito, El	38.667
Qro.	Querétaro	Santiago de Querétaro	536.463
Qro.	Querétaro	Santa Rosa Jauregui	15.301

Fuente: XII Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2000

De esas 106 poblaciones, 55 son mayores de 20,000 habitantes (Tabla 4).

Tabla 4. Poblaciones mayores de 20,000 habitantes en la cuenca Lerma-Chapala

Edo.	Municipio	Localidad*	Población
Gto	Comonfort	Comonfort	21.187
Gto	Apaseo El Grande	Apaseo El Grande	21.506
Gto	Yuriria	Yuriria	22.145
Gto	Villagran	Villagran	22.949
Gto	Apaseo el Alto	Apaseo el Alto	24.300
Gto	Abasolo	Abasolo	24.532
Gto	San Felipe	San Felipe	24.935
Gto	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	25.274
Gto	Pénjamo	Pénjamo	32.035
Gto	Salvatierra	Salvatierra	34.066
Gto	Santa Cruz de Juventino Rosas	Juventino Rosas	35.775
Gto	Moroleón	Moroleón	40.512
Gto	San Luis de la Paz	San Luis de la Paz	42.588
Gto	Uriangato	Uriangato	45.691
Gto	Dolores Hidalgo	Dolores Hidalgo	50.391
Gto	Cortazar	Cortazar	53.886
Gto	Acámbaro	Acámbaro	55.516
Gto	Valle de Santiago	Valle de Santiago	58.837
Gto	Allende	San Miguel de Allende	59.691
Gto	Silao	Silao	61.661
Gto	San Francisco del Rincón	San Francisco del Rincón	65.183
Gto	Guanajuato	Guanajuato	74.874
Gto	Salamanca	Salamanca	137.000
Gto	Celaya	Celaya	277.750
Gto	Irapuato	Irapuato	319.148
Gto	León	León de los Aldama	1.020.818
Jal	San Miguel El Alto	San Miguel El Alto	21.098
Jal	Sayula	Sayula	24.051
Jal	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	26.235
Jal	Zapotlanejo	Zapotlanejo	27.608
Jal	Barca, La	Barca, La	32.134
Jal	Arandas	Arandas	39.478
Jal	Tepatitlan de Morelos	Tepatitlan de Morelos	74.262
Jal	Ocotlán	Ocotlán	75.942
Jal	Lagos de Moreno	Lagos de Moreno	79.592
Jal	Zapotlan El Grande	Ciudad Guzmán	85.118
Mex	Ocoyoacac	Ocoyoacac	22.145
Mex	Toluca	San Pablo Autopan	27.329

Edo.	Municipio	Localidad*	Población
Mex	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	42.603
Mex	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	57.440
Mex	Metepec	Metepec	158.695
Mex	Toluca	Toluca de Lerdo	435.125
Mich	Yurecuaro	Yurecuaro	20.297
Mich	Jiquilpan	Jiquilpan de Juárez	25.778
Mich	Puruandiro	Puruandiro	27.428
Mich	Maravatío	Maravatio de Ocampo	28.218
Mich	Pátzcuaro	Pátzcuaro	47.993
Mich	Jacona	Jacona de Plancarte	48.197
Mich	Zacapu	Zacapu	49.086
Mich	Sahuayo	Sahuayo de Morelos	57.827
Mich	Piedad, La	Piedad de Cabadas, La	70.703
Mich	Zamora	Zamora de Hidalgo	122.881
Mich	Morelia	Morelia	549.996
Qro	Corregidora	Pueblito, El	38.667
Qro	Querétaro	Santiago de Querétaro	536.463

Fuente: XII Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2000

* Ninguna localidad cuenta con Planta de tratamiento

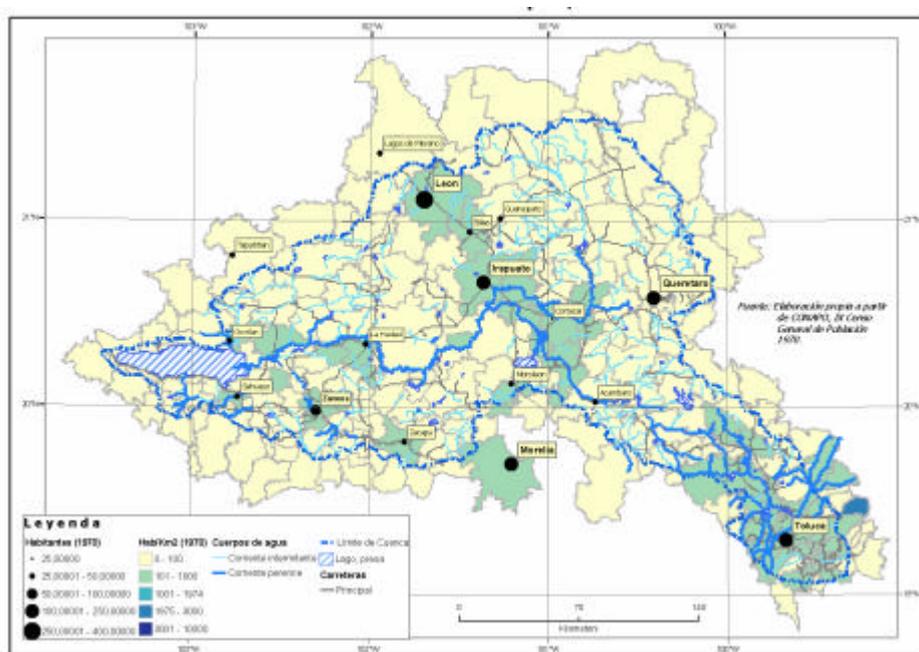


Figura 3. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 1970

Fuente: Le Page, 2005

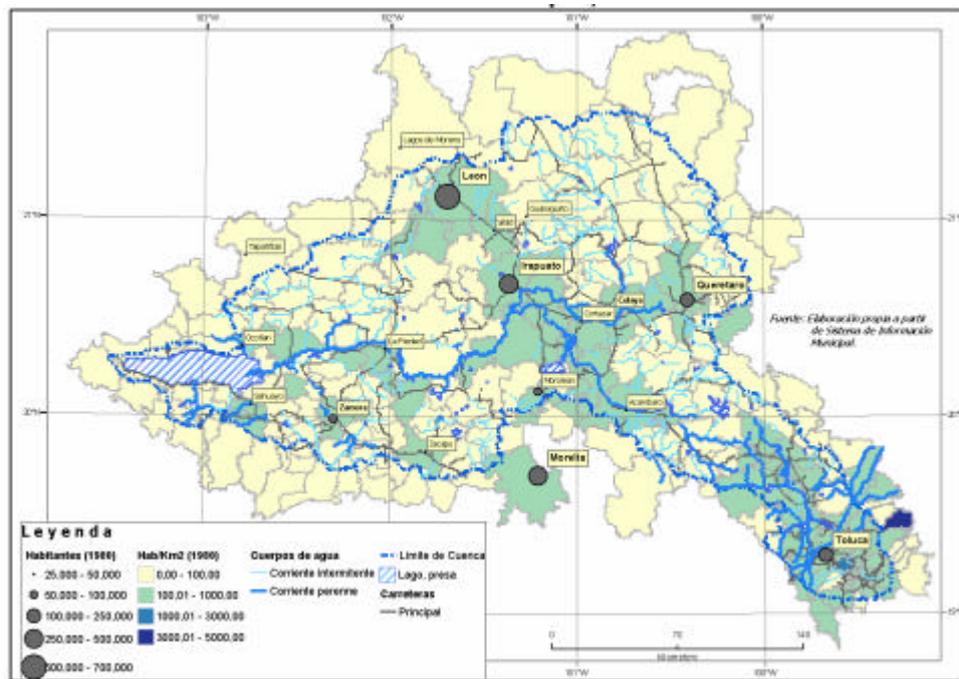


Figura 4. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 1980
Fuente: Le Page, 2005

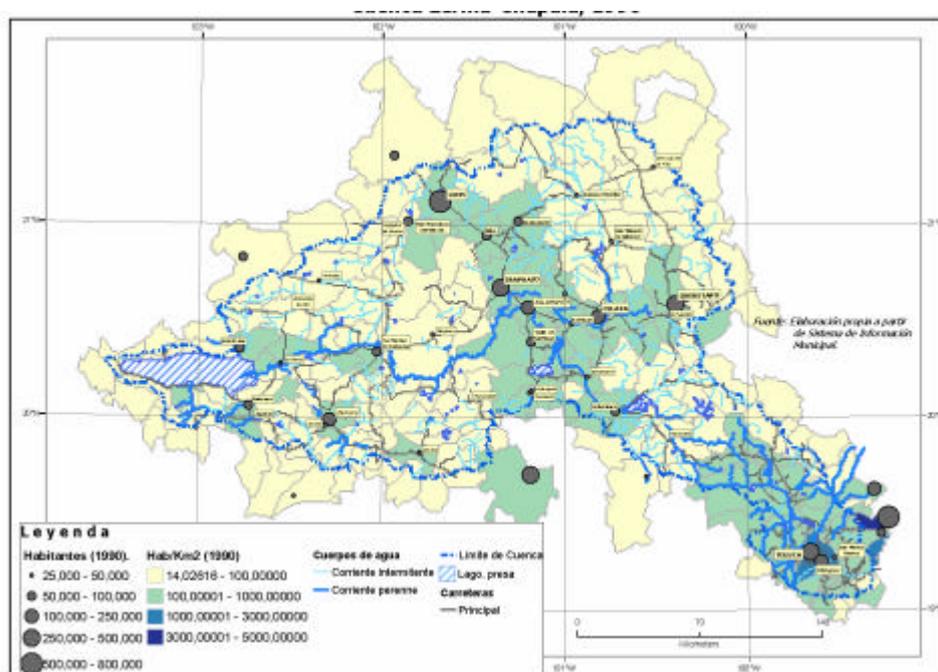


Figura 5. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 1990
Fuente: Le Page, 2005

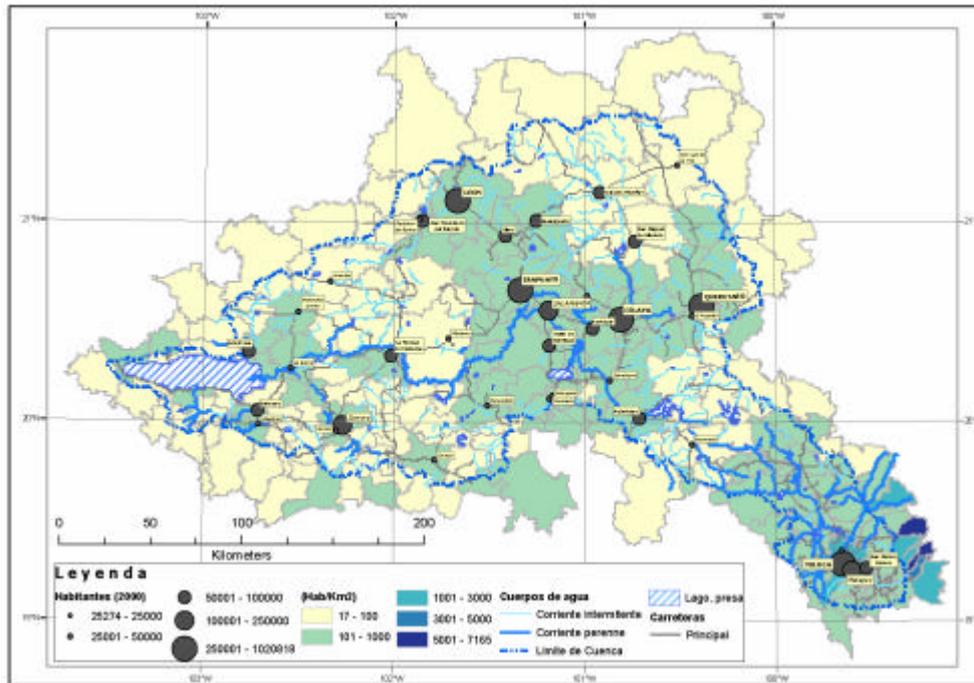


Figura 6. Distribución de la población Cuenca Lerma-Chapala, 2000
Fuente: Le Page, 2005

