



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGON

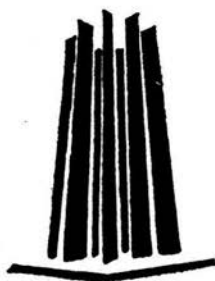
"AGUA 2004; ZONA METROPOLITANA DEL  
VALLE DE MEXICO (ZMVM)"

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
P R E S E N T A :  
**A B E L G O N Z A L E Z P E R E Z**

ASESOR: ING. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ

SAN JUAN DE ARAGON, ESTADO DE MEXICO

2004





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

ABEL GONZALEZ PEREZ  
Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"AGUA 2004; ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMM)

ASESOR: Ing. JOSÉ MARIO ÁVALOS HERNÁNDEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 26 de febrero de 2004.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaria Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR  
*Au.*



## **AGRADECIMIENTOS:**

### **A DIOS:**

Como número uno a Dios, por que por medio de El todas las cosas existen y subsisten, y no hay nada que pueda suceder si no es su voluntad. Por que me permite el existir y la gran fortuna de concretar mis objetivos. Uno de estos es poder culminar mis estudios de licenciatura y comenzar el camino en el área laboral.

### **A Mis padres:**

Por que desde pequeño me instaron, a buscar la superación por medio del estudio, no obstante las dificultades económicas, y materiales que se presentan a lo largo del camino. Sin embargo nunca escatimaron en darme su apoyo, sino por el contrario se esforzaron para poderme proveer de todo lo que yo requería, agradezco a Dios por sus vidas y por tener unas padres excepcionales, que me enseñaron y demostraron con su ejemplo que las cosas se pueden hacer. Gracias a ustedes, ahora soy lo que soy. Muchas Gracias.

### **A mi Madre:**

Abro este paréntesis, por que mi madre ha sido por siempre, mi ayuda incondicional, intercediendo por mi ante cualquier dificultad, otorgándome su apoyo de madre, como ninguna otra persona, y por lo cual le estaré eternamente agradecido, buscando poder recompensarla algún día. Gracias Mama. (Andrea Pérez Romero).

### **A Mi esposa:**

Nancy te dedico este Trabajo, por ser mi inspiración y mi motivo, para seguir adelante, gracias por ser mi ayuda, y ese ser tan especial, como lo es una esposa, gracias por darme dos hijos hermosos (Nancy y Rubén), y por soportar mi mal carácter, por dedicarme tu tiempo y compartir conmigo momentos buenos y malos. Eres mi razón de ser.

**A Mis Hijos:**

Sencillamente, por ustedes vivo. Los Amo.

**A Mis Hermanos:**

Gracias por creer en mi, y espero poder ser ejemplo para ustedes, siganle echando ganas en to lo que hagan

**Al Sistema de Aguas de la ciudad de México:**

Gracias por toda la información obtenida, por el apoyo brindado, para la realización de este trabajo.

**A la Comisión de Aguas del Estad de México:**

Por toda la información y las facilidades para al realización de este trabajo.

## Índice

### INTRODUCCIÓN

<b>CAPÍTULO I.</b>	<b>ANTECEDENTES</b> La zona metropolitana del valle de México (ZMVM)...4 Hidrogeología...7 Abatimiento del nivel freático y problemas de hundimiento...12 Balance del acuífero...15
<b>CAPÍTULO II.</b>	<b>ABASTECIMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y AGUAS DE DESECHO</b> Abastecimiento y distribución...20 Recolección y desecho de aguas residuales...32 Rechazo del agua...40
<b>CAPÍTULO III.</b>	<b>CALIDAD DEL AGUA Y PROBLEMAS DE SALUD</b> Vulnerabilidad del acuífero...48 Monitoreo y certificación sanitaria...51 Calidad de las fuentes de agua...53 Problemas de la calidad del agua en el sistema de distribución...55 Problemas de salud relacionados con el agua...60
<b>CAPÍTULO IV.</b>	<b>ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA</b> Problemas y prioridades...66 Tarifas, uso y disponibilidad en la ZMVM...67 Elementos para la administración de la demanda...75 Puesta en práctica...78
<b>CAPÍTULO V.</b>	<b>ASPECTOS INSTITUCIONALES</b> Instituciones relacionadas con la cantidad del agua...87 Instituciones relacionadas con la calidad del agua...92
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES...95</b>
	<b>REFERENCIAS...108</b>

## Introducción

La creciente urbanización es una realidad insoslayable en el mundo cambiante de hoy. En los países en desarrollo, la falta de oportunidades de trabajo en las áreas rurales, la declinación de las economías de subsistencia y la esperanza de acceder a una vida mejor han propiciado el nacimiento de las modernas megalópolis. Desafortunadamente, la infraestructura urbana, las instituciones y los recursos naturales disponibles han resultado a menudo insuficientes para responder al ritmo de expansión de los nuevos asentamientos.

