

**Modernidad, agua y
territorio
El Sistema Lerma**

DOI: <https://doi.org/10.24275/FRHM1082>

Resumen

La construcción del Sistema del Lerma coincide con una de las etapas de modernización económica y social de la Ciudad de México. Se ha estudiado la relación entre infraestructura y los procesos de modernización de las ciudades, ligándolos en muchos casos a la mejora higiénica y de calidad de vida que conllevaron, sin embargo muchos de estos proyectos se generaron pensando también en el progreso de la industria, el proyecto del Sistema Lerma posee estas características, ya que está ligado a uno de los procesos de industrialización más importantes del siglo pasado, tanto en la Ciudad de México como en el Corredor Lerma-Toluca-Atlacomulco-Ciudad de México.

Abstract

The construction of the Lerma system matches one of the stages of economic and social modernization of Mexico City. We have studied the relationship between infrastructure and the modernization of cities, linking them in many cases to improve hygiene and quality of life, however many of these projects were generated also thinking in the progress of industry, Lerma System project has these characteristics, since it is linked to one of the most important processes of industrialization of the last century, both Mexico City and in the corridor- Lerma-Toluca-Atlacomulco- Mexico City.

**María del Carmen Bernárdez
de la Granja**
Profesora investigadora,
UAM-Azcapotzalco Área de
Estudios Urbanos

Francisco Santos Zertuche
Profesor-Investigador en la
UAM-Azcapotzalco, Área de
Estudios Urbanos

Modernidad, agua y territorio

El Sistema Lerma

Introducción

Este artículo forma parte de una investigación que pretende analizar las huellas sobre el territorio urbano de uno de los componentes fundamentales como es el agua y el impacto de las arquitectura e ingenierías del agua en la modernización y expansión de la Ciudad de México.

En esta primera parte, se intenta encontrar respuestas a la hipótesis de modernización de la ciudad a través de las infraestructuras y su impacto social y territorial.

Antecedentes del Abasto de Agua

La Ciudad de México recibió durante 400 años el agua de Chapultepec, Santa Fe y Desierto de los Leones a través de los acueductos de Santa Fe y Chapultepec, además de la dotación que proveían los pozos privados. A fines del siglo XIX la dotación de agua potable había llegado a un punto crítico, tanto por la disminución de los caudales como por la calidad del agua que recibían los habitantes. En el año de 1899 se iniciaron los estudios para obtener otras fuentes de agua que abastecieran a la Ciudad de México, se realizaron dos trabajos, uno del Ing. Manuel Ma-

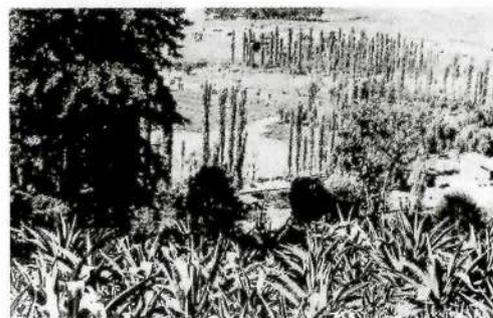
rroquín y Rivera, que se inclinó por el aprovechamiento de los manantiales de Xochimilco, y los estudios del Sr. William Mackenzie, que propuso dotar a la Ciudad de México con los manantiales del Alto Lerma.

Después de realizarse los estudios, finalmente las comisiones concluyeron que era más factible utilizar los manantiales de Xochimilco y se inició su construcción hacia el año 1903, terminándose en 1913. La dotación de agua de este acueducto, que proporcionaba a los habitantes 2200 lts. por seg., se tradujo en una mejoría notable en las condiciones de salubridad de la Ciudad de México.

Uno de los argumentos más importantes para la toma de esta decisión, fue la localización de los manantiales dentro de los límites del Distrito Federal, ya que las obras tendrían un costo menor que traer agua de fuentes externas y los procesos de negociación eran más sencillos. Otro de los factores que influyó en la aceptación de esta opción fue la naturaleza de los depósitos subterráneos que recolectaban las aguas de la zona sur y que permitía prever un flujo continuo de agua aún en época de secas.

Las obras de provisión del acueducto de Xo-

chimilco, estaban calculadas para una ciudad de 500,000 habitantes, el crecimiento posterior a la Revolución, hizo que los caudales de agua fueran insuficientes.



La Laguna del Lerma, antes del aprovechamiento de los manantiales. Obras para la provisión de agua potable. 1951.

La opción por la conducción de agua de las Lagunas del Alto Lerma a la Ciudad de México

En 1930 la Ciudad de México ocupaba una superficie de 50 kilómetros cuadrados aproximadamente, con una población de 1 millón de

habitantes. En este momento los caudales con los que se contaba eran los siguientes:

Caudales:	
Aguas provenientes de Xochimilco	2,200 litros por segundo
Aguas de la Serranía de las Cruces	130 litros por segundo
Aguas de Pozos Artesianos con Instalaciones en operación	4,580 litros por segundo
Agua de pozos artesianos con instalaciones en proceso	500 litros por segundo
Aguas de pozos artesianos en la región de Xotepingo	2,000 litros por segundo
Total	9,450 litros por segundo

(Molina, Eduardo, Obras, 1949, p.5)

Como puede observarse en el cuadro anterior, casi el 50% de la dotación de agua se realizaba a través de pozos artesianos extrayendo el agua del subsuelo, para 1949 estaba perfectamente establecido que el proceso de hundimiento de la Ciudad de México tenía y tiene como causa principal esta extracción.

Este problema era un motivo de preocupación creciente por las consecuencias que tiene el fenómeno del hundimiento sobre el sistema de desalojo de aguas de la ciudad, que perdía su capacidad, produciendo, grandes inundaciones y por la afectación a la estabilidad de los edificios localizados en el antiguo lecho del lago.

En 1949, el mayor problema de la Ciudad de México en relación al agua potable, era el déficit

en el volumen de agua y la distribución, ya que el agua se prorrateaba entre las diferentes zonas durante seis horas al día. En este momento, ya no existen fuentes de abastecimiento importantes que se puedan aprovechar en las inmediaciones de la Ciudad, por lo que es necesario estudiar y proyectar traer el agua desde fuentes externas.

Las estadísticas de este periodo dan un crecimiento anual cercano a los 60,000 habitantes, con una población de 2,600,000 habitantes, se tendría una población total de 3,000,000 de habitantes cuando las obras fueran terminadas. Las obras del Lerma se plantearon para resolver los problemas de abasto en los siguientes cinco años (primera etapa), planteándose desde el inicio que se deberían seguir haciendo obras de dotación en los años sucesivos.

El aprovechamiento de las aguas de las Lagunas del Alto Lerma presentaba las siguientes ventajas:

- a. Se constituyeron en la fuente más cercana a la Ciudad de México
- b. Se podían obtener hasta 6 metros cúbicos por segundo (692,200 metros cúbicos diarios), lo que cubriría el déficit que se manejaba en ese momento para una población de 3,000,000 de habitantes.
- c. La altitud del Valle de Toluca permitía la conducción por gravedad del último tramo a la ciudad de México y el aprovechamiento de las caídas para la producción de electricidad.
- d. Las aguas de las Lagunas en este momento

eran potables, por lo que no requerían de ningún tratamiento de filtración.

- e. Se consideró que la desviación de las aguas hacia el Valle de México, liberaría grandes extensiones de terreno (con el desecamiento de una parte importante de la superficie pantanosa de las lagunas) susceptible de utilizarse en agricultura.

Es importante subrayar como en el siglo XIX, existieron una gran cantidad de proyectos para darle diferentes usos al agua, desde canalización de ríos para la navegación, la generación de energía hidroeléctrica y uno de los elementos más importantes, la desecación de lagunas y pantanos, que tenía una doble finalidad: apoyar una expansión de las actividades agrícolas que traerían el progreso a México, como ocurría en otras partes del mundo, tomando como ejemplo a los Estados Unidos y a la Argentina, "... desecación, desagüe y canalización de los ríos y lagunas reflejan las políticas de los liberales decimonónicos, quienes estaban preocupados por el desarrollo económico que le urgía al país. Por un lado, buscaban medios de comunicación para mejorar el intercambio comercial entre los pueblos: la canalización de los ríos era entonces su objetivo para agilizar la actividad comercial. Además, se pretendía el desarrollo agrícola: las obras de desagüe y desecación de aguas estancadas estaban destinadas a eliminar el obstáculo que estas representaban para el progreso de esa actividad." (Camacho Pichardo,

2007:pp.75-76), la otra estaba asociada a un proceso de higienización de grandes terrenos pantanosos para mejorar la salud de la población.