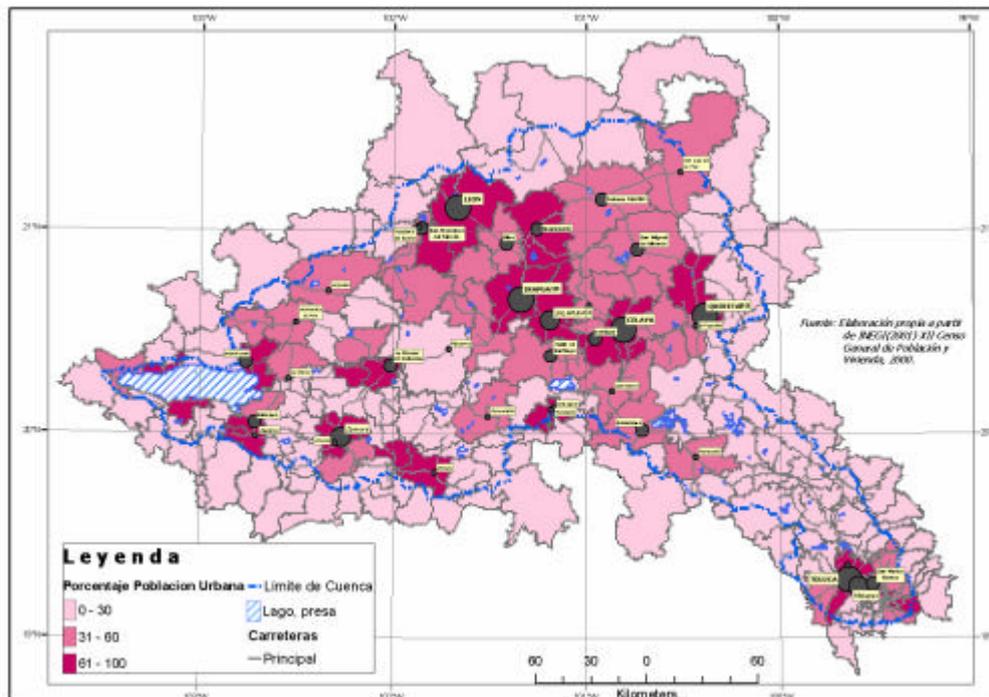


Figura 7. Proporción de población urbana Cuenca Lerma-Chapala, 2000
Fuente: Le Page, 2005

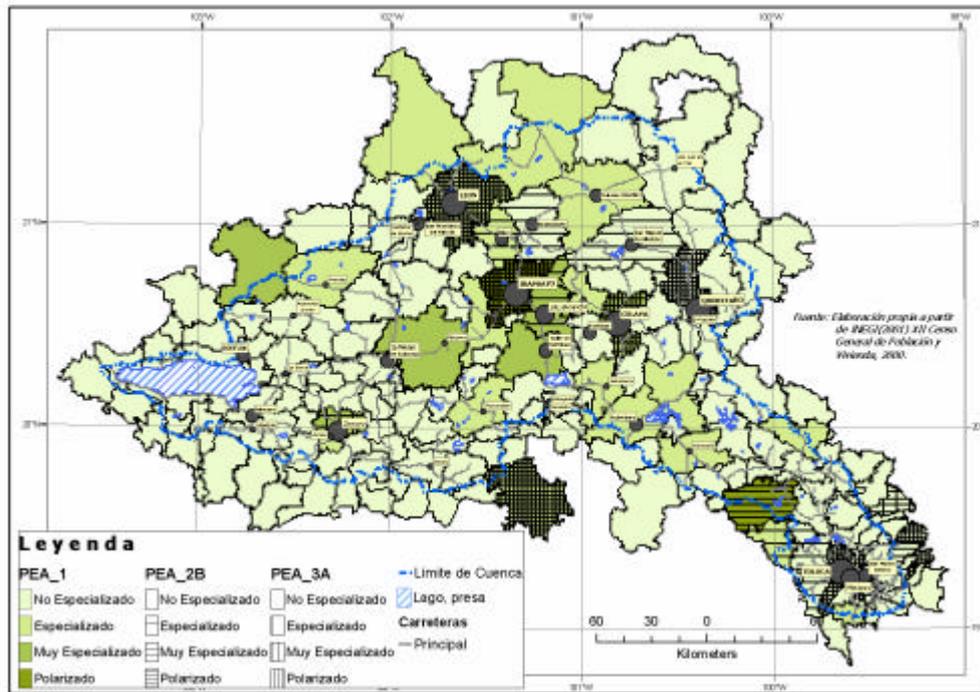


Figura 8. Proporción de población urbana Cuenca Lerma-Chapala en función de la población económicamente activa, 2000

Fuente: Le Page, 2005

1.3 Generación de aguas residuales

A medida que se reduce el grado de urbanización se incrementa la diferencia entre el servicio de agua potable y el de drenaje, de manera tal que en las grandes ciudades el porcentaje de cobertura del servicio de drenaje (97%) es mayor al del agua potable (95%), mientras que, en las ciudades medias urbanas el servicio de agua potable (92%) es ligeramente superior al de alcantarillado (85%) y en la zona rural esta diferencia entre agua potable (74%) y drenaje (54%) se incrementa notablemente.

Las descargas de aguas residuales en los centros de población se localizan por lo general en torno a los cuerpos de agua que existen o existían en la zona en la que se desarrollaron. Gran parte de las primeras descargas de la ciudad de Toluca, Méx., en el Alto Lerma, se encontraban en el río Verdiguél, el cual, posteriormente fue embovedado a su paso por la ciudad e incorporado a la red municipal del alcantarillado. Una situación semejante ocurrió con el río de Los Gómez (o río León) al cruzar la ciudad de León, Gto., en el Medio Lerma, mismo que fue cubierto con concreto e interceptando las descargas con colectores marginales.

Otra situación que se presenta con frecuencia en la región es que las descargas viertan sus aguas residuales a canales y drenes agrícolas, tal y como ocurre con las descargas de la ciudad de Zamora, Mich., en el Bajo Lerma, que además de contaminar las aguas del río Duero, también vierte sus aguas residuales a canales o drenes agrícolas del Distrito de Riego del Duero, mismos que actualmente están prácticamente incorporados a la red municipal de alcantarillado.

En la ciudad de Guadalajara, Jal., dentro del Alto Santiago, también se observa este proceso, en donde cauces como el río San Juan de Dios o embalses como el vaso Osorio, actualmente forman parte de la infraestructura de la red intermunicipal de drenaje de su área metropolitana.

Por lo general, esta situación irregular no es compatible con los requerimientos normativos de una descarga, en donde se establecen requisitos que permitan su aforo y medición de calidad del agua. No obstante, los avances que al respecto se tienen, sobre todo en aquellas poblaciones en las que se han construido y puesto en marcha colectores que integran las descargas y las conducen a un solo punto para su tratamiento, están propiciando un cambio que tiende a regularizar la situación de las descargas de aguas residuales municipales y facilitar su tratamiento y disposición final o reuso.

En la subregión Medio Lerma también se ejerce por parte de los grandes centros poblacionales una fuerte presión sobre la calidad del agua, con una concentración de 2'524,515 habitantes en 12 grandes ciudades, entre las cuales destaca la ciudad de León con 941,626 habitantes, que descargan 119,233 m³/día (1,380 l/s) al río León (también río Turbio) a través de 6 descargas.

De esta forma resulta que la ciudad de León estaría descargando anualmente al río León una carga contaminante equivalente a 19,915 toneladas de DBO y 44,971 toneladas de DQO.

Otra zona en la que los centros de población ejercen presión sobre la calidad del agua está localizada en el Alto Lerma y se ubica principalmente en el área conurbada de la ciudad de Toluca, Méx., en la que se asienta una población de 515,744 habitantes e incluye tanto a la ciudad de Toluca como a la de Metepec.

En este caso existen importantes diferencias respecto a lo que se ha mencionado en el Alto Santiago y el Medio Lerma, la más importante es que actualmente se cuenta con un sistema de tratamiento para las descargas urbanas de la ciudad de Toluca y que las descargas están más dispersas.

Tabla 5. Generación y recolección de aguas residuales municipales en la Región Lerma-Santiago

Tipo de poblaciones	Habitantes con agua potable	Dotación l/hab/d	Factor de descarga	Agua residual Mm ³	Factor del serv. drenaje	Descarga Mm ³
Rural	750,220	50	0.30	4.107	0.37	1.520
Media Urbana	965,720	220	0.70	54.283	0.98	53.197
Grandes Ciudades	1,097,505	320	0.70	89.732	1.00	89.639
Alto Lerma	2,813,445			148.123		144.356
Rural	1,127,910	50	0.30	6.175	0.40	2.469
Media Urbana	1,033,980	220	0.70	58.120	0.89	51.665
Grandes Ciudades	2,403,245	320	0.70	196.489	0.98	192.550
Medio Lerma	4,565,135			260.785		246.684
Rural	248,225	50	0.30	1.359	0.77	1.052
Media Urbana	597,490	220	0.70	33.585	0.96	32.172
Grandes Ciudades	251,790	320	0.70	20.586	1.00	20.586
Bajo Lerma	1,097,505			55.530		53.810
Rural	490,550	50	0.30	2.686	0.76	2.031
Media Urbana	707,410	220	0.70	39.764	1.00	39.764
Grandes Ciudades	4,002,010	320	0.70	327.204	1.00	327.204
Alto Santiago	5,199,970			369.654		368.999
Rural	176,305	50	0.30	0.965	0.52	0.505
Media Urbana	160,130	220	0.70	9.001	0.99	8.904
Grandes Ciudades	272,170	320	0.70	22.253	1.00	22.253
Bajo Santiago	608,605			32.219		31.661
Totales	2,793,210					
Rural	3,464,730					
Media Urbana	8,026,720					
Grandes Ciudades	14,284,66					
Total				866.310		845.511

De acuerdo con la Tabla 5, en la región Lerma-Santiago los centros de población generan 845.5 Mm³ de aguas residuales de tipo doméstico (sanitarias y jabonosas), de las cuales el 77% se origina en las grandes ciudades y el resto en las áreas semiurbanas y el medio rural. A este volumen de aguas residuales falta agregarle, en su caso, el que se origina por los servicios y la industria que se localizan dentro de las ciudades.

El principal destino de las aguas residuales son los ríos y arroyos que confluyen al río Lerma y el propio Lerma, juntos reciben el 85% del volumen total de la subregión (Tabla 6). Están incluidos los ríos Verdiguél y Ocoyoacac y el arroyo Mezapa, del Estado de México.

Se tienen identificadas en menor cantidad descargas a canales y drenes agrícolas (representan casi 7% del volumen) dentro de los que se encuentran el canal Totoltepec en el corredor industrial Toluca-Lerma y la infraestructura de la zona agrícola Ixtlahuaca-Atlacomulco-Tenancingo.

En resumen, en el Alto Lerma los principales receptores de las aguas residuales son las corrientes superficiales, gran parte de las cuales llegan finalmente al río Lerma.