**La Ciudad de México** es el centro cultural, económico e industrial de la República Mexicana. Con una población de más de 20 millones de habitantes, la cual se ha convertido en un imán de crecimiento. Desde las áreas rurales fluyen en forma constante a la región grupos migratorios conformados por personas en busca de trabajo y de los beneficios económicos que suelen generarse en los centros de poder político. Muchos de estos inmigrantes se establecen de manera ilegal en los límites urbanos, con la esperanza de que el gobierno les proporcione, eventualmente, servicios públicos.

Uno de estos es agua, un recurso vital insustituible. Su abastecimiento, localización y desecho presenta numerosos retos, los cuales deben ser enfrentados para satisfacer las crecientes demandas de estas nuevas áreas metropolitanas.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ejemplifica estos retos. La demanda de agua para los más de 20 millones de personas que habitan en el área, significan un desafío formidable para quienes tienen la responsabilidad de abastecer a esta población. Como el agua superficial en la Cuenca de México es muy escasa, la principal fuente de abastecimiento para la ciudad es el Acuífero de la Ciudad de México, localizado en el subsuelo del área metropolitana. Aunque el volumen de agua almacenada es muy grande, su calidad es susceptible de sufrir un serio deterioro, debido a la permanente actividad que tiene lugar sobre el acuífero. La falta de tratamiento a las aguas residuales y el control insuficiente de los desechos peligrosos han colocado a este acuífero y a todo el sistema de distribución de agua en riesgo de contaminación microbiológica y química. Además, el uso del acuífero se ve restringido debido a una serie de problemas relacionados con el hundimiento del suelo. En efecto, desde que se inició la explotación del agua subterránea en el siglo XIX a la fecha, el constante descenso en los niveles de agua subterránea ha provocado un hundimiento cercano a los 7.5 metros en el centro de la Ciudad de México. Este hundimiento ha aumentado la propensión natural de la ciudad a las inundaciones, al tiempo que ha dañado a la infraestructura urbana.

Los intentos de controlar las inundaciones, así como los de abastecer de agua y servicios de desagüe a la ZMVM, han puesto en marcha proyectos masivos de obras civiles, tales como la construcción del sistema de drenaje profundo y la importación de agua desde la Cuenca del Cutzamala. La actitud prevaleciente

entre la población ha sido suponer que el agua es propiedad del Estado y que, por tal razón, debe proporcionarse como parte de un derecho constitucional (aunque no está estipulado de esta forma en la Constitución) y gratuito. Tradicionalmente, los servicios de abastecimiento de agua y de drenaje han recibido importantes subsidios del gobierno federal. Como resultado, ha sido necesario enfrentar severas pérdidas financieras, así como un constante desperdicio del recurso causado por fugas de agua y un uso ineficiente. El rápido crecimiento urbano y la falta de sustentabilidad financiera han restringido la capacidad del gobierno para satisfacer la demanda de agua, ampliar el sistema de distribución a las áreas donde el servicio es deficiente, así como para proporcionar un tratamiento adecuado a las aguas residuales antes de desecharlas o reutilizarlas.

Este creciente problema ha llevado, recientemente, al desarrollo de nuevas leyes, al despliegue de nuevos esfuerzos para la conservación de los recursos acuíferos, al desarrollo de programas educativos y a la búsqueda de soluciones innovadoras, como la privatización del servicio de agua y su tratamiento. Será difícil revertir las tendencias pasadas y establecer nuevas estrategias de conservación, que incluyan la correcta medición del consumo, su cobro y el cumplimiento de los reglamentos.