El proyecto estatal para desecar las lagunas del Alto Lerma en el siglo XIX, pretendía dividir las nuevas tierras de uso agrícola así obtenidas, para consolidar un sistema de pequeños y medianos propietarios rurales, con la idea de detonar el crecimiento económico basado en la agricultura; hay que recordar que el proyecto del liberalismo estaba en contra de las grandes concentraciones y monopolios civiles (comunales) y eclesiásticos.

De los estudios realizados por Camacho Pichardo, se desprende que la propuesta de subdivisión pretendía incorporar como pequeños y medianos propietarios a los pueblos indígenas que ocupaban los terrenos cenagosos y aunque en un principio, estos estuvieron de acuerdo, muchos de ellos se opusieron finalmente a las obras por considerar que económicamente era más beneficioso para ellos la explotación de la laguna (explotación de la pesca, recolección del tule, cacería de aves) que la explotación agrícola de las tierras.

La propuesta presentada por el Sr. William Mackenzie, para bombear el agua de los manantiales del Lerma hasta la Sierra de las Cruces y de ahí hacerla bajar por gravedad al Valle de México, fue desechada, en ese momento se determinó que está propuesta no era conveniente por los costos y las dificultades que entrañaba el proyecto, sin embargo, sirvió como base para los

estudios posteriores.

Ulteriormente, fue presentado un proyecto por parte del Sr. L. Zaldívar para desecar la Laguna y dedicarla a una explotación agrícola y para aprovechar el agua en la generación de energía eléctrica. Más tarde, la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas realizó diferentes estudios para la desecación de la Laguna y la regularización de sus aguas.

Hacia 1930, los Ingenieros Villarello y Orozco solicitaron de la Secretaría de Agricultura una concesión para el aprovechamiento de las aguas del Lerma, cuyo fin sería el abastecimiento de la Ciudad de México y la generación de energía eléctrica. Esta propuesta fue sometida al estudio de la Directiva de la Provisión de Agua para la Ciudad de México, que era dirigida por el Ing. Octavio Dubois, quién participó en el estudio y construcción del Acueducto de Xochimilco, por lo que sus observaciones sobre el nuevo proyecto resultaban cruciales, ya que en este último acueducto se habrían producido fuertes asentamientos diferenciales. Se concluyó que la propuesta era una idea, que le faltaba desarrollo para ser considerada un proyecto, y se solicitó que se iniciaran los trabajos para presentar un buen proyecto, pero éstos quedaron inconclusos.

En 1936, ante una nueva gestión de Villarello y Orozco, se les propuso realizar un proyecto más completo. En 1937, se comisionó al Ing. Guillermo Terrés, que había realizado con anterioridad algunos estudios sobre la Laguna del Lerma, para

que realizara un nuevo anteproyecto por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. Durante ese año se desarrollaron los estudios necesarios para la presentación del mismo, que difería del presentado por los Ing. Villarelo y Orozco, tanto en el caudal de aguas factible de captar como en la localización y trayecto de las conducciones.

Ante esto, en 1938 se procedió a analizar los dos proyectos para ver cual era el más factible, los ingenieros Fortunato Doral y José Moreno Valdivia realizaron el estudio comparativo, presentando conclusiones y recomendaciones.

El proyecto de Villarelo y Orozco tenía los siguientes componentes:

1. Estudio geológico de la Sierra de las Cruces y de la región cercana a la Laguna de Lerma
2. Estudio Hidrológico de la Laguna
3. Proyecto de acueducto superior en el Valle de Toluca
4. Túnel de las Cruces
5. Acueducto inferior en el Valle de México

De su estudio comparativo se desprende que las conclusiones sobre el caudal de agua presentadas por los ingenieros Villarelo y Orozco eran erradas, ya que los cálculos de evaporación no estaban contemplados, el proyecto recomendaba la construcción de una parte del acueducto a través de la Laguna del Lerma, con una profundidad variable de dos a cinco metros bajo las altas aguas, por lo que la construcción se volvía muy costosa

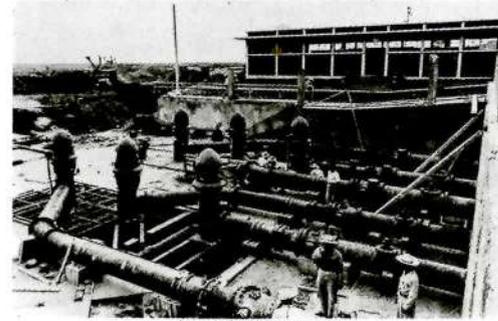
y se corría el riesgo de generar contaminación de las aguas.

Además, se tenía ya la experiencia del acueducto de Xochimilco en el tramo de conducción a México, el cual fue necesario recimentar por la inestabilidad del terreno lo que llevaba a la conclusión de que era más seguro trazar el acueducto fuera de la laguna, con mayor razón cuando se debía utilizar algún tipo de bombeo.

El proyecto del Ing. Guillermo Terrés contemplaba:

1. Captar las aguas de los manantiales de Almoloya, Texcaltenco y Alta Empresa.
2. El acueducto superior en el Valle de Toluca localizado un metro más arriba que las aguas altas de la laguna, para lo cual era necesario bombearlas.
3. El túnel que atravesaba la Sierra de las Cruces, propuesto entre la Barranca de Alférez y la Cañada de Dos Ríos
4. El Acueducto inferior, localizado en la Cañada del Río Hondo y con tres caídas para el aprovechamiento hidroeléctrico que generaban dieciséis mil caballos de fuerza.

El proyecto se consideró más completo y factible, ya que el acueducto superior corría sobre tierra firme y se evitaba la contaminación, aunque requería de un bombeo de baja altura. El túnel propuesto, era ligeramente inferior en longitud (dos km) al del otro proyecto y el estudio geológico determinaba que atravesaría



Bombas para elevar el agua al Acueducto. Obras para la provisión de agua potable. 1951.

también roca andesita maciza con pequeñas filtraciones. La localización del túnel se propuso por razones económicas, ya que los trabajos de construcción serían menos difíciles y por lo tanto menos costosos.

En el acueducto inferior se propusieron tres plantas generadoras de energía, contra una del proyecto de Villarelo y Orozco. Finalmente se decidió que se utilizaría el proyecto de Terrés, con algunas modificaciones, ya que se solicitó que las obras se adecuaran a un caudal de 10,000 litros por segundo, por lo que el túnel debería estar proyectado para esta capacidad y se solicitó que el proyecto se pudiera construir en etapas.

El proyecto general consistía en la captación de aguas del lado oriental de la Laguna del Lerma y su conducción a los Tanques de Dolores.

Las obras de Captación

Los manantiales propuestos para la captación de agua fueron Almoloya, Texcaltenco,

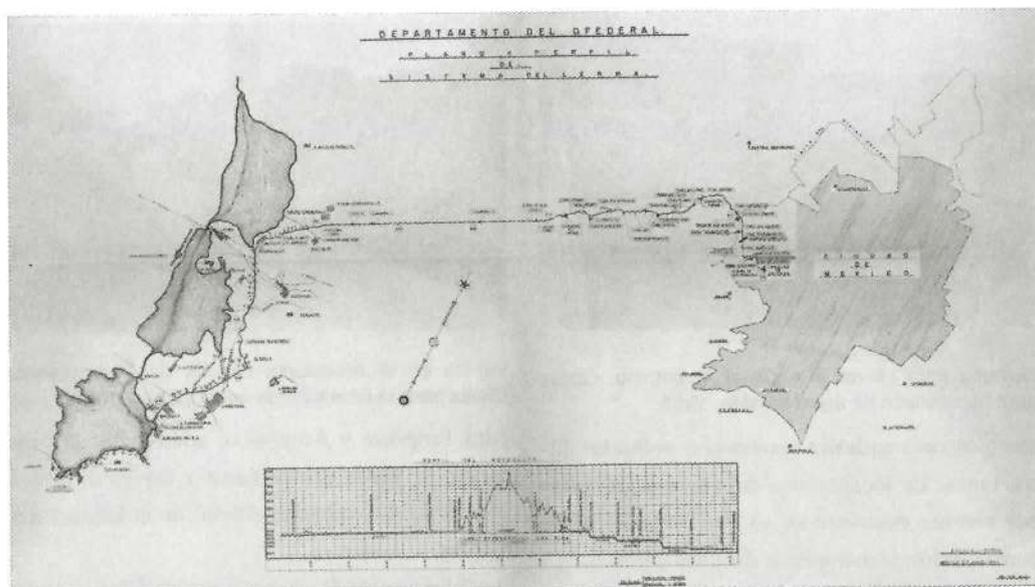


Ventila en el acueducto circular de Tlaxcaltenco. Obras para la provisión de agua potable. 1951

Alta Empresa y Ameyalco, además de la captación de aguas subterráneas a través de pozos a lo largo del margen oriental de la Laguna del Lerma.