Tabla 6. Cuerpos receptores en el Alto Lerma

Cuerpo receptor	Gto. (m ³ /d)	Mich. (m ³ /d)	Mex. (m ³ /d)	Total (m ³ /d)	%
Fosa séptica o laguna de oxidación			8	8	0.01
Red municipal			523	523	0.41
Colector industrial			6,934	6,934	5.50
Río Lerma			44,833	44,833	35.54
Canal o dren agrícola		1,992	6,691	8,682	6.88
Lago, presa o bordo		518	372	890	0.70
Río, arroyo, etc. afluentes	2	37,218	25,293	62,514	49.55
Infiltración superficial (riego)	2	56	1,520	1,578	1.25
Pozo o campo de absorción	0	21	182	203	0.16
Total - Alto Lerma	4	39,806	86,355	126,164	100.00

Fuente: CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Base de datos SACDAR

El principal cuerpo receptor en el Medio Lerma son las corrientes superficiales (reciben el 74% del volumen), fundamentalmente el río Lerma. Se mantiene en proporción la cantidad de agua residual que es recolectada por canales y drenes agrícolas (6%). Cabe destacar el caso del Arroyo Feo que se encuentra en Salamanca, Gto., el cual forma parte de la infraestructura agrícola de la zona de riego de la presa Solís y que recibe una gran cantidad de descargas industriales del corredor Celaya-Salamanca, incluyendo las de CFE. En este caso, las descargas fueron contabilizadas en la categoría de ríos y arroyos afluentes del Lerma.

En el Medio Lerma se observa un incremento respecto al Alto Lerma en la infiltración superficial, con un volumen equivalente al 18% del total contabilizado en la subregión (Tabla 7). La razón de este incremento está en el riego agrícola y de áreas verdes de los estados de Querétaro y Guanajuato.

Tabla 7. Cuerpos receptores en el Medio Lerma

Cuerpo receptor	Gto. (m ³ /d)	Jal. (m ³ /d)	Mich. (m ³ /d)	Qro. (m ³ /d)	Total (m ³ /d)	%
Colector industrial	2			44	45	0.05
Río Lerma	36,045		27		36,071	38.30
Río, arroyo, etc. afluente	16,112		17,555	28	33,695	35.78
Lago, presa o bordo	705				705	0.75
Canal o dren agrícola	4,878		479	326	5,684	6.03
Infiltración superficial (riego)	6,126	142	310	10,150	16,727	17.76
Pozo o campo de absorción	392			1	392	0.41
Fosa séptica o laguna de oxidación	803	3		10	816	0.87
No se especifica		48			48	0.05
Total - Medio Lerma	65,062	193	18,371	10,559	94,183	100.0

Fuente: CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Base de datos SACDAR

En la región del Bajo Lerma, los canales y drenes agrícolas del estado de Jalisco son los principales recolectores de aguas residuales de la subregión (Tabla 8), donde también está la infraestructura agrícola de la zona de riego del río Duero y la Ciénega de Chapala. En estos sistemas se recolecta en total casi el 81% del volumen total de la subregión.

Tabla 8. Cuerpos receptores en el Bajo Lerma

Cuerpo receptor	Jal. (m ³ /d)	Mich. (m ³ /d)	Total (m ³ /d)	%
Río Lerma		0	0	0.00
Lago de Chapala	514		514	2.60
Río, arroyo, etc. afluentes	2,280	778	3,058	15.49
Lago, presa o bordo	106		106	0.54
Canal o dren agrícola	14,485	1,451	15,936	80.75
Infiltración superficial (riego)	85	19	104	0.53
Pozo o campo de absorción	4		4	0.02
No se especifica	13		13	0.07
Total – Bajo Lerma	17,487	2,248	19,735	100.00

Fuente: CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Base de datos SACDAR

1.4 Infraestructura de saneamiento existente

De acuerdo con el Inventario de Plantas de Tratamiento de aguas residuales municipales (Tabla 9), existen 31 plantas de tratamiento en la cuenca Lerma-Chapala, con un gasto de diseño global de 8,124 l/s. El estado que cuenta con la mayor cobertura de tratamiento es Querétaro, mientras que el que presenta el déficit más importante es el estado de Michoacán.

Tabla 9. Infraestructura de saneamiento en la cuenca Lerma-Chapala

EDO	Municipio	Localidad	Q _{diseño} (l/s)	Proceso
GTO	San Miguel de Allende	San Miguel de Allende	4	1 Lodos activados
GTO	Guanajuato	Guanajuato	140	1 Zanja oxidación
GTO	Salamanca	Salamanca	170	1 Lodos activados
GTO	Celaya	Celaya	20	1 Lodos activados
GTO	Irapuato	Irapuato	715	4 (2 Lodos activados, 1 Laguna de estabilización, 1 Tanque séptico)
GTO	León	León de los Aldama	2,515	2 (Lodos activados -Primario)
JAL	San Miguel El Alto	San Miguel El Alto	60	1 Filtro biológico
JAL	Barca, La	Barca, La	80	1 Lodos activados
JAL	Arandas	Arandas	150	1 Lodos activados
JAL	Tepatitlán de Morelos	Tepatitlán de Morelos	200	1 Filtro biológico
JAL	Ocotlán	Ocotlán	130	1 Zanja oxidación
MEX	Metepec	Metepec	3	1 Reactor anaerobio
MEX	Toluca	Toluca de Lerdo	2,251	3 (Lodos activados, Laguna de estabilización, Dual)
MICH	Jiquilpan	Jiquilpan de Juárez	40	1 Laguna de estabilización
MICH	Patzcuaro	Pátzcuaro	120	2 (Zanjas oxidación)
MICH	Zacapu	Zacapu	120	1 Laguna de estabilización
MICH	Sahuayo	Sahuayo de Morelos	180	1 Laguna de estabilización
MICH	Piedad, La	Piedad de Cabadas, La	200	1 Laguna de estabilización
MICH	Zamora	Zamora de Hidalgo	330	1 Laguna de estabilización
QRO	Querétaro	Santiago de Querétaro	696	5 (Primario, Lodos activados, Zanja oxidación, Filtro biológico)

Fuente: Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento, CNA, 2004

1.5 Saneamiento básico

Cerca de la cuarta parte de la población de la región vive en zonas rurales en donde, debido a diferentes causas como la falta de recursos y la dispersión de las viviendas, el servicio de drenaje es muy escaso o prácticamente nulo. Por otra parte, aún cuando el servicio de agua potable también es muy bajo, por lo general los habitantes de estas zonas encuentran la manera de hacerse llegar el recurso, la mayoría de las veces en poca cantidad y después de sortear muchas dificultades. Asimismo, es característico de estas zonas la defecación al aire libre junto a las viviendas o dentro de ellas, con lo que se provoca la contaminación de los alimentos y el agua para beber.

Esta situación provoca condiciones insalubres dentro de las mismas comunidades y tiene repercusiones en la salud de sus habitantes al quedar expuestos a los agentes que provocan enfermedades, como el cólera y otras de tipo gastrointestinal, principalmente.

La introducción del drenaje y la instalación de sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales no siempre es la mejor alternativa para solucionar su problemática de saneamiento, ya que los costos podrían resultar muy altos, sobre todo por la dispersión de las viviendas.

Para estos casos existen sistemas de saneamiento alternativos que comúnmente se han denominado con el término genérico de “saneamiento básico o autónomo” y cuyo principio fundamental es el tratamiento *in situ*.

1.6 Descarga de las aguas residuales industriales

Las descargas de las aguas residuales industriales de la región Lerma-Santiago tienen como destino distintos receptores, los cuales se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Red municipal de drenaje. - Una parte importante de las aguas residuales no domésticas son descargadas en las redes de drenaje municipales, las cuales son administradas por las autoridades u organismos municipales o estatales y no siempre se cuenta con un inventario o bien, son datos poco accesibles. Debido a esto para el presente estudio se contó con poca información al respecto. Sin embargo, se debe señalar que estas descargas finalmente son vertidas a cuerpos de propiedad nacional a través de las descargas municipales.
- Colectores industriales. - Se encuentran principalmente en los corredores industriales. Son privados o son administrados por los municipios. También se contó con poca información de la cantidad de aguas residuales que son captadas en estos sistemas.
- Fosas sépticas o lagunas de oxidación. - Son sistemas de saneamiento básico. Sin embargo, pocas veces fueron diseñados para funcionar como tales. Frecuentemente implican la contaminación de las aguas freáticas.

- Infiltración superficial.- Gran parte de las aguas residuales son utilizadas en el riego agrícola o de áreas verdes. Esta práctica implica la infiltración de las aguas residuales a los mantos acuíferos.
- Pozos y campos de absorción.- Son sistemas directamente conectados con los mantos acuíferos. Implican un alto riesgo de contaminación, ya que a diferencia de la infiltración superficial no cuentan con la acción autodepuradora de las capas de suelo.
- Canales o drenes agrícolas.- Gran parte de las zonas industriales de la región se desarrollaron en terrenos agrícolas, por lo que colindan con áreas agrícolas y aprovechan su infraestructura para el desalojo de sus descargas.
- Ríos de segundo y tercer orden o arroyos.- Corrientes superficiales en general que son afluentes de alguno de los colectores principales (río Lerma o Santiago) o del Lago de Chapala. Por su mayor recorrido y desnivel respecto al colector principal cuentan con una mayor oportunidad de autodepuración.
- Lagos, lagunas, presas o bordos.- Por lo general implican una mayor dilución y la acción de otros procesos como la oxidación bacteriológica, que en los ríos o arroyos no son significativos. La falta de circulación y las grandes profundidades implican procesos de descomposición anaeróbica.
- Colectores principales.- Son el río Lerma y el río Santiago. También se incluye en esta categoría el Lago de Chapala, por la importancia que reviste y por ser una de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guadalajara.

1.6.1 Influencia de las descargas de aguas residuales industriales

Para estimar el grado de influencia de las descargas industriales en la región se utilizó información del Sistema Información Nacional (SIN) de la Comisión Nacional del Agua.

Alto Lerma.- Se reportan 2,594 conexiones industriales al alcantarillado, lo que representa cerca del 1% del total de conexiones, incluyendo las domiciliarias y comerciales. Las ciudades de Toluca y Lerma en el Estado de México y de Morelia en el Estado de Michoacán, son las zonas urbanas en las que se reporta la mayor parte de estas descargas. Los principales giros industriales que hay presentes en estas zonas corresponden a la industria química, textil, farmacoquímica y alimenticia, entre otras. El componente industrial en la ciudad de Toluca no es significativo, ya que la zona industrial Toluca-Lerma tiene su propio sistema de recolección que lleva las descargas a la planta de tratamiento denominada RECICLAGUA (antes EPCCA). Sin embargo, en la zona industrial de Santiago Tlanquistenco-Capulhuac-San Mateo Atenco, las descargas industriales y urbanas se descargan mezcladas al río Lerma.

Medio Lerma.- Hay registradas 3,754 conexiones industriales al alcantarillado, que representan casi el 0.6% del total de conexiones. El mayor número de conexiones industriales al alcantarillado se encuentran en las ciudades que pertenecen al corredor urbano industrial que se inicia en Querétaro, Qro. y termina en la ciudad de la Piedad, Mich., incluyendo a ciudades como León, Celaya, Salamanca e Irapuato, dentro del Estado de Guanajuato.

En este caso los giros industriales presentes abarcan casi la totalidad de las ramas industriales, incluyendo la industria metal mecánica, química, petroquímica, alimenticia, papelería y tenería, etc.

Bajo Lerma.- Se reportan 367 conexiones industriales al alcantarillado, que representan casi el 0.3% del total. Las ciudades con mayor influencia industrial en sus aguas residuales son Ciudad Guzmán, Arandas y Atotonilco en el Estado de Jalisco y Purépero en Michoacán. En este caso el giro industrial corresponde principalmente al de alimentos.