Como la Ciudad de México, muchas de las principales ciudades del mundo enfrentan perspectivas inciertas para asegurarse un abastecimiento de agua permanente y confiable. La sustentabilidad del abastecimiento de agua en zonas urbanas está sujeta a muchos factores: la capacidad física del sistema hidrológico, la vulnerabilidad del sistema a la contaminación, la capacidad de tratamiento, la distribución y el desecho de aguas residuales, sin descontar los diversos aspectos sociales, económicos e institucionales que influyen en la capacidad de una sociedad para administrar sus recursos.

Desde 1988, México ha llevado a cabo grandes reformas enfocadas a la localización de nuevas fuentes de agua y al mejoramiento de los servicios de abastecimiento. En un sentido, el caso de esta zona de México plantea una situación extrema que podría presentarse en muchos otros lugares. Debido a la complejidad del problema y a su relevancia como ejemplo para otras ciudades de México y el mundo.

Esta investigación resume la mayor parte de la información obtenida durante el desarrollo del estudio; asimismo, tiene como meta difundir sus conclusiones y recomendaciones al público interesado y también para quienes se interesan en el destino del agua en regiones donde existen problemas similares a los de la Ciudad de México. Cuando se trata de problemas como la localización de recursos, la protección ambiental y la preocupación por el futuro del hombre, existe de hecho una sola comunidad, la humanidad en todo el mundo, que comparte la meta común de entregar a las futuras generaciones un planeta al menos tan saludable como cuando llegamos a él.

La información reunida en esta investigación reúne tópicos de importancia, referentes a la sustentabilidad del abasto de agua para la Ciudad de México. El capítulo 1 describe la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que es el centro de este estudio y se revisan las características hidrogeológicas de la porción sur de la Cuenca de México, lugar donde se ubica la Ciudad de México. El capítulo 2 incluye una descripción de las distintas fuentes de agua que abastecen a la Ciudad de México, las complejidades del sistema de distribución, el tratamiento del agua y el tratamiento y desecho de aguas negras. En el capítulo 3 se analiza la vulnerabilidad del acuífero, así como los problemas de la calidad del agua y sus efectos en la salud. En el capítulo 4 se habla del potencial de demanda futura, las propuestas de carácter administrativo dirigidas a alcanzar un servicio de distribución de agua más equitativo y una mayor estabilidad financiera. En el capítulo 5 se identifican los cambios recientes relativos a las políticas y la reglamentación del uso del agua; asimismo, se examinan algunos de los retos que las instituciones enfrentan para obtener un abasto de agua más efectivo y para lograr un mejor control de la calidad del agua.

Este reporte identifica aquellas áreas en las que se han alcanzado avances concretos, así como aquellas que permiten vislumbrar la oportunidad de mejorar el balance del abastecimiento, la demanda y la conservación del agua. En el capítulo 6, se recomienda atender con mayor énfasis lo relativo a la administración de la demanda de agua, a través de nuevos mecanismos de medición y recaudación, pero también de la educación orientada a la conservación y los programas de rhuído del agua. Hace falta un programa de investigación más amplio e integral para comprender mejor la conformación hidrológica regional. Es prioritario el tratamiento de las aguas negras municipales antes de ser vertidas a los sistemas de drenaje, para lo que se requiere además un vasto programa de protección del agua del subsuelo. Se proporcionan sugerencias para facilitar los cambios institucionales que permitan alentar una nueva perspectiva cultural sobre el valor del agua.

Aunque un estudio de esta naturaleza no puede identificar diseños específicos y detalles del sistema, sí plantea conceptos que deberían aumentar el interés por alcanzar un abastecimiento más sustentable para la ZMVM. Llevar a cabo sus recomendaciones será, por supuesto, muy difícil, especialmente ahí donde se requieren cambios institucionales y de políticas sociales.

Un estudio de esta naturaleza no se propone identificar proyectos específicos, los temas y las recomendaciones presentadas sólo tienen el propósito de ofrecer una guía general, mientras que los responsables de establecer y poner en práctica las políticas en torno al agua, tratan de llevar a cabo los distintos programas para administrar la cantidad y la calidad de los recursos acuíferos en la Zona Metropolitana del Valle de México.