Para captar las aguas superficiales se proyectaron galerías subterráneas que interceptaran las aguas subterráneas de los manantiales, estos canales se construyeron de concreto armado con sección rectangular, colocados a una profundidad tal que permitían recoger el agua para distribuirla a unos cárcamos donde se instalaron las bombas para elevar el agua al acueducto.

Para la captación de aguas subterráneas profundas se realizaron numerosos sondeos, que dieron como resultado un conocimiento bastante completo del subsuelo de la región. Los sondeos identificaron mantos acuíferos independientes de los que afloraban en los manantiales, lo que permitiría llegar a un caudal de 6,000 litros por segundo.



Plano 1. DDF: Plano y Perfil del Sistema del Lerma, 1951.
Fuente: Obras para la provisión de Agua Potable, 1951.

Agua de manantiales

Caudal Estimado:	Lts/seg
Almoloya	2,200
Texcaltenco	300
Alta Empresa	600
Ameyalco	60
Suma	3,160
Aguas Subterráneas profundas por medio de pozos artesianos	2,300
Filtraciones del túnel	540
Total	6,000



Almoloya del Río. Perspectiva que muestra el proyecto de las obras para la captación de agua de los manantiales a través de canales rectangulares de concreto. Obras para la provisión de agua potable, 1951.

acueducto inferior en el Valle de México y cuatro caídas de agua para la generación de energía eléctrica. Para la conducción se diseñó una sección circular y en las estructuras de los conductos se emplearon mamposterías con mortero de cemento y concreto reforzado.

El acueducto del Valle de Toluca es un acueducto con sección creciente, que recibe las captaciones durante su trayecto, quedó localizado un metro arriba de las aguas de la laguna. En el

terreno firme se construyó con mamposterías de piedra brasa con mortero de cemento con adición de tierra diatomácea y recubrimiento interior de ladrillo prensado. En la parte inestable del terreno el acueducto se apoyó sobre pilotes de madera y tubos de concreto armado. Los diámetros del acueducto van de los 2.60 m. Hasta los 3.26 m. Y tiene una longitud de 22 kilómetros. Su origen está en Almoloya y termina al pie de las estribaciones de la Sierra de las Cruces, en la Cañada de



Tramo del acueducto de concreto en el tramo de acceso al portal de entrada del Túnel de Atarasquillo-Dos Ríos.



Tramo del acueducto de concreto antes del portal de entrada del Túnel de Atarasquillo-Dos Ríos. Obras para la provisión de agua potable, 1951

Atarasquillo.

El túnel Atarasquillo- Dos Ríos comunica el Valle de Toluca y el Valle de México, atravesando la Sierra de las Cruces, este túnel fue considerado una de las cumbres de la ingeniería mexicana ya que deriva las aguas de la Vertiente del Pacífico hacia el Golfo de México (a través del desagüe de la Ciudad de México). Tiene una longitud de 14,334 m., en línea recta y posee una sección circular, está revestido de concreto y tiene una pendiente de 0.00067. El túnel, que comunica los dos valles, puede conducir un gasto de hasta 14 metros cúbicos por segundo, fue construido así en previsión de la construcción de las obras a realizar en etapas posteriores para alimentar a la Ciudad de México. El portal de entrada del túnel está en la Cañada de Atarasquillo y el de salida en la Cañada del Río Dos Ríos, que es afluente del Río Hondo.

A fines de 1941, varios trabajos estimaron que la cantidad de agua que podría fluir de manera permanente por este túnel estaría entre los 479 y los 770 litros por segundo, considerando para los cálculos 14.5 kilómetros y 2 km de ancho (1 km a cada lado del eje de este túnel, como zona de influencia), sin embargo, parece que la zona de influencia del túnel resultó mayor, ya que con las perforaciones que se realizaron para su construcción, se secó el manantial de "Nace el Agua", situado a más de dos kilómetros del eje del túnel. El gasto del túnel era en 1949 de 1,240 litros por segundo, sin embargo en ese momento

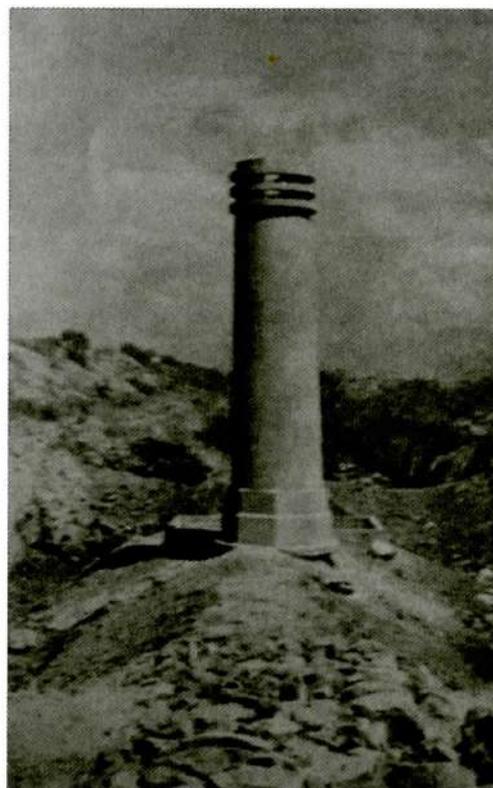
se pensaba que este gasto tendería a disminuir, por las condiciones meteorológicas y la deforestación, por lo que se tomó como gasto permanente sostenible por algunos años entre 600 y 700 litros por segundo. (Molina, 1949: 12)

El acueducto inferior del Valle de México principia en la salida del Túnel y termina en los Tanques de Dolores. Se encuentra localizado en el margen derecho de la Cañada de los Ríos "Dos Ríos" y "Río Hondo". Tiene una sección circular de 3.26 m., con una pendiente de 0.00012 y con una capacidad de conducción de 6000 litros por segundo. Está construido de mampostería con mortero de cemento y adición de tierra diatomácea, con revestimiento de ladrillos prensados y tiene una longitud de 21 km. En su trayecto tiene 13 tramos en túnel, con una longitud de 6 km, uno de los tramos atraviesa de forma subterránea la colonia de Las Lomas de Chapultepec.

Los cruzamientos en las barrancas del Conejo, Zorras, Chilpo, Lobo, Zapote y Tejocote se



Portal de entrada al túnel de Atarasquillo-Dos Ríos. Obras para la provisión de agua potable, 1951



Chimeneas de ventilación. Se construyeron cada kilómetro a lo largo del acueducto. (Fuente: Molina, 1949:13).

hicieron por medio de terraplenes, sobre los cuales se colocaron tres líneas de tuberías de acero de 1.50 metros apoyadas en silletas de concreto y de fierro estructural, provistas de juntas de expansión. Los de las barrancas de Tecamachalco, San Joaquín y Ajolotes se construyeron tres puentes canales de concreto reforzado, y en el cruce de la Barranca de Barrilaco se realizó un

punto de concreto reforzado, también con tres tuberías de acero de 1.50 metros apoyadas sobre losa de concreto, así como los de las barrancas de Dolores y Río Borracho.

Para el control de las aguas de este acueducto se construyeron vertederos con sus desfogues y en toda su extensión el acueducto está provisto de ventilas y pozos de visita.

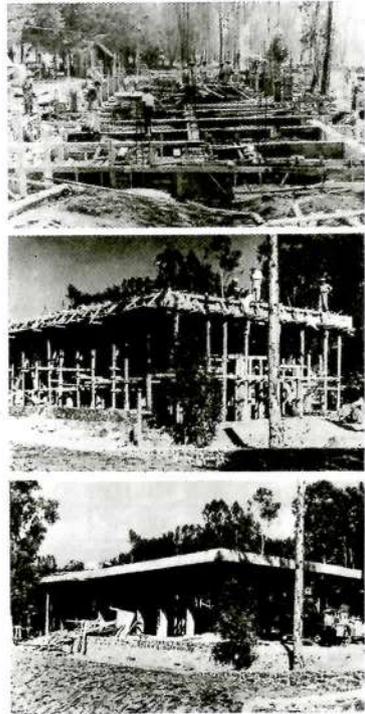
En el trayecto del acueducto inferior se realizaron cuatro caídas de agua, aprovechando el desnivel entre los valles de Toluca y México, con lo que se obtuvieron un total de 16,900 HP.