1.7 Contaminación del agua

La falta de una infraestructura adecuada y suficiente de saneamiento ha ocasionado niveles de contaminación de todo tipo y origen: público-urbano, industrial, agrícola y pecuario, tanto en las corrientes como en los cuerpos de agua, los que presentan niveles tan elevados de contaminación que hacen que la Región se ubique entre las más contaminadas del país.

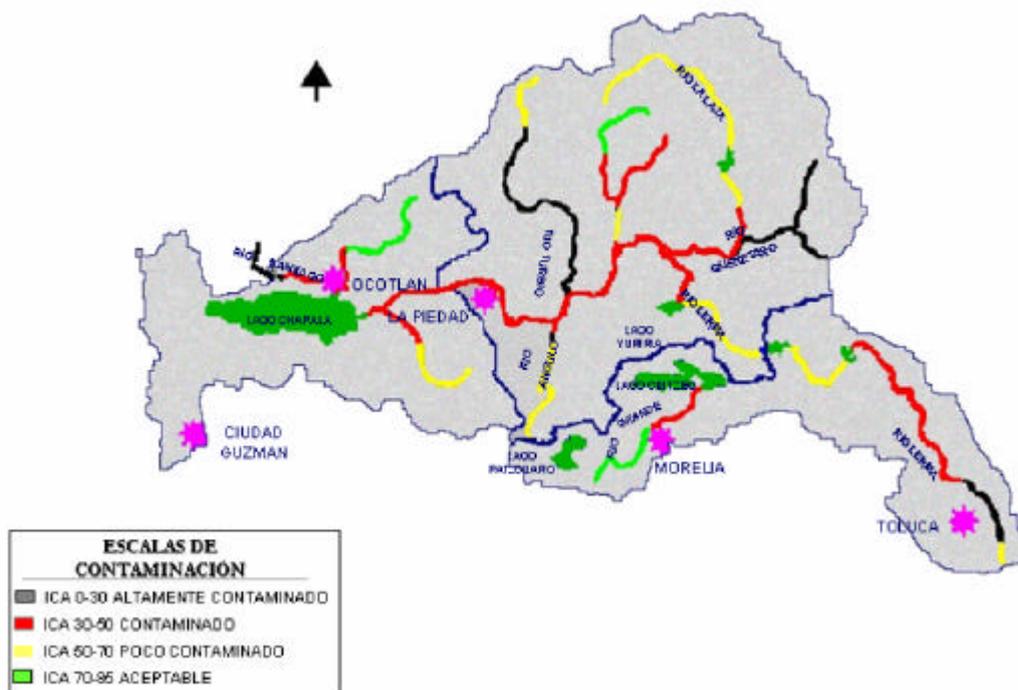


Figura 9. Degradación de la calidad del agua

De acuerdo al Índice de Calidad del Agua (ICA), la subregión Lerma se califica como muy contaminada (Figura 9). A lo largo del cauce principal se establecen variantes de acuerdo al uso para el que se destine el agua. Del tramo de Almoloya–Solís al de Abasolo-La Piedad se considera contaminada para uso agrícola (ICA: 30-50), y de Yurécuaro al Lago de Chapala levemente contaminada para riego y contaminada para abastecer de agua a la población (ICA: 50-70).

La causa principal de la contaminación es la insuficiente aplicación de la normatividad, así como la falta de supervisión de las descargas para vigilar que se cumpla con las especificaciones establecidas, además del insuficiente tratamiento de los efluentes residuales tanto industriales como de los demás sectores, así como la carencia de mecanismos necesarios para asegurar la eficiente operación de la infraestructura contemplada en el Programa de Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chapala.

Algunos de los problemas que originan la baja eficiencia del servicio de agua potable en esta Subregión son que no se autoriza el corte del servicio por falta de pago, lo que propicia un dispendio del agua al no tener la necesidad y obligación de pagar por el servicio; la mala operación o falta de mantenimiento propicia las fugas en las redes de conducción y distribución que en esta Subregión fluctúan entre un 15 y un 45%. Las tarifas en la mayoría de los casos no son suficientes para pagar los gastos de operación, mantenimiento, reemplazo y ampliación del servicio, por lo que las redes no reciben un mantenimiento adecuado.

En algunos casos se tienen eficiencias comerciales del 25%, situación que reduce la capacidad de autosuficiencia de los organismos operadores en los sistemas de abastecimiento de agua potable que deberían establecer programas de mantenimiento preventivo, atención oportuna a la detección y reparación de fugas y en su momento, a la ampliación del servicio dado que las acciones de medición, facturación y cobranza son deficientes.

La cuenca Lerma-Chapala está altamente industrializada y sus giros son muy diversos. Las industrias se asientan en las principales ciudades y primordialmente descargan sus aguas a los sistemas municipales. Actualmente, de acuerdo con el Programa hidráulico de gran visión 2001-2025 de la Región Lerma-Chapala-Santiago de la CNA, existen 6,715 conexiones industriales al alcantarillado con una descarga de 2,548 l/s. La mayoría se vierten directamente al Río Lerma (33.7%) y a ríos y arroyos afluentes (41.4%); mientras que el resto (12.6%) va a dar a canales o drenes agrícolas. El Alto y Medio Lerma, al ser los espacios más industrializados y urbanizados, son los responsables del 90% de dichas descargas.

1.8 Programas regionales de saneamiento

En conformidad y derivado del “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 (13 de abril, 1989)” está en marcha un programa de saneamiento en las partes Alta y Media de la Región.

El programa está dividido en tres etapas o fases. Actualmente dos de ellas ya fueron asumidas como compromisos por el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala.

En la primera etapa se programó la instalación y operación de 48 plantas de tratamiento con una capacidad de 3,830 l/s, que incluían una planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de 160 l/s y una planta de tratamiento de Petróleos Mexicanos (PEMEX) para 255 l/s de aguas residuales municipales de Salamanca, Gto., a fin de reusarlas dentro de sus procesos.

Con la segunda etapa se plantea la construcción y operación de 52 plantas de tratamiento y cinco ampliaciones de las ya existentes, derivadas de la primera etapa, con una capacidad total de 10,670 l/s.

Finalmente, en una tercera fase el programa considera dar cobertura a todas las poblaciones de más de 10,000 habitantes del Alto, Medio y Bajo Lerma con 50 plantas adicionales (capacidad de 1,833 l/s).

Cabe mencionar que en la cuenca existen pequeñas plantas de tratamiento, no mayores a los 10 l/s, que de alguna manera, tratan las aguas residuales generadas por pequeñas comunidades o por unidades habitacionales.

A manera de ejemplo, en la ribera del lago de Chapala existen 17 plantas de tratamiento y casi todas las cabeceras municipales cuentan con una cobertura de drenaje del 90%. Estas poblaciones son menores de 20,000 habitantes, pero dado el interés turístico se han hecho esfuerzos para dotarlas de infraestructura de saneamiento.

Sin embargo, en el municipio de Cojumatlán, también ribereño al Lago de Chapala, no se cuenta con planta de tratamiento y ahí se localiza una comunidad de pescadores, los cuales procesan diariamente 700 kg pescado/d y los desechos son directamente vertidos en el lago.

Un problema generalizado en la infraestructura de tratamiento de aguas residuales en la cuenca es la falta de recursos en las pequeñas localidades que garanticen la operación y el mantenimiento adecuado de las mismas.

PROMEDIO CUENCA: AGUA POTABLE 93%, ALCANTARILLADO 79.6%

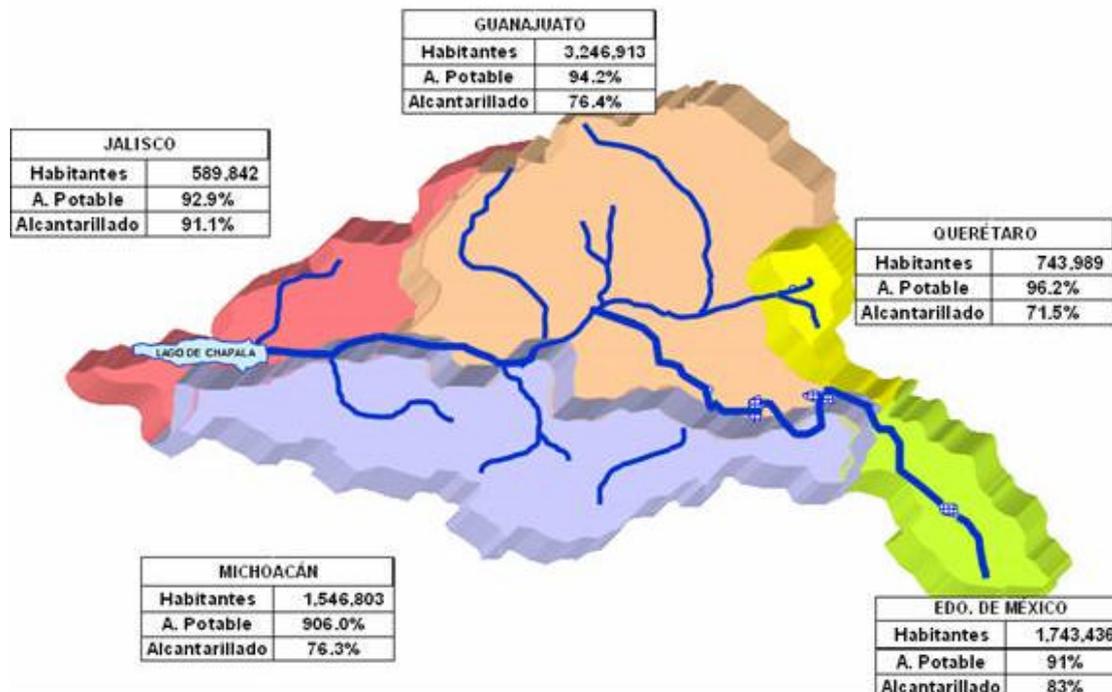


Figura 10. Cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado en los cinco estados que conforman la cuenca

Fuente: CNA, 2005

El Plan de Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chapala elaborado por la Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico de la Comisión Nacional del Agua (junio, 2005), indica que la cobertura de servicios promedio en la cuenca es del 93% para agua potable y del 79.6% para alcantarillado (Figura 10).

Guanajuato

De acuerdo con la Comisión Estatal de Agua del estado de Guanajuato (CEAG) se considera que actualmente se trata el 62% del agua residual generada en la entidad y, conforme al Plan de Desarrollo Estatal, la meta a 2006 es sanear el 98% de las aguas residuales que se generan en las zonas urbanas. Se inauguró la planta de tratamiento de Abasolo (julio, 2005), con una capacidad de 70 l/s y una vida útil de 20 años. La planta de tratamiento de Acámbaro fue inaugurada en marzo de 2005. En el municipio de Silao se ha llevado al cabo la construcción de la red de drenaje sanitario en la zona de servicios (inversión: \$3'115,000) y de la planta de tratamiento (inversión: \$24'051,754).

En este rubro, está en proceso de licitación el cárcamo de bombeo de aguas residuales y la línea a presión de la planta de tratamiento.

De acuerdo con el inventario nacional de Plantas de tratamiento de aguas residuales (CNA, 2004) el gasto de diseño es de 3,963 l/s. En el periodo 2004-2005 se construyeron nueve plantas en el estado, lo cual representa un incremento de 675 l/s. Se considera que en el periodo 2006-2007 se construirán 13 nuevas plantas de tratamiento, con un gasto de diseño suplementario de 2510 l/s. De acuerdo con las proyecciones de saneamiento estatales, a finales de 2007 se contará con el 90% de la infraestructura de tratamiento necesaria en el estado. Todas las ciudades mayores de 50,000 habitantes en el estado contarán con una planta de tratamiento. De las poblaciones mayores a 20,000 habitantes, Purísima del Rincón, Comonfort, Villagrán, Salvatierra y Allende no contarán con infraestructura de saneamiento.