# Capítulo Uno

# Capítulo 1

## ANTECEDENTES

*Resumen capítulo 1. Se describe la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que es el centro de este estudio y se revisan las características hidrogeológicas de la porción sur de la Cuenca de México, lugar donde se ubica la Ciudad de México.*

### **La Zona Metropolitana del Valle de México**

Por razones históricas y políticas, México es un país muy centralizado, a pesar de los esfuerzos de descentralización realizados por el gobierno en los años recientes. A causa de esto, los servicios gubernamentales y el desarrollo industrial se han concentrado en la Ciudad de México. En ella se localiza el 45 por ciento de la actividad industrial nacional y tiene lugar el 38 por ciento de su producto nacional bruto. La ciudad alberga casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes. El rápido crecimiento de los últimos 50 años se ha caracterizado tanto por la expansión de áreas urbanas y residenciales planeadas para las clases media y alta, como por las invasiones ilegales de tierra y los asentamientos no planificados en las áreas periféricas. A lo largo del tiempo, las autoridades gubernamentales han prestado atención a estos asentamientos irregulares, proporcionándoles servicios urbanos que incluyen el abastecimiento de agua, aunque dichos servicios han sido insuficientes e inadecuados la mayor parte del tiempo.

La Ciudad de México está ubicada en un valle en la porción sur de la Cuenca de México; este valle, situado aproximadamente a 2,400 metros sobre el nivel del mar (msnm), está rodeado de sierras de origen volcánico con cumbres que alcanzan alturas superiores a los 5000 metros. Sus principales jurisdicciones políticas son el Distrito Federal (que alberga la capital del país), la mayor parte del Estado de México, así como porciones más pequeñas de los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. (figura 1.1).

El área comúnmente conocida como la Ciudad de México estaba tradicionalmente asociada a la parte norte-centro del Distrito Federal. Con la



creciente urbanización ocurrida en las últimas décadas, la designación incluye un área mayor que abarca todo el Distrito Federal y la totalidad o parte de la jurisdicción de los 18 municipios del vecino Estado de México. Las divisiones políticas de los estados mexicanos se conocen como municipios; asimismo, el Distrito Federal se divide en 16 delegaciones políticas. Para el propósito de este estudio, el área metropolitana será denominada como Zona Metropolitana



Figura 1.1 La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se compone de todo el Distrito Federal (con 16 delegaciones) y la totalidad o partes de 18 municipios de Estado de México y los límites con otros estados-México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla-que el valle abarca parcialmente.

---

del Valle de México (ZMVM); así las subdivisiones políticas de ambas jurisdicciones se les denominará genéricamente "municipios". Con una superficie de 3,733 kilómetros cuadrados, la Zona Metropolitana del Valle de México es uno de los centros urbanos más grandes y de mayor crecimiento en el mundo.

Los cálculos de la población del la ZMVM son inexactos. Tenía 18.1 millones de habitantes, según el censo de 2000 (INEGI, 2000), pero hoy en día la población de la Megalópolis se calcula en 20 millones de habitantes. Se considera que la superficie urbanizada de la Zona Metropolitana del Valle de México pasó de 700 km<sup>2</sup> en 1950, a 1,000 km<sup>2</sup> en 1970 y a 1,500 km<sup>2</sup> en 1990. La presión demográfica y el desarrollo han acarreado, como es natural, dificultades para planear el aprovisionamiento de los limitados recursos de agua disponibles. Mientras que el crecimiento de la población en las porciones urbanizadas del DF ha disminuido, e incluso ha declinado a partir de los años ochenta, la inmigración a las zonas aledañas, especialmente el Estado de México, ha sido en gran medida la responsable de aumento significativo de la población y de la expansión urbana. Las distintas formas de asentamientos ilegales o irregulares ya señalado han significado una preocupación particular al planificar la explotación de los recursos acuíferos. Muchos de estos asentamientos, conocidos como "ciudades perdidas" o "colonias populares," con el tiempo se establecen de manera más o menos definitiva. Eventualmente se les proporcionan servicios públicos, aunque, como ya se ha dicho, éstos suelen permanecer incompletos durante largos periodos. Los inmigrantes más recientes ocupan a menudo las áreas más inclinadas de los terrenos altos, hecho que representará una mayor complicación a la hora de intentar establecer el suministro de agua y el servicio de alcantarillado.

La larga historia como centro urbano de la porción norte del valle (historia que se inicia con la capital azteca, Tenochtitlan, en el siglo XIV), da fe de su poder de atracción. La hidrología de esta región incluye un excelente