San Bartolito	5,200 HP
Río Borracho	3,100 HP
Las Palmas	6,800 HP
San Joaquín	1,800 HP
Total	16,900 HP

El costo estimado del proyecto fue de \$180,000,000.00. El costo real fue de \$211,687,737.57 Los estudios se iniciaron en 1938, se comenzó a construir en 1942 y se concluyó en

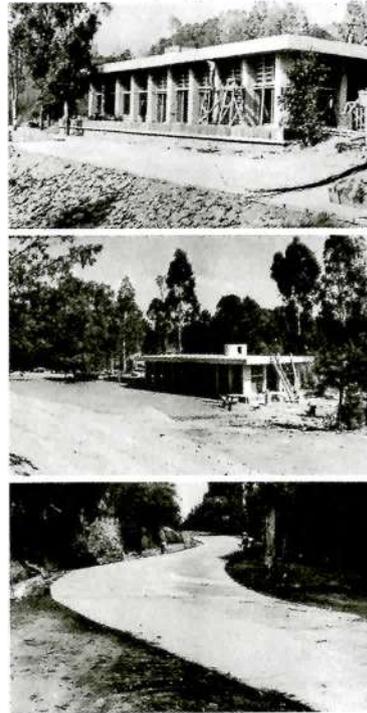


Puente de Tecamachalco. Obras para la provisión de agua potable, 1951



Construcción de la planta para la purificación del agua en el Parque Dolores, antes Paseo del Conde, Lomas de Chapultepec.

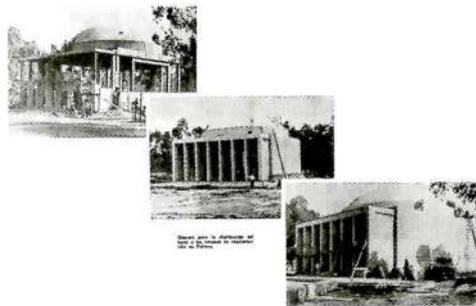
Pavimentación de concreto en el camino de acceso a la planta de purificación en el Parque Dolores.



Planta Purificadora en la Loma de Dolores. Obras para la provisión de agua potable, 1951.

1951. (Molina 1949: 14 y Obras para la Provisión, 1951:131). La proyección de población de la Ciudad de México se calculó en 3,000,000 de personas para el año 1955.

Para análisis realizados sobre el funcionamiento de la Cuenca y los recursos hídricos aprovechables, así como el estudio geológico de la zona se utilizaron estudios anteriores efectuados en la zona a partir de 1911. El último de 1944 nos presenta un panorama general que resume todos los datos obtenidos anteriormente y los nuevos



Cárcamo de Dolores. Obras para la Provisión de agua potable, 1951.



Rápido de San Joaquín.

Caída y rápido de Río San Joaquín. Obras para la provisión de agua potable, 1951

hallazgos, que permiten apreciar el estado de la Cuenca Alta del Lerma en ese año; fue realizado por el Ingeniero Vicente Gálvez.

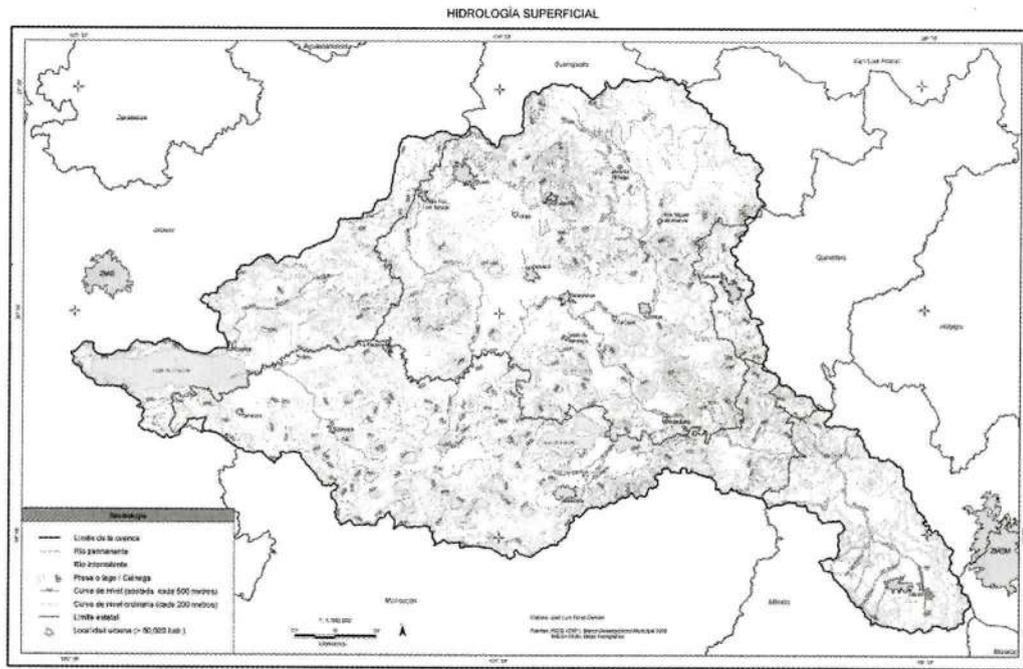
Geográficamente, la zona se encuentra rodeada de una zona montañosa, que tiene como elevaciones principales Corona, Ocoyotongo, Atlapulco, Judío, Las Palomas, Escalerillas, La Campana, San Jerónimo y San Nicolás.

En el terreno hay varias elevaciones que no alcanzan grandes alturas, situados en los flancos montañosos, muestran rasgos de ser aparatos volcánicos por donde hubo derrames basálticos,

alternando con materiales que formaron las brechas y tobas que ahí se localizan.

En el fondo de la Cuenca de Lerma se yerguen otras alturas, también de baja elevación, que interrumpen la llanura, como el Cerro de Tepozoco, Chapultepec, El Cerrito, Metepec y El Calvario.

El terreno no es suave y uniforme, pues iniciándose en la llanura con relieve poco variado a medida que asciende toma la forma de lomas y colinas de contornos suaves que terminan en superficies poco accidentadas y constituyen es-



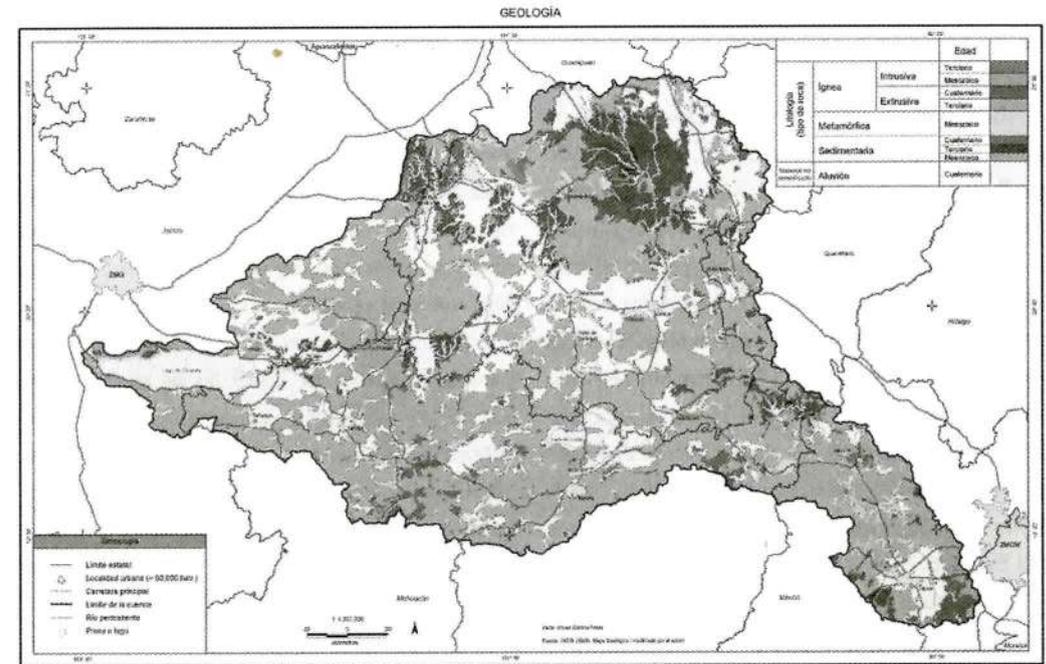
Mapa 1. Hidrología superficial de la Cuenca Lerma Chapala. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, 2006, p. 17.

calones que se suceden antes de encontrar las partes altas de la sierra como por Tlaxcoapa, Santa Fe, Mexapa y Amomolalco. Esto cambia en la zona de Texcaltenco y Pedregal de Guadalupe. De Amayalco a San Nicolás Peralta, se diluye la formación escalonaría, y se inician las pendientes que con cierta uniformidad se prolongan hacia la cima de las montañas.