Querétaro

En números globales anuales, el volumen producido para la Zona Metropolitana (ZM) de la Ciudad de Querétaro asciende a 65.6 Mm³, mientras que 37.5 Mm³ son para el interior del estado (Plan de Desarrollo Estatal 2004-2009).

La demanda de servicios de agua potable para la ZM, considerando los diferentes tipos de usos se da en la siguiente proporción: 94% corresponde a uso doméstico, 4.5% a comercio, 0.22% a industria, y el resto (1.28%) a la demanda de los otros tipos de uso.

Actualmente, la Comisión Estatal de Aguas proporciona el servicio a 16 de los 18 municipios del estado, atendiendo 275,245 tomas que corresponden al 86.18% de 1'577,474 habitantes que integran la población total proyectada del estado a diciembre de 2003, según los datos que reporta el INEGI; esto da una cobertura promedio a nivel estatal del 95.3% en agua potable y del 84.5% en alcantarillado sanitario, todo ello mediante los servicios centrales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Querétaro y 11 Administraciones en el interior del estado. En esta misma zona se atienden 167,069 tomas y en el resto de la entidad 108,176.

Respecto de la calidad del servicio, el punto más destacable es que la oferta del recurso Agua se ha visto rebasada por la demanda de servicios, lo que genera problemas de tandeo y averías en los sistemas, ocasionando desabasto en algunas colonias de la ciudad de Querétaro, y a la vez requerimientos adicionales de agua, que varían de 7.28 a 20.85 Mm³ al año, de acuerdo con las condiciones de ahorro y de distribución.

En la infraestructura para el servicio de agua potable de la ZM de la Ciudad de Querétaro, se cuenta con 70 pozos en operación, 107 tanques de almacenamiento y de distribución, una red primaria de 116 km y 1,426.5 km de red secundaria.

En el interior del estado se cuenta con 167 pozos en operación, 505 tanques de almacenamiento y de distribución, 725.4 km de red primaria y 1,532 km de redes secundarias.

La infraestructura existente para redes del alcantarillado sanitario comprende más de 900 km y 1,072 km para la ZM e interior del estado. Los sistemas adoptados corresponden a drenaje separado. Sin embargo, existen conexiones tanto de coladeras y torrenteras, como de drenajes de azoteas, que obligan a trabajar bajo un sistema mixto, con la consecuente falta de capacidad conductiva. Respecto al interior del estado, las redes de alcantarillado se ubican hacia las cabeceras municipales y localidades con poblaciones mayores a 2,500 habitantes, provocando que la cobertura sea reducida en un gran número de poblaciones rurales, por lo que se utilizan fosas sépticas y letrinas secas; esto hace que se reduzcan las descargas a los cauces naturales y cuerpos receptores.

La infraestructura de saneamiento existente para el tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales es de 281 plantas; 226 de ellas corresponden al sector privado y tratan 20 Mm³, y las otras 55 pertenecen al sector público, tratando 19 Mm³/año. En la ZM de la Ciudad de Querétaro operan 6 plantas de tratamiento de aguas residuales, con una cobertura del 36% de los 1,500 l/s que produce la ciudad; estas plantas emplean tratamientos biológicos o secundarios para 540 l/s.

2. COSTOS ÍNDICE

2.1 Aspectos generales

Se entiende por costo índice al monto promedio requerido para invertir en la construcción u operación de una planta, tomando en cuenta su capacidad y su proceso de tratamiento. Se estima como un costo promedio de varias plantas o sistemas de tratamiento semejantes. Por lo cual pueden servir como referencia para preparar estudios financieros de gran visión, relacionados con la inversión en la construcción de una planta de tratamiento o para preparar presupuestos de operación y mantenimiento, entre otras aplicaciones.

En el 2002, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), llevó a cabo el proyecto denominado “*Determinación de costos índice de sistemas de tratamiento de aguas residuales*” para la Comisión Nacional del Agua, cuyo objetivo fue determinar los costos índice relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas residuales más utilizados en México, para coadyuvar en la estimación preliminar de los montos de inversión y los principales de operación y mantenimiento, con la finalidad de aplicarlos tanto en la planeación de inversiones como para estimar los presupuestos de nuevas plantas de tratamiento.

Para expresar los montos en pesos a septiembre de 2002, se aplicó el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), publicado por el Banco de México. Para estimar la inversión en función de la capacidad de diseño de la planta de aguas residuales se aplicaron cuatro modelos de ajuste de curva a cada grupo de datos: lineal, exponencial, logarítmica y potencial y se seleccionó aquella con mejor correlación, generalmente mayor de 0.9 (Tabla 10).

Tabla 10. Ecuaciones para estimación de costos índice de inversión

Tratamiento	Ecuación de la curva
Lodos activados	$Inv = 1032.4 Q^{0.7633}$
Filtro biológico	$Inv = 319.6 Q^{0.964}$
Lagunas de estabilización	$Inv = 740 Q^{0.6928}$
Humedales	$Inv = -1722.7 + 3453.2 \ln Q$

Fuente: IMTA-CNA, 2002

Los valores generados por las ecuaciones propuestas de costo índice son producto de experiencias nacionales y se estimaron en función de un flujo promedio de agua residual municipal. Por lo mismo, son indicativos de un monto y pueden variar fuertemente dependiendo de lo adverso o favorable de las condiciones para construir y operar la planta.

Tienen como propósito obtener una estimación preliminar del costo sin necesidad de efectuar algún diseño o bien, cuando se carece de toda información. Estos resultados se pueden ver afectados por ciertas características propias del lugar en que se ubica la construcción, como la lejanía a la que se encuentren los servicios del lugar de construcción, la topografía, el tipo de suelo y la zona económica. Según los cálculos, cuando estos factores influyen adversamente pueden duplicar el costo de construcción. Por tal razón se recomienda la profundización de los estudios para considerar los parámetros de mayor peso que puedan afectar un resultado congruente con la realidad.

3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO

La descarga en cuerpos receptores está reglamentada por la Ley Federal de Derechos con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. En México, para cumplir con esta norma se utilizan diversos procesos o sistemas de tratamiento, entre los cuales están los lodos activados modalidad convencional, filtro biológico, sistemas lagunares y humedales. A continuación se describen de manera simplificada.

3.1 Lodos activados convencional

Es un sistema de tratamiento donde la clave es mantener en suspensión una gran cantidad de microorganismos junto con el agua residual influente. Mediante esta mezcla (licor mezclado) con la adición de oxígeno molecular, se realizan todas las reacciones de metabolización. La materia orgánica presente en el agua residual sirve como fuente de carbono y energía para el crecimiento de los microorganismos, convirtiéndose estos en materia celular (más microorganismos) y productos finales (CO_2 y H_2O).

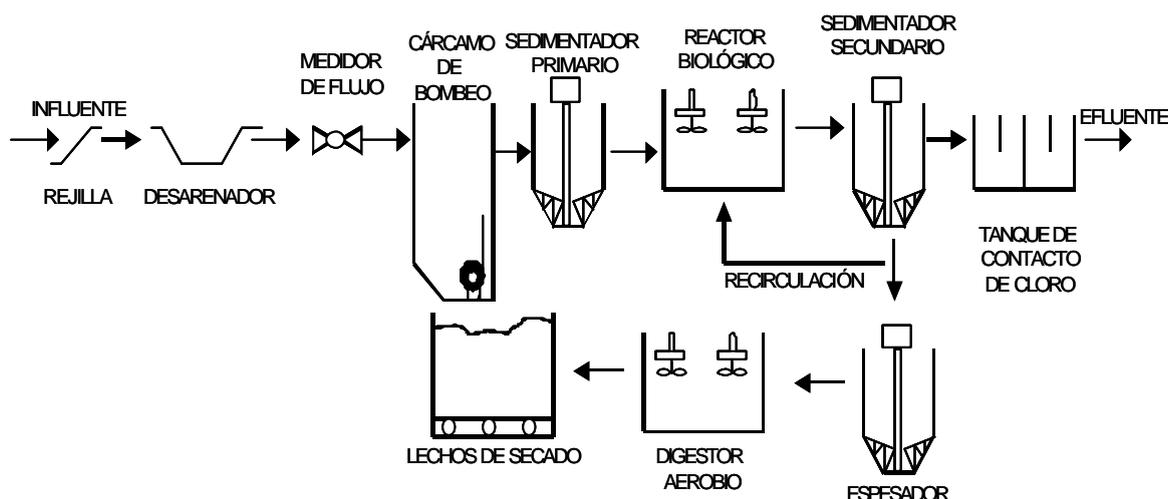


Figura 11. Proceso de lodos activados convencional
Fuente: IMTA-CNA, 2002

El tren de tratamiento de esta alternativa lo conforman las siguientes unidades (Figura 11):

- Tratamiento preliminar (rejillas, desarenador y cárcamo de bombeo)
- Sedimentación primaria
- Reactor biológico (tanque de aireación)
- Sedimentación secundaria
- Tanque de contacto de cloro
- Espesamiento de lodos
- Digestión de lodos
- Secado y disposición de lodos

3.2 Filtro percolador

El filtro percolador o filtro biológico es una torre empacada con un medio de soporte, en el cual se desarrolla una capa de microorganismos que en contacto continuo con el agua residual y el aire, adsorben el oxígeno necesario para metabolizar la materia de origen carbonacea difundida a través del reactor. En la torre se utiliza un medio de soporte de material plástico de PVC, aunque también se puede utilizar piedra ó grava de determinada granulometría o polipropileno, con densidades de área útil de contacto entre 100 y 150 m²/m³ de relleno.

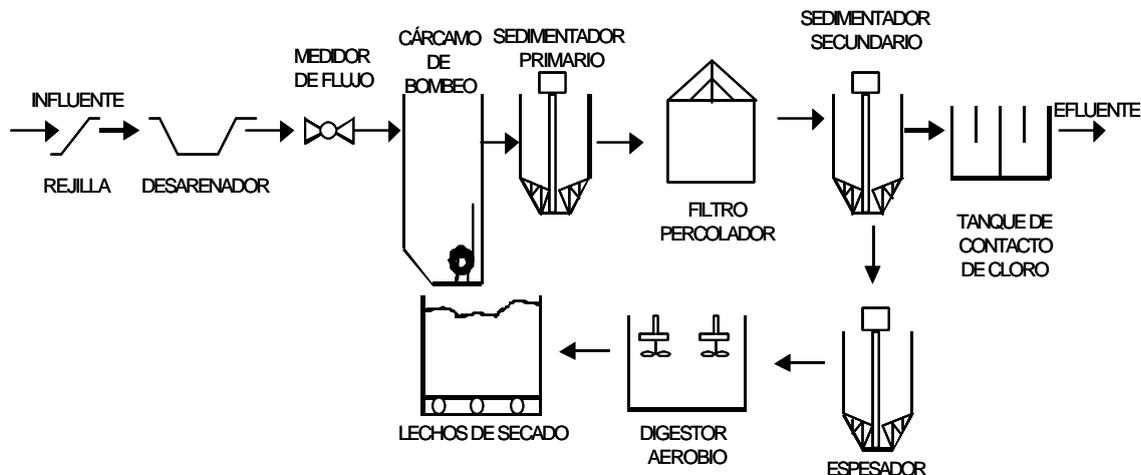


Figura 12. Proceso para un sistema de filtro percolador
Fuente: IMTA-CNA, 2002

El tren de tratamiento de esta alternativa lo conforman las siguientes unidades (Figura 12):

- Tratamiento preliminar
- Sedimentador primario
- Filtro Percolador
- Sedimentador secundario
- Tanque de contacto de cloro
- Espesador
- Digestor
- Secado y disposición de lodos

3.3 Sistema lagunar

Las lagunas son estanques en donde se estabiliza la materia orgánica presente en el agua residual. Son cuerpos de agua artificiales creados y diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante la acción de una masa biológica en suspensión constituida por algas, bacterias, protozoarios y con la intervención de otros factores naturales como la aeración, la sedimentación, la desorción, la absorción, las transformaciones químicas, la dinámica del flujo y otros factores de tipo ambiental.

Dependiendo del tipo de digestión, las lagunas se clasifican en:

- **Anaerobias:** Ausencia de O_2 en todo el estanque. Proceso de biodegradación a base de microorganismos anaerobios.
- **Facultativas:** Presencia de O_2 en la superficie de la masa líquida, ausencia de O_2 en el fondo. Proceso de biodegradación con microorganismos aerobios, facultativos y anaerobios.
- **Aerobias:** Presencia de O_2 en toda la masa líquida. Proceso de biodegradación con microorganismos aerobios.

El tren de tratamiento de esta alternativa se presenta en la Figura 13.

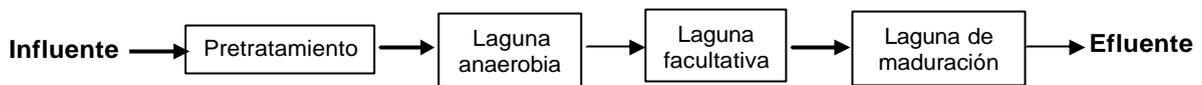


Figura 13. Arreglo típico de tratamiento de un sistema lagunar
Fuente: IMTA-CNA, 2002

3.4 Humedales

Son estanques en los que se aprovecha la asociación que existe entre plantas (macrófitas) y microorganismos. La vegetación provee la superficie donde se desarrollan bacterias que depuran el agua, favorece la filtración y la adsorción de los elementos disueltos en el agua residual, transfiere oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de las algas al restringir la penetración de la luz solar (Figura 14). Además, permiten el establecimiento de un hábitat húmedo de gran beneficio para la vida silvestre.

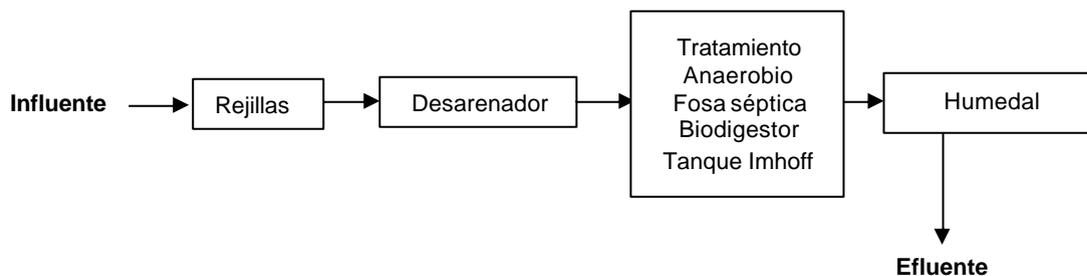


Figura 14. Arreglo típico de tratamiento por humedales
Fuente: IMTA-CNA, 2002

Pueden ser de flujo subsuperficial o de flujo superficial. En los de flujo subsuperficial el agua fluye a través de la grava, 10 cm debajo de la superficie, por lo que no se observa. Estos humedales a su vez se subdividen en flujo horizontal cuando el agua fluye de manera horizontal a lo ancho del humedal y flujo vertical cuando el agua se distribuye en diferentes puntos del lecho de grava y el agua fluye de manera vertical en sentido descendente.

4. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO REQUERIDAS EN LAS POBLACIONES MAYORES DE 20,000 HABITANTES EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

4.1 Dotación diferente por estado. Costos a diciembre de 2005

Tabla 11. Proceso de Lodos activados

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Lodos activados	
						Sept., 2002	Dic., 2005, Inflación 14.93%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$17.632.186	\$20.264.671
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$18.740.808	\$21.538.811
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$20.173.367	\$23.185.250
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$25.336.001	\$29.118.665
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$24.174.677	\$27.783.957
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$20.038.658	\$23.030.429
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$21.413.202	\$24.610.193
	Zapotlanejo	Zapotlanejo	250	175	55.92	\$22.263.410	\$25.587.337
	Lagos de Moreno	Lagos de Moreno	250	175	161.21	\$49.955.502	\$57.413.858
Edo. de México	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$18.526.846	\$21.292.904
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$21.753.416	\$25.001.201
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172	84.56	\$30.528.415	\$35.086.307
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172	114.02	\$38.349.609	\$44.075.205
	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$16.243.729	\$18.668.918
Michoacán	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$20.440.739	\$23.492.541
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$20.888.617	\$24.007.287
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158	87.86	\$31.432.012	\$36.124.811
Qr o	Corregidora	Pueblito, El	290	203	90.85	\$32.245.378	\$37.059.613
Totales						\$450.136.572	\$517.341.958

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

Tabla 12. Lagunas de estabilización

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Lagunas de estabilización	
						Sept., 2002	Dic., 2005, Inflación 14.93%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$9.727.701	\$11.180.046
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$10.281.262	\$11.816.254
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$10.992.129	\$12.633.253
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$13.517.655	\$15.535.841
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$12.954.065	\$14.888.107
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$10.925.487	\$12.556.662
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$11.603.595	\$13.336.012
	Zapotlanejo Lagos de Moreno	Zapotlanejo Lagos de Moreno	250	175	55.92	\$12.021.005	\$13.815.741
			250	175	161.21	\$25.033.069	\$28.770.506
Edo. de México	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$10.174.666	\$11.693.744
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$11.770.804	\$13.528.185
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172	84.56	\$16.009.927	\$18.400.209
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172	114.02	\$19.692.323	\$22.632.386
Michoacán	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$9.029.834	\$10.377.988
	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$11.124.279	\$12.785.134
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$11.345.288	\$13.039.140
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158	87.86	\$16.439.448	\$18.893.858
Or	Corregidora	Pueblito, El	290	203	90.85	\$16.825.103	\$19.337.091
Totales						\$239.467.640	\$275.220.157

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

Tabla 13. Filtro percolador

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Filtro percolador	
						Sept., 2002	Dic., 2005, Inflación 14.93%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$11.516.928	\$13.236.405
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$12.438.899	\$14.296.027
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$13.651.595	\$15.689.778
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$18.203.850	\$20.921.685
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$17.156.469	\$19.717.930
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$13.536.567	\$15.557.577
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$14.719.652	\$16.917.296
	Zapotlanejo Lagos de Moreno	Zapotlanejo Lagos de Moreno	250	175	55.92	\$15.461.581	\$17.769.995
			250	175	161.21	\$42.907.610	\$49.313.716
Edo. de México	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$12.259.814	\$14.090.205
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$15.015.625	\$17.257.458
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172	84.56	\$23.036.605	\$26.475.970
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172	114.02	\$30.727.049	\$35.314.597
Michoacán	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$10.383.656	\$11.933.936
	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$13.880.501	\$15.952.859
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$14.265.706	\$16.395.576
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158	87.86	\$23.901.066	\$27.469.495
Or	Corregidora	Pueblito, El	290	203	90.85	\$24.684.818	\$28.370.261
Totales						\$327.747.991	\$376.680.766

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

Tabla 14. Humedales ($Q_{\text{diseño}}$ 2-70 l/s)

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	$Q_{\text{diseño}}$ l/s	Humedales	
						Sept., 2002	Dic., 2005, Inflación 14.93%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$11.117.555	\$12.777.406
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$11.393.419	\$13.094.457
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$11.726.659	\$13.477.450
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$12.757.521	\$14.662.219
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$12.545.250	\$14.418.256
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$11.696.348	\$13.442.613
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$11.996.493	\$13.787.569
	Zapotlanejo Lagos de Moreno	Zapotlanejo Lagos de Moreno	250	175	55.92	\$12.172.645	\$13.990.021
		Zapotlanejo Lagos de Moreno	250	175			
Edo. de México	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$11.341.472	\$13.034.753
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$12.067.806	\$13.869.530
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172			
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172			
Michoacán	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$10.746.497	\$12.350.949
	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$11.786.226	\$13.545.909
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$11.884.282	\$13.658.605
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158			
Or	Corregidora	Pueblito, El	290	203			
Totales						\$153.232.173	\$176.109.737

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

A partir de la información del XII Censo de población y vivienda y del Inventario Nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales 2004, se determinó que dos localidades de la cuenca que cuentan con infraestructura de tratamiento presentan un déficit en función del gasto de diseño de las instalaciones. En Ocotlán, Jal., se cuenta con una planta de tratamiento (zanja de oxidación) con una capacidad de diseño de 130 l/s. Si se considera la población del censo (75,942 habitantes) el caudal de aguas residuales generados asciende a 154 l/s, lo que nos genera un déficit en la infraestructura de tratamiento de 24 l/s. En Santiago de Querétaro, Qro. se presenta un caso similar. A pesar de que la capital del estado concentra más del 88% de la infraestructura de tratamiento, se generan 1260 l/s de aguas negras, y se cuenta con una capacidad de tratamiento de 696 l/s. El déficit de infraestructura de tratamiento es de 564 l/s. Los costos de inversión que se generan para tratar el total “teórico” del agua residual generada por la población se presenta en la tabla 15.

Tabla 15. Costos de inversión para Ocotlán y Santiago de Querétaro

Municipio	Localidad	Q _{diseño} l/s	Lodos activados	Lagunas de estab.	Filtro Percolador	Humedales
Costos en pesos, a septiembre de 2002						
Ocotlán	Ocotlán	24	\$11.673.335	\$6.690.246	\$6.841.170	\$9.251.755
Querétaro	Santiago de Querétaro	564	\$129.936.462	\$59.609.830	\$143.496.010	***
Costos en pesos, considerando inflación septiembre 2002 – diciembre 2005 del 14.93%						
Ocotlán	Ocotlán	24	\$13.416.164	\$7.689.099	\$7.862.557	\$10.633.043
Querétaro	Santiago de Querétaro	564	\$149.335.976	\$68.509.578	\$164.919.965	***

*** No se estima el costo para humedales, ya que el gasto de diseño excede el rango recomendado para el uso de las fórmulas para la estimación de costos índice (2-70 l/s)

El tipo de proceso de tratamiento debe ser elegido en función de numerosas variables: espacio disponible, capacidad económica del municipio y de pago de servicios de la población, capacidad técnica del organismo operador, etc. En este caso, para fines de cálculo, se considera que en todas las localidades se utilizará el mismo tipo de tratamiento (Tabla 16). En los últimos cinco años, la mayor parte de las inversiones realizadas en la cuenca corresponden a plantas de tratamiento utilizando el proceso de lodos activados en alguna de sus modalidades. El proceso de lagunas de estabilización ha sido el más utilizado durante mucho tiempo. Sin embargo, debido a las grandes extensiones de terreno que se requieren, cada vez se utilizan menos en aquellos lugares en donde la disponibilidad de terrenos económicos ha disminuido. Un ejemplo de ello es la planta de San Miguel Allende, Gto., en donde la población solicitaba instalar un humedal. Se consideraba que se necesitaban al menos 50 ha de terreno para el mismo (CEAG, 2005) y en caso de instalarse se tenía que ubicar en los terrenos ejidales del municipio, cuya superficie es de 55 ha.