Hay varias hondonadas y barrancas como la de la Lagunilla, San Lorenzo, Coatepec Capulhuac, San Miguel Almaya, Ocoyoacac y Ameyalco; manifestando algunas gran cantidad de mate-

rial basáltico, que hacen presumir que eran sitios de barrancas antiguas, que fueron rellenas por productos de las emisiones volcánicas. Esta particularidad es notable en San Lorenzo, Cerros Negro y Cuahuatl y entre San Miguel Almaya y la Hacienda Texcalpa, donde forman los pedregales de Tlaxcaltenco y Guadalupe.

La superficie de estas acumulaciones de roca ígnea es muy desigual, rugosa y llena de cavidades, disposición de gran interés bajo el punto de vista de la infiltración, pues ahí se recogen y filtran las aguas que posteriormente alimentan los



Mapa 2. Cuenca Lerma Chapala- Geología. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala. 2006, p. 10

manantiales inferiores.

La Lagunilla es una depresión ligera, al pie del Cerro Tlanquizco: no tiene ninguna salida y por lo tanto, las aguas que ahí se acumulaban formando una laguna de aguas templadas (18° C)

La Hondonada de San Lorenzo, donde concurren las barrancas de Ocotenco, Coatepec y El Padre, terminan cerca de la Laguna de Lerma, hacia los manantiales de Izcahuayoapita, Izcahuayoapa, Pretunta, Texcoapa y Tecalco. Esta depresión se extiende hasta el Pedregal de San Lorenzo, donde se sumergen las aguas acumuladas en

la temporada de lluvia.

La de San Miguel Almaya está ocupada en la parte baja por la Laguna de Almaya y un poco más arriba por la Laguna de la Victoria. La hondonada de Ocoyoacac aloja los cauces de los ríos de Ocoyoacac, Arroyo Texcalpa y parte del Río Salazar. La de Ameyalco y Atarasquillo contiene como principal el Arroyo de Alférez, donde inicia el túnel del Atarasquillo-Dos Ríos.

Varios arroyos y ríos, de los cuales algunos llegan a la Laguna del Lerma y otros no, porque se pierden en los flancos de las montañas, cons-

tuyen la red hidrográfica superficial de la zona, los principales son el Jalatlaco, Atlapulco, Ocoyoacac, Salazar, Alférez y Analco.

El Río de Atlapulco desemboca en la Laguna de Almaya, y cerca de esa laguna, en el periodo de lluvias del año 1944, se dio un contingente acuífero de 192.8 litros por segundo. El Río Salazar, afluente del de Ocoyoacac en ese mismo año presentó un gasto de 100 litros por segundo. El Arroyo Alférez, permanente antes de las obras del acueducto, dio 173 litros por segundo en 1944, encontrándose casi sin corriente por haberse agotado el manantial de "Nace el Agua" que lo abastecía. Toda la red hidrográfica es tributaria del Río Lerma o Santiago de la Vertiente del Pacífico.

La Laguna de Almaya, limitada por la texcalera de San Miguel y por los Cerros Clarín o Victoria, Las Peñas, Coyote, Apipulco, Los Cuates y Quilotzin, vierte sus aguas por un sumidero localizado en su extremidad Norte. Está alimentada, además de las precipitaciones pluviales, por el Río de Atlapulco y por tres manantiales que brotan entre los basaltos de sus márgenes.

Las aguas de esta laguna, al escapar por un canal hacia el sumidero, en 1944 dieron un gasto de 286 litros por segundo, al final de este canal se le une el Río Atlapulco, habiéndose medido el conjunto dio un total de 304 litros por segundo.

La Laguna de Victoria, situada en la misma depresión, se abastece de las aguas pluviales y

con las del manantial de Victoria.

Es importante remarcar que en el momento de inicio de las obras ya se observaban problemas de deforestación de la zona, desecamiento de las áreas pantanosas de las lagunas y se hablaba de la necesidad de revertir este proceso para garantizar un gasto adecuado de agua en el acueducto, sin embargo, en los años siguientes, este fenómeno no hizo más que agudizarse en las siguientes décadas.

Por otro lado, en las Memorias realizadas para el Congreso de 1949, ya se marcan algunas de las alteraciones importantes en los flujos subterráneos producto de las perforaciones, que afectaron las filtraciones que daban origen al Manantial de "Nace el Agua" y que tuvieron como consecuencia el desecamiento del Arroyo Alférez que en esa época ya corría solamente en época de lluvias.

Para el agua en circulación subterránea el informe maneja 8,395 litros por segundo, sin embargo, muchos de los datos refieren a las mediciones efectuadas en el área de llanura en los años 1902 a 1914, la falta de datos precisos sobre la altura de lluvia media en la llanura, la altura de lluvia media en la zona montañosa y la falta de datos permeométricos, ya que los datos de infiltración se determinaron por procedimientos indirectos, pueden haber dado lugar a estimaciones exageradas que después hicieron necesaria una disminución de la extracción de los recursos acuíferos por la afectación de la Cuenca Hídrica.

De acuerdo a la disposición de los materiales

del complejo geológico estudiado en ese momento, el modo de aflorar de las aguas subterráneas y las características de las mismas, se dedujo que las aguas de lluvia se precipitan en la superficie del terreno abrupto y escarpado, en los flancos de las sierras, y desaparecen hacia el fondo de la cuenca.

De esas aguas, una parte llega a la Laguna del Lerma, otra parte es retenida por las desigualdades del terreno y por la vegetación, y de esta última, una parte se filtra, otra se pierde por evaporación y otra es absorbida por las plantas e hidratación de rocas y tierras.

De acuerdo a lo anterior se concluyó que:

1. Las aguas que circulan por las fracturas de las andesitas se revelan en manantiales en lo general, de poco gasto
2. Las que circulan por los materiales basálticos descendiendo hasta las tobas intermedias, produciendo manantiales de corto gasto e importancia secundaria
3. Las que circulan por los rellenos en los flancos montañosos y originan manantiales, por lo general de rendimiento reducido
4. Las que circulan en los rellenos del fondo de la cuenca y producen aguas freáticas, ascendentes y artesianas.

En relación a los manantiales se examinaron 23 manantiales con una variación sobre el nivel del mar entre los 2640 y 2940 msnm, los más importantes por su rendimiento acuífero son los

de Jalatlaco, Tilalpa, Hacienda Vieja, La Cuadrilla y El Alférez (este último se seco con la perforación del túnel Atarasquillo- Dos Ríos. Pero en este año dio un gasto de 107 litros por segundo.

En las proximidades y en el fondo de la cuenca se examinaron 37 manantiales, con alturas entre los 2600 y 2630 msnm, los más importantes para el Proyecto del Lerma fueron Izcahuoapita, Izcahuoapa, Pretunta, Texcoapa, Tecalco, Texcaltenco, Amomolulco, Alta Empresa y San Miguel Ameyalco.

El gasto total aforado por los manantiales Izcahuoapita, Izcahuoapa, Pretunta, Texcoapa, Tecalco entre 1923 y 1926 fueron de 3,652 litros por segundo (Ing. Renato Zamacona). Posteriormente, el Ing. Villarello hizo un aforo de 4,148 litros por segundo. Entre 1947 y 1949, los aforos dieron un gasto de 1,410 litros por segundo. Este último dato manifiesta la importante caída de los aforos de gasto de agua en estos manantiales, producto de la insuficiente caída de agua de lluvia, que se piensa pudo ser ocasionada por los procesos de deforestación que venía sufriendo el área de la Cuenca.

Los manantiales de Texcaltenco, Amomolulco, Alta Empresa y San Miguel Ameyalco, medidos por el Ing. Zamacona y el Ing. Villarello, dieron un total de 5,291 litros por segundo. Las medidas efectuadas en 1949 arrojaron un total de 816 litros por segundo, encontrándose los manantiales de Texcaltenco prácticamente agotados.