Tabla 16. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales
Costos a diciembre de 2005

Total	Lodos activados	Lagunas de estabilización	Filtro Percolador	Humedales*
Guanajuato	\$121.891.354	\$66.053.501	\$83.861.825	\$68.429.788
Jalisco	\$130.641.817	\$68.478.921	\$99.558.584	\$41.220.203
Edo. de México	\$125.455.617	\$66.254.524	\$93.138.230	\$26.904.283
Michoacán	\$102.293.557	\$55.096.120	\$71.751.866	\$39.555.463
Querétaro	\$37.059.613	\$19.337.091	\$28.370.261	\$0
CUENCA	\$517.341.958	\$275.220.157	\$376.680.766	\$176.109.737
Déficit Jalisco	\$13.416.164	\$7.689.099	\$7.862.557	\$10.633.043
Déficit Querétaro	\$149.335.976	\$68.509.578	\$164.919.965	---
TOTAL	\$680.094.098	\$351.418.834	\$549.463.288	\$186.742.780

* No se incluyen aquellos cuyos caudales se encuentran fuera del rango recomendado

4.2 Análisis comparativo

En el análisis de información federal, se obtuvieron los costos de inversión estimados por la Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico (GRLSP) calculados a junio de 2005, en el cual se analizan las necesidades de saneamiento en la cuenca para las ciudades mayores de 20,000 habitantes con base en la población proyectada a 2004 (tasa de crecimiento CONAPO) y con una dotación generalizada de 280 l/hab/d.

En el estudio se considera que 1'153,651 habitantes, repartidos en 21 localidades mayores de 20,000 habitantes carecen de infraestructura de tratamiento de aguas residuales. Con base en la dotación generalizada y con una aportación del 70% de la dotación, el gasto generado por la población es de 2,616 l/s. Se considera que el costo por litro por segundo de agua por tratar es de \$420,000 (junio 2005), sin especificar el tipo de proceso. La inversión estimada de esta manera se eleva a 1,099 millones de pesos.

Para realizar un análisis comparativo entre la inversión estimada por la GRLSP y el presente estudio, se realizaron dos ejercicios.

4.2.1 Ejercicio 1

En el primer ejercicio, únicamente se proyectan los costos de inversión a junio de 2005 (tasa de inflación: 12.11%). Los resultados de este análisis se presentan en las tablas 17 a 19, y en la tabla 20 se presenta el resumen de costos de inversión de los diferentes procesos.

Los costos asociados a la inversión, en función de litros por segundo de agua tratada son:

- Lodos activados: \$ 371,865
- Filtro percolador: \$ 300,150
- Lagunas de estabilización: \$ 192,150

Ejercicio 1

Tabla 17. Lodos activados

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Lodos activados	
						Sept., 2002	Jun., 2005, Inflación 12.11%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$17.632.186	\$19.767.444
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$18.740.808	\$21.010.320
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$20.173.367	\$22.616.361
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$25.336.001	\$28.404.190
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$24.174.677	\$27.102.231
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$20.038.658	\$22.465.339
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$21.413.202	\$24.006.341
	Zapotlanejo	Zapotlanejo	250	175	55.92	\$22.263.410	\$24.959.508
	Lagos de Moreno	Lagos de Moreno	250	175	161.21	\$49.955.502	\$56.005.113
Edo. de México	Ocotlán	Ocotlán	250	175	24.00	\$11.673.335	\$13.086.976
	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$18.526.846	\$20.770.447
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$21.753.416	\$24.387.755
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172	84.56	\$30.528.415	\$34.225.406
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172	114.02	\$38.349.609	\$42.993.747
Michoacán	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$16.243.729	\$18.210.845
	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$20.440.739	\$22.916.113
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$20.888.617	\$23.418.228
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158	87.86	\$31.432.012	\$35.238.428
Qro	Corregidora	Pueblito, El	290	203	90.85	\$32.245.378	\$36.150.293
	Querétaro	Santiago de Querétaro	290	203	564.00	\$129.936.462	\$145.671.768
Totales						\$591.746.369	\$663.406.853

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

Tabla 18. Lagunas de estabilización

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Lagunas de estabilización	
						Sept., 2002	Jun., 2005, Inflación 12.11%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$9.727.701	\$10.905.725
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$10.281.262	\$11.526.322
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$10.992.129	\$12.323.275
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$13.517.655	\$15.154.643
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$12.954.065	\$14.522.803
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$10.925.487	\$12.248.563
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$11.603.595	\$13.008.790
	Zapotlanejo	Zapotlanejo	250	175	55.92	\$12.021.005	\$13.476.748
	Lagos de Moreno	Lagos de Moreno	250	175	161.21	\$25.033.069	\$28.064.573
	Ocotlán	Ocotlán	250	175	24.00	\$6.690.246	\$7.500.434
Edo. de México	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$10.174.666	\$11.406.818
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$11.770.804	\$13.196.248
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172	84.56	\$16.009.927	\$17.948.729
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172	114.02	\$19.692.323	\$22.077.063
	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$9.029.834	\$10.123.347
Michoacán	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$11.124.279	\$12.471.429
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$11.345.288	\$12.719.203
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158	87.86	\$16.439.448	\$18.430.265
	Corregidora	Pueblito, El	290	203	90.85	\$16.825.103	\$18.862.623
Qro	Querétaro	Santiago de Querétaro	290	203	564.00	\$59.609.830	\$66.828.580
Totales						\$305.767.716	\$342.796.181

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

Tabla 19. Filtro percolador

Edo.	Municipio	Localidad	Dot* l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Filtro percolador	
						Sept., 2002	Jun., 2005, Inflación 12.11%
Guanajuato	Comonfort	Comonfort	240	168	41.20	\$11.516.928	\$12.911.628
	Villagran	Villagran	240	168	44.62	\$12.438.899	\$13.945.250
	Purísima del Rincón	Purísima de Bustos	240	168	49.14	\$13.651.595	\$15.304.803
	Salvatierra	Salvatierra	240	168	66.24	\$18.203.850	\$20.408.336
	Pénjamo	Pénjamo	240	168	62.29	\$17.156.469	\$19.234.117
Jalisco	Sayula	Sayula	250	175	48.71	\$13.536.567	\$15.175.846
	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	250	175	53.14	\$14.719.652	\$16.502.202
	Zapotlanejo Lagos de Moreno	Zapotlanejo Lagos de Moreno	250	175	55.92	\$15.461.581	\$17.333.978
			250	175	161.21	\$42.907.610	\$48.103.721
	Ocotlán	Ocotlán	250	175	24.00	\$6.841.170	\$7.669.636
Edo. de México	Ocoyoacac	Ocoyoacac	245	172	43.96	\$12.259.814	\$13.744.478
	Toluca	San Pablo Autopan	245	172	54.25	\$15.015.625	\$16.834.018
	Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec	245	172	84.56	\$23.036.605	\$25.826.338
	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	245	172	114.02	\$30.727.049	\$34.448.094
Michoacán	Yurecuaro	Yurecuaro	225	158	37.00	\$10.383.656	\$11.641.117
	Puruandiro	Puruandiro	225	158	50.00	\$13.880.501	\$15.561.429
	Maravatio	Maravatio de Ocampo	225	158	51.44	\$14.265.706	\$15.993.283
	Jacona	Jacona de Plancarte	225	158	87.86	\$23.901.066	\$26.795.485
Qro	Corregidora	Pueblito, El	290	203	90.85	\$24.684.818	\$27.674.149
	Querétaro	Santiago de Querétaro	290	203	564.00	\$143.496.010	\$160.873.377
Totales						\$478.085.171	\$535.981.285

* Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003

Tabla 20. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales.
Costos a junio de 2005

Total	Caudal a tratar (l/s)	Lodos activados	Lagunas de estabilización	Filtro Percolador
Guanajuato	263	\$118.900.546	\$64.432.768	\$81.804.134
Jalisco	343	\$140.523.277	\$74.299.108	\$104.785.383
Edo. de México	297	\$122.377.355	\$64.628.858	\$90.852.928
Michoacán	226	\$99.783.614	\$53.744.244	\$69.991.314
Querétaro	655	\$181.822.061	\$85.691.203	\$188.547.526
CUENCA	1,784	\$663.406.853	\$342.796.181	\$535.981.285
	MDP	\$663	\$343	\$536

Tabla 21. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales.
Costos a junio de 2005

4.2.2 Ejercicio 2

En el segundo ejercicio, para fines de cálculo se utiliza la misma dotación que la GRLSP (280 l/hab/d) en todos los estados a septiembre de 2002 (Tabla 21) y se proyectan los costos de inversión a junio de 2005 (Tabla 22). Esto es, no se utilizan las dotaciones indicadas por la Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, 2003. En la tabla 23 se presenta el resumen de costos de inversión de los diferentes procesos.

Los costos asociados a la inversión, en función de litros por segundo de agua tratada son:

- Lodos activados: \$ 367,196
- Filtro percolador: \$ 299,992
- Lagunas de estabilización: \$ 188,739

Ejercicio 2

Tabla 21. Costos de inversión, a septiembre de 2002. Dotación constante

Localidad	Dot l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Lodos activados	Lagunas de estab.	Filtro Percolador
Costos en pesos, a septiembre de 2002						
Comonfort	280	196	48.06	\$19.833.832	\$10.824.078	\$13.362.058
Villagran	280	196	52.06	\$21.080.883	\$11.440.029	\$14.431.738
Purísima de Bustos	280	196	57.33	\$22.692.318	\$12.231.016	\$15.838.720
Pénjamo	280	196	72.67	\$27.193.254	\$14.414.076	\$19.905.111
Salvatierra	280	196	77.28	\$28.499.586	\$15.041.186	\$21.120.294
Sayula	280	196	54.56	\$21.849.260	\$11.817.866	\$15.099.227
Atotonilco El Alto	280	196	59.51	\$23.348.003	\$12.551.361	\$16.418.887
Zapotlanejo	280	196	62.63	\$24.275.031	\$13.002.864	\$17.246.464
Lagos de Moreno	280	196	180.56	\$54.469.256	\$27.077.735	\$47.860.860
Ocotlán	250	175	24.00	\$11.673.335	\$6.690.246	\$6.841.170
Ocoyoacac	280	196	50.24	\$20.514.774	\$11.160.843	\$13.944.024
San Pablo Autopan	280	196	62.00	\$24.087.555	\$12.911.685	\$17.078.419
San Miguel Zinacantepec	280	196	96.65	\$33.804.110	\$17.561.684	\$26.201.292
San Mateo Atenco	280	196	130.30	\$42.464.517	\$21.600.995	\$34.948.222
Yurecuaro	280	196	46.04	\$19.194.666	\$10.507.001	\$12.820.551
Puruandiro	280	196	62.22	\$24.154.130	\$12.944.072	\$17.138.055
Maravatio de Ocampo	280	196	64.01	\$24.683.372	\$13.201.235	\$17.613.662
Jacona de Plancarte	280	196	109.34	\$37.142.146	\$19.128.736	\$29.510.303
Pueblito, El	280	196	87.72	\$31.393.143	\$16.420.996	\$23.863.745
Santiago de Querétaro	280	203	564.00	\$129.936.462	\$59.609.830	\$143.496.010

Tabla 22. Costos de inversión, a junio de 2005. Dotación constante

Localidad	Dot l/hab/d	Aport l/hab/d	Q _{diseño} l/s	Lodos activados	Lagunas de estab.	Filtro Percolador
Costos en pesos, considerando inflación septiembre 2002 – junio 2005 del 12.11%						
Comonfort	280	196	48.06	\$22.235.710	\$12.134.874	\$14.980.203
Villagran	280	196	52.06	\$23.633.778	\$12.825.417	\$16.179.422
Purísima de Bustos	280	196	57.33	\$25.440.358	\$13.712.192	\$17.756.789
Pénjamo	280	196	72.67	\$30.486.357	\$16.159.621	\$22.315.620
Salvatierra	280	196	77.28	\$31.950.885	\$16.862.674	\$23.677.961
Sayula	280	196	54.56	\$24.495.206	\$13.249.009	\$16.927.744
Atotonilco El Alto	280	196	59.51	\$26.175.446	\$14.071.330	\$18.407.215
Zapotlanejo	280	196	62.63	\$27.214.737	\$14.577.511	\$19.335.011
Lagos de Moreno	280	196	180.56	\$61.065.483	\$30.356.849	\$53.656.810
Ocotlán	250	175	24.00	\$13.086.976	\$7.500.434	\$7.669.636
Ocoyoacac	280	196	50.24	\$22.999.114	\$12.512.421	\$15.632.646
San Pablo Autopan	280	196	62.00	\$27.004.558	\$14.475.290	\$19.146.615
San Miguel Zinacantepec	280	196	96.65	\$37.897.788	\$19.688.404	\$29.374.269
San Mateo Atenco	280	196	130.30	\$47.606.970	\$24.216.876	\$39.180.452
Yurecuaro	280	196	46.04	\$21.519.140	\$11.779.399	\$14.373.119
Puruandiro	280	196	62.22	\$27.079.195	\$14.511.599	\$19.213.473
Maravatio de Ocampo	280	196	64.01	\$27.672.528	\$14.799.905	\$19.746.677
Jacona de Plancarte	280	196	109.34	\$41.640.059	\$21.445.226	\$33.084.000
Pueblito, El	280	196	87.72	\$35.194.853	\$18.409.578	\$26.753.644
Santiago de Querétaro	280	203	564.00	\$145.671.768	\$66.828.580	\$160.873.377

Tabla 23. Inversión estimada para el tratamiento de aguas residuales. Dotación constante.
Costos a junio de 2005

Total	Caudales a tratar (l/s)	Lodos activados	Lagunas de estabilización	Filtro Percolador
Guanajuato	307	\$133.747.088	\$71.694.778	\$94.909.995
Jalisco	381	\$152.037.848	\$79.755.133	\$115.996.416
Edo. de México	339	\$135.508.430	\$70.892.991	\$103.333.982
Michoacán	282	\$117.910.922	\$62.536.129	\$86.417.269
Querétaro	652	\$180.866.621	\$85.238.158	\$187.627.021
CUENCA	1,961	\$720.070.909	\$370.117.189	\$588.284.683
	MDP	\$720	\$370	\$588

5. CONCLUSIONES

Se analizaron las necesidades de tratamiento de las poblaciones mayores de 20,000 habitantes conforme a la información generada por INEGI. Se contabilizaron 55 localidades que cumplen esta premisa y de ellas 34 no cuentan con planta de tratamiento, lo que representa casi 1'780,000 habitantes sin saneamiento apropiado.

De acuerdo con el análisis del Plan de saneamiento del estado de Guanajuato, las localidades de Purísima de Bustos, Comonfort, Pénjamo, Villagrán y Salvatierra (mayores a 20,000 habitantes) no han sido incluidas para dotarlas de infraestructura de saneamiento. En estas localidades se realizó el cálculo de inversión para tres procesos. Se estima que si se utiliza el sistema de lodos activados, la inversión será de \$121'891,354, en caso de equipar estas localidades con filtro percolador la erogación se estima en \$83'861,825. Finalmente, la inversión más económica es la de lagunas de estabilización, cuyo monte se estima en \$66'053,501, pero hay que considerar las grandes extensiones de terreno que esta alternativa implica.

En el estado de Michoacán, la ciudad de Morelia ya está considerada en el presupuesto de inversión y se está construyendo una PTAR de 1,200 l/s mediante el proceso de lodos activados. Las poblaciones mayores de 20,000 habitantes sin infraestructura de saneamiento son Yurécuaro, Puruándiro, Maravatío de Ocampo y Jacona de Plancarte. La inversión estimada al utilizar el proceso de lodos activados es de \$102'293,557, en el caso de equipar estas localidades con filtro percolador la erogación se estima en \$71'751,866 y si se utilizan lagunas de estabilización es de \$55'096,120.

En Jalisco, las poblaciones sin infraestructura de saneamiento son Sayula, Atotonilco el Alto, Zapotlanejo y Lagos de Moreno, esto es, 157,500 habitantes. En este caso, si se utilizan lodos activados la inversión es de \$130'641,817, con filtro percolador es de \$99'558,584 y con lagunas de estabilización la erogación estimada es de \$68'478,921. En Ocotlán se cuenta con una planta de tratamiento con una capacidad de diseño de 130 l/s. Se considera que existe un déficit en la infraestructura de tratamiento de 24 l/s. Los costos asociados para este caso en particular ascienden a \$13.416.164 para el caso de lodos activados, \$7.689.099 para lagunas de estabilización y a \$7.862.557 si se utiliza filtro percolador.

En el Estado de México las localidades mayores de 20,000 habitantes sin PTAR son Ocoyoacac, San Pablo Autopan, San Miguel Zinacantepec y San Mateo Atenco. La población sin servicio estimada es de 150,000 habitantes. Con lodos activados, la inversión asciende a \$125'455,617, para filtro percolador es de \$93'138,230 y con lagunas de estabilización es de \$66'254,524.

En el estado de Querétaro la única localidad mayor de 20,000 habitantes es El Pueblito, ahora conurbado a la capital. Su población asciende a 38,700 habitantes y no ha sido considerada de manera independiente en el Plan de Saneamiento.

Sin embargo, es posible que sus aguas residuales sean tratadas por una de las plantas de la ciudad de Querétaro. Si se considera una PTAR para la localidad, sobre todo considerando las posibilidades de reúso y para disminuir costos de conducción, la inversión para el proceso de lodos activados es de \$37'059,613, con filtro percolador es de \$28'370,261 y con lagunas de estabilización es de \$19'337,091. En Santiago de Querétaro, Qro. se presenta un déficit de infraestructura de tratamiento de 564 l/s. Los costos de inversión para tratarlo son de \$149.335.976 en el caso de lodos activados, \$68.509.578 para lagunas de estabilización y de \$164.919.965 utilizando filtro percolador.

La elección del proceso de tratamiento está en función del espacio disponible en cada localidad, y de la fortaleza de las finanzas de cada municipio, ya que si bien es cierto que la alternativa más económica desde el punto de vista de inversión es la de lagunas de estabilización, se requieren extensiones de terreno muy importantes. En el caso de lodos activados, es necesario asegurar el pago mensual de electricidad para que funcione adecuadamente, y considerar que se necesita una plantilla de operadores capacitados para que el proceso sea eficiente.

De manera global y a nivel de cuenca, la inversión por proceso es la siguiente:

- Lodos activados: \$ 680.094.098
- Filtro percolador: \$ 549.463.288
- Lagunas de estabilización: \$ 351.418.834

De esta manera, los costos asociados a la inversión, en función de litros por segundo de agua tratada son:

- Lodos activados: \$ 381,131
- Filtro percolador: \$ 307,924
- Lagunas de estabilización: \$ 196,938

Se calcularon los costos de inversión en función de los litros por segundo del agua tratada, a costos de junio, 2005 para realizar una comparación con el valor utilizado por la Gerencia Regional Lerma-Pacífico-Santiago (\$420,000 por litro por segundo de agua tratada), con los resultados generados por este estudio.

En un primer ejercicio, únicamente se proyectaron los costos de inversión (tasa de inflación: 12.11%). Los costos asociados a la inversión, en función de litros por segundo de agua tratada son:

- Lodos activados: \$ 371,865
- Filtro percolador: \$ 300,150
- Lagunas de estabilización: \$ 192,150

En el segundo ejercicio, para fines de cálculo se utilizó la misma dotación que la Gerencia Regional Lerma-Pacífico-Santiago (280 l/hab/d) y se proyectaron los costos de inversión (tasa de inflación: 12.11%).

Los costos asociados a la inversión, en función de litros por segundo de agua tratada son:

- Lodos activados: \$ 367,196
- Filtro percolador: \$ 299,992
- Lagunas de estabilización: \$ 188,739

BIBLIOGRAFÍA

CNA, *Programa hidráulico de gran visión 2001-2025 de la Región Lerma-Chapala-Santiago*, México, 2000

-----, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, *Base de datos SACDAR (Sistema de Administración y Control de las Descargas de Aguas Residuales)*

-----, *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales*, México, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004

-----, *Plan Maestro para la sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala*, México, 2001

-----, *Saneamiento Cuenca Lerma Chapala, Zonas urbanas (Población > 2,500 habitantes)*, Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico, México, junio, 2005

-----, *Síntesis de las Estadísticas del Agua en México*, México, 2005

-----, *Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, México, 2003

INEGI, *Censos Económicos*, México, 1989, 1999, 2002

-----, *XII Censo General de Población y Vivienda*, México, 2000

Le Page, Michel y María Castillo, *El asunto del agua en el proceso de desarrollo urbano e industrial de la cuenca del Lerma*, Grupo de Investigación Transdisciplinario sobre la cuenca Lerma-Chapala (GRUCHA), México, 2005

Memorias del Taller internacional de reúso del agua “*cerrando el ciclo urbano del agua*”, en el marco de la XI Expo-agua, 21-23 de noviembre, 2005, Guanajuato, Gto

Metcalf and Eddy, *Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*, 3ra. ed., McGraw-Hill, México, 1996

Peniche, Salvador, Manuel Guzmán, Raquel Gutierrez y Manuel Villagomez, 8° Living Lakes Conference, Norwich, *The struggle for Chapala*, The Lerma Chapala Santiago Foundation, Friends of the Lake Society and Living Lakes effort to overcome an environmental crime in Western Mexico, September 2003

SGC-UAPS-MOR-02-001-RF-CC, IMTA-CNA (2002), Proyecto TC-0210 *Determinación de costos índice de sistemas de tratamiento de aguas residuales*

Water Pollution Control Federation (WPCF). *Water Reuse Manual of Practice SM-3*. 2nd Edition, Alexandria, VA, USA, 1989

Banco de México, Índice Nacional de Precios al Consumidor

<http://www.banxico.org.mx>

Comisión del Agua del Estado de México

<http://www.edomex.gob.mx/caem/CAEM.htm>

Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Jalisco

<http://ceas.jalisco.gob.mx/index.html>

Comisión Estatal de Aguas de Querétaro

<http://www.ceaqueretaro.gob.mx/>

Comisión Estatal del Agua de Guanajuato

<http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/>

Gobierno de Jalisco

<http://www.jalisco.gob.mx/index.html>

Gobierno del Estado de Guanajuato

<http://www.guarajuato.gob.mx/>

Gobierno del Estado de México

<http://www.edomexico.gob.mx/>

Gobierno del Estado de Michoacán

<http://www.michoacan.gob.mx/>

Gobierno del Estado de Querétaro

<http://www.queretaro.gob.mx/>

Plan de Desarrollo del Estado de México 1999-2005

<http://www.edomexico.gob.mx/caem/caem.htm>

Plan Estatal de Desarrollo de Querétaro, 2004-2009

<http://www.queretaro.gob.mx/planestatal/Plan%20Estatal.pdf>

Programa Hidráulico Integral del Estado de México, Consejo Consultivo del Agua del Estado de México

http://www.edomexico.gob.mx/caem/informacion/Prog_hid/prog_hid.pdf