Al terminar el estudio se manejaron las con-

clusiones siguientes:

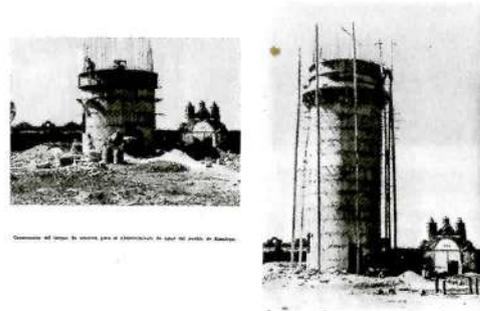
1. Se consideró aceptable el dato de 8,595 litros por segundo como agua de circulación subterránea en la parte de la Cuenca del Lerma considerada (Cuenca Alta).
2. Se aceptó un aforo para los manantiales de 2714 litros por segundo, resultando entonces un faltante de 3,286 litros por segundo para llegar a los 6,000 litros por segundo que se pensaba conducir a la Ciudad de México. Se consideró que se obtendrían 1,240 litros por segundo de filtraciones en el Túnel Atarascuillo- Dos Ríos, encontrándose un faltante de 2046 litros.
3. Este último faltante se pensó que era factible obtenerlo de ciertos manantiales de los flancos de las montañas.
4. Se determinó que era segura la influencia de las aguas de la Laguna de Amayalco en las aportaciones frente a Texcaltenco, por lo que se impuso sanear la laguna y sus alrededores.
5. Era factible hacer aflorar agua a través de pozos en el fondo de la cuenca, desde Amomulco hasta San Nicolás Peralta, para el suministro.
6. Era urgente ya en este momento emprender la reforestación del área, porque se consideraba que esto aumentaría el caudal y beneficiando la regularidad y constancia del régimen de los manantiales.

La construcción del Sistema Lerma afectó a los pobladores de diversos municipios, dentro de las negociaciones para su construcción se determinó la necesidad de realizar obras compensatorias. Estas obras contemplaron la construcción de vivienda para los pobladores desplazados, la dotación de agua potable, la construcción de escuelas industriales (industria Textil), la construcción de escuelas primarias, la construcción de baños y lavaderos e indemnizaciones monetarias.

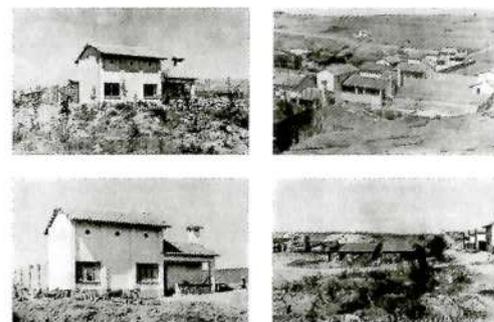
Los costos por las obras ejecutadas asociadas a la construcción del Sistema son los siguientes:

1942	\$ 21,287.24
1943	\$ 105,847.23
1944	\$ 82,415.17
1945	\$ 159,546.10
1946	\$ 100,927.35
1947	\$ 298,367.66
1948	\$1, 283, 180.88
1949	\$ 433,590.23
1950	\$1,495,562.71
1951	\$1,553,109.46
	(parcial enero-mayo)

En la construcción del Sistema Lerma puede observarse un cambio en el paradigma de desarrollo de la zona, si se estudian los documentos anteriores al proyecto, queda clara la opción por el uso agrícola para los terrenos desecados y el aprovechamiento para la obtención de energía eléctrica; en el proyecto del Lerma resulta llamativa la transformación de la visión sobre la región que se tiene en este momento y que puede



Tanque de almacenamiento para el abastecimiento del pueblo de Almoloya. Obras para la provisión de agua potable. 1951.

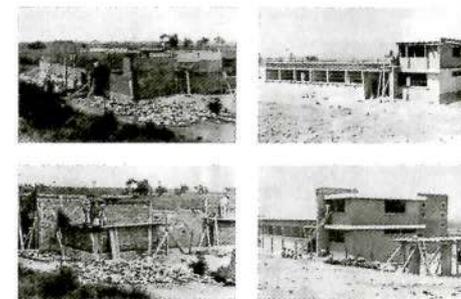


Casas construidas por el Departamento del Distrito Federal para los pobladores de Almoloya del Río afectados por las obras del Sistema Lerma. Obras para la provisión de agua potable. 1951.

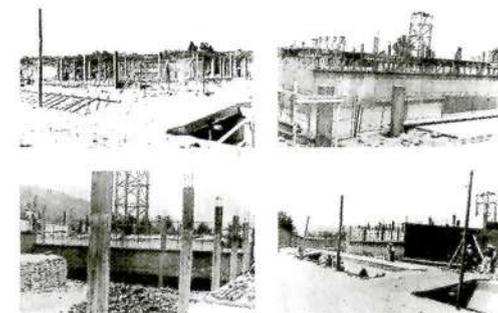
identificarse en la construcción de escuelas industriales, y de apoyo para la tecnificación de la agricultura y la ganadería que se realizaron para paliar las obras del acueducto en las poblaciones afectadas.

Impacto social y económico

La Cuenca Lerma Chapala fue histórica-

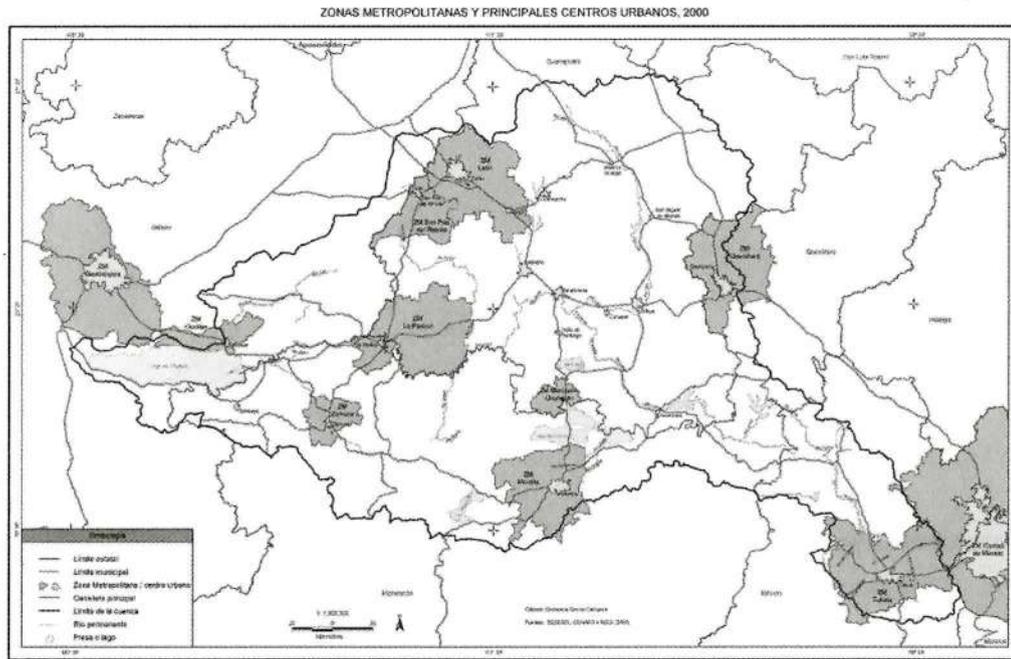


Escuela primaria en el pueblo de San José del Llani-to. Obras para la provisión de agua potable. 1951.



Escuela para la Industria Textil. San Miguel Ameyal-co. Obras para la provisión de agua potable. 1951.

mente un lugar importante de asentamientos humanos y producción agrícola, durante la época colonial sirvió como área de abastecimiento ce-realero de la región norte del país. A partir de la construcción del Sistema Lerma, la zona tuvo una fuerte transformación en el modelo de desarrollo, donde se buscó que la zona se convirtiera en un gran polo industrial y de servicios, con actividades agrícolas especializadas, que "...dio a la región un impulso económico sin precedentes, mismo que desencadenó el acelerado desarrollo



Mapa 4. Zonas metropolitanas y principales centros urbanos en la Cuenca Lerma-Chapala. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, 2006, p. 52.

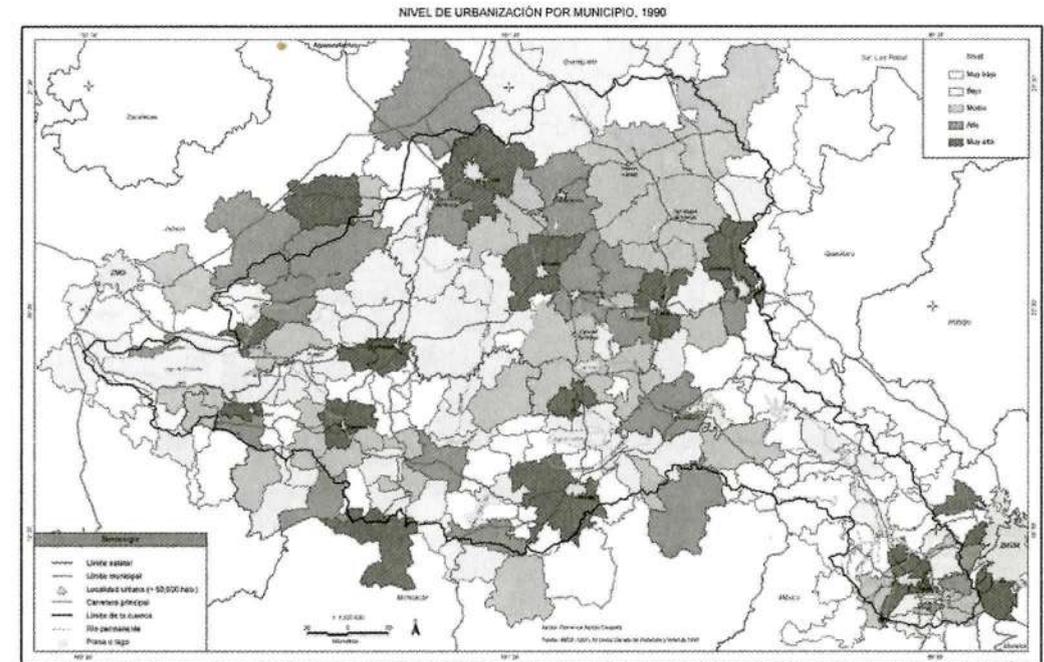
la industria química, el papel, imprenta y editorial y en menor medida la industria textil.

El impacto del Sistema Lerma sobre el ecosistema puede medirse en dos grandes líneas, la primera que es la afectación al sistema de aguas superficiales y subterráneas de la zona por la extracción y canalización del recurso, que ha tenido como consecuencia la disminución del área de las lagunas y del caudal de algunos manantiales; por otro lado, el cambio de paradigma regional y su transformación en una región urbano-industrial y de servicios con un gran crecimiento poblacional

determina un aumento constante en los requerimientos de agua potable por parte de la población y por parte de la industria.

Conclusiones

Es reconocido que el proyecto del Sistema Lerma permitió la expansión urbana en la Ciudad de México por arriba de la cota de 2,400 msnm, ya que anteriormente no se podía proporcionar el servicio de distribución de agua potable por falta de presión. La diferencia de altura entre el Valle de Toluca y el Valle de México terminó



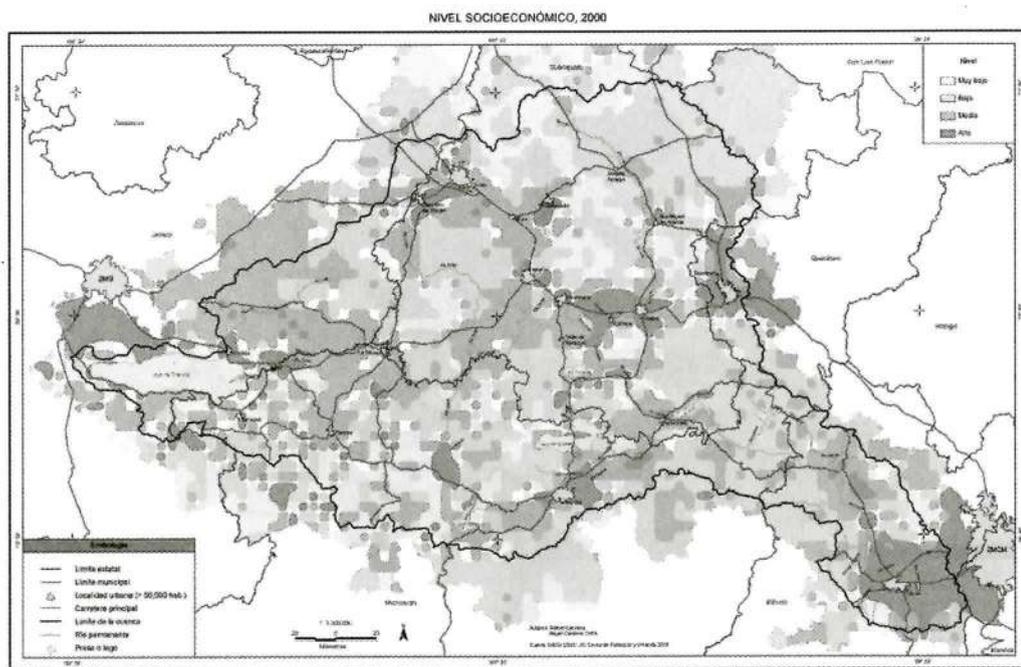
Mapa 5. Cuenca Lerma-Chapala. Nivel de Urbanización por Municipio. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, 2006, p. 50.

con esta limitación.

No es ésta sin embargo la principal aportación del Sistema al crecimiento de las ciudades de México y Toluca, lo más importante es el impulso que este acueducto dio al crecimiento económico del periodo de 1951 a 1970, basado en una expansión muy importante de la industria, apoyada, tanto en la Ciudad de México como en la Ciudad de Toluca, por este sistema de distribución de agua potable. Por otro lado, la conformación del eje industrial entre Toluca y la Ciudad

de México, tiene su origen en la potencialidad que le otorgaron a esta zona las excelentes comunicaciones y el suministro de servicios, como el agua y la electricidad.

El proyecto del Sistema Lerma se acompañó de un cambio en el modelo de desarrollo económico de la zona, que pasó a definirse como predominantemente industrial o de servicios y con actividades agrícolas especializadas con tecnología de punta. Es posible identificar esta tendencia al cambio desde el proyecto y las obras



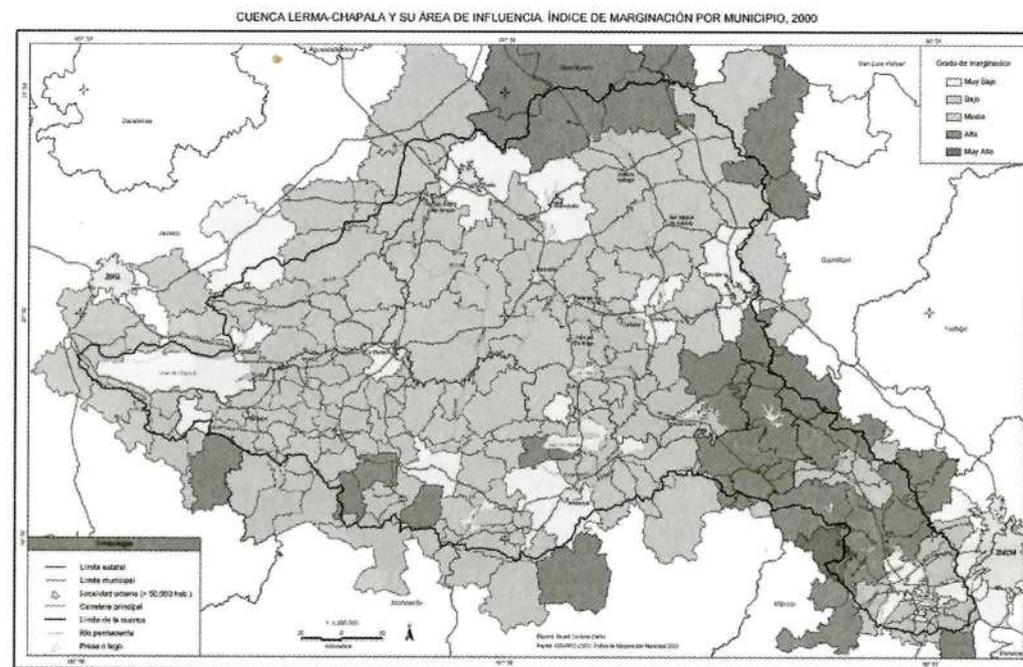
Mapa 6. Cuenca Lerma-Chapala. Nivel socioeconómico.
Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, 2006, p. 53.

de mitigación social que se realizaron, por el tipo de servicios que se implementaron, entre otros, la oferta de una educación de tipo técnico en la zona que permitiera apoyar el desarrollo de la industria textil y de las actividades agropecuarias tecnificadas.

El Sistema Lerma abasteció y abastece las áreas de mayor crecimiento industrial de este periodo y las áreas de mayor calidad de vida. Los municipios involucrados en el proyecto tienen los menores índices de marginación del Estado de México.

Este Sistema fue fundamental en el periodo de industrialización de los años cincuenta, sesenta y setenta, y este impacto modernizador se observa en los altos índices de crecimiento económico del periodo -sin ser por supuesto el único factor-, en el mejoramiento de la escolaridad, salud y crecimiento económico de los municipios involucrados, que contaron con obras de mitigación que incluyeron la construcción de escuelas, centros de salud, viviendas, etc., así como los índices respectivos de la Ciudad de México.

La construcción del Sistema del Lerma, sig-

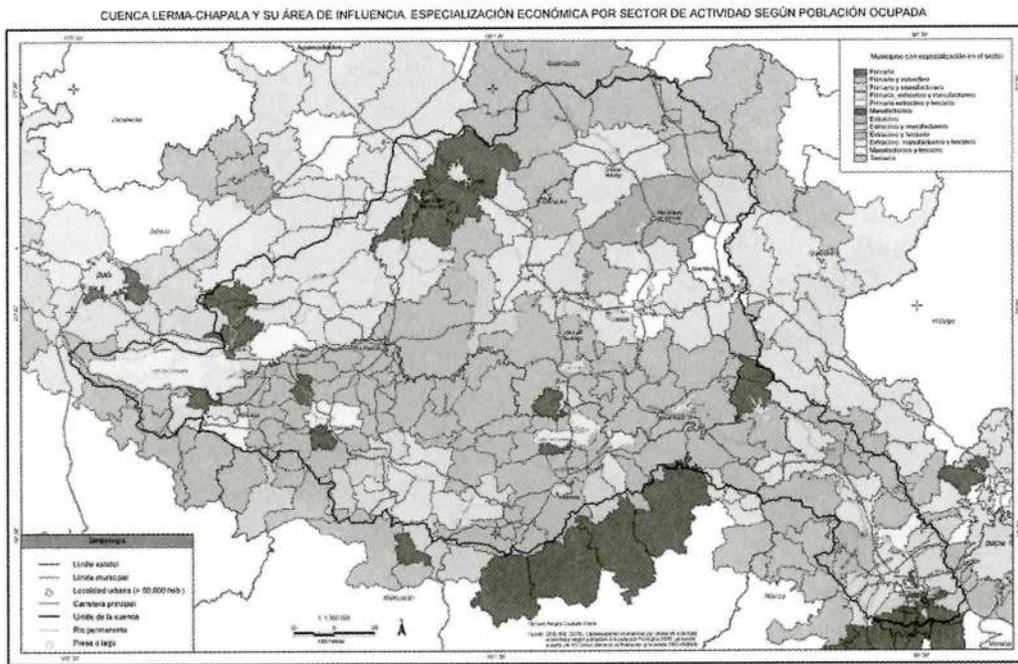


Mapa 7. Cuenca Lerma-Chapala. Índice de marginación. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, 2006, p. 54.

nificó también un quiebre en el sistema medioambiental de la zona, que, como se mencionó anteriormente, en el momento de iniciarse los trabajos ya existían fuertes indicios de afectación ecológica por la disminución de la capacidad de gasto de los manantiales, en aquel momento se determinó que la causa de esta disminución era la deforestación a que estaba sujeta la zona de estudio, este fenómeno no hizo más que agudizarse en las siguientes décadas, por lo cual el caudal dirigido a la Ciudad de México fue disminuyendo en importancia y para los años 70 fue

necesario incorporar nuevos manantiales con el proyecto Cutzamala.

Las afectaciones al equilibrio de la cuenca hidrográfica tiene varios componentes, a la extracción de agua potable superficial y subterránea se sumaron factores sociales y culturales que dieron como resultado una deforestación muy marcada en la zona, utilización de tierras pantanosas para cultivo a través de la desecación de las mismas, y posteriormente muchas de estas nuevas áreas de cultivo sufrieron un cambio en el uso del suelo para integrarse al entorno urbano a través de



Mapa 8. Cuenca Lerma-Chapala. Especialización económica por sector de actividad según población ocupada. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, año 2000, 2006, p. 60.

urbanizaciones residenciales o como soporte de la industria. La extracción de agua del subsuelo, para el Sistema Lerma y a través de pozos artesianos y otros sistemas de agua potable que sirven a las ciudades que se encuentran en la Cuenca Hidrográfica del Lerma ha provocado también severos hundimientos.

La expansión de las zonas urbanas y la industrialización provocó que el desagüe de aguas crudas sin tratamiento, tanto de las aguas residuales de carácter residencial como de las aguas industriales hayan generado un problema muy

grave de contaminación de las aguas de la Cuenca del Lerma-Santiago. Es quizá ahora, cuando el desarrollo tecnológico y la planeación pueden enfrentar de manera coordinada los aspectos negativos de la expansión urbana sobre los sistemas hidrológicos, y este es precisamente el desafío de los próximos años, generar una expansión económica y un crecimiento social disminuyendo cada vez más los impactos ambientales; es ingenuo pensar que debemos disminuir el crecimiento, ya que las necesidades sociales demandan un mejoramiento de la calidad de vida, y es este

mismo principio con el que debemos analizar la construcción de las infraestructuras a lo largo del siglo XX, sin ellas, el desarrollo de las ciudades de México y de Toluca y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes hubiera sido imposible.

Bibliografía

- Bachelard, Gaston. *El agua y los sueños. Ensayo sobre la imaginación de la materia*, FCE, Brevariarios 279, 297 p., México, 1978 (UAM-A)
- Bataillon, Claude y Riviere D'arc, Hélène. *La Ciudad de México*. SEP/Setentas, México, 1973
- Cotler Ávalos, Elena; Mazari Hiriart, Marisa; de Anda Sánchez, José, *Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala*, SEMARNAT, INE; UNAM, IE. 2006
- Camacho Pichardo, Gloria. *Agua y Liberalismo. El proyecto estatal de desecación de las lagunas del Alto Lerma, 1850-1875*. CIESAS/CONAGUA/Archivo Histórico del Agua, México, 2007.
- D.D.F., *Obras para la provisión de Agua Potable para la Ciudad de México. Sistema Lerma.*, D.D.F., México, Agosto de 1951
- D.D.F., *Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*. D.D.F., 4 vol., México, D.F., 1975
- De la Lanza Espino, Guadalupe y GARCÍA CALDERÓN, José Luis. *Lagos y presas de Méxi-*

- co. Centro de Ecología y Desarrollo, 1995
- Galindo y Villa, Jesús. *Historia Sumaria de la Ciudad de México*, Editorial Cultura, México, 1925
- García Cubas, Antonio. *Atlas Geográfico, Estadístico e Histórico de la República Mexicana*, Celanese Mexicana, 150 p., México, D.F., 1982
- INE, *Diagnóstico Bio-físico y Socio-económico de la Cuenca Lerma Chapala*, Instituto Nacional de Ecología, Dirección de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Dirección de Manejo Integral de Cuenas Hídricas, México, 2003
- Molina, Eduardo, et al. *Las Obras del Lerma*. Trabajos presentados al Primer Congreso Internacional de Ingeniería Civil, celebrado en la Ciudad de México en abril-mayo de 1949. D.D.F., México, 1949
- Musset, Alan, *El Agua en el Valle de México. Siglos XVI-XVIII*. Pórtico de la Ciudad de México. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, 245 p., 1992
- Navarrete, Sylvia. *Acueductos de México*. BANOBRAS, 143 p., México D.F., 1996
- Perló Cohen, Manuel. *El Paradigma Porfiriano. Historia del desagüe del Valle de México*, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad/Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM/ Editorial Porrúa, México, 1999
- Ramírez, José Fernando. *Memoria acerca de las obras e inundaciones en la ciudad de México*,

INAH, 254p. México, 1976

Romero Lankao, Patricia. *Impacto socioambiental, en Xochimilco y Lerma, de las obras de abastecimiento de la Ciudad de México*. UAM- Xochimilco, México, 1993.

Sarh, Agua y Sociedad: *Una Historia de las Obras Hidráulicas en México*. SARH, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. 299 p. México D.F., 1988

Tortolero Villaseñor, Alejandro. *El Agua y su Historia*. México y sus desafíos hacia el si-

glo XXI. Siglo XXI Editores, 167 p., México, 2000.

Tricart, Jean, Pro-lagos. *Los Lagos del Eje Neovolcánico de México*. Université Louis Pasteur-Strasbourg I/ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/Centre National de la Recherche Scientifique/Instituto de Geografía-UNAM, UNAM, México, 1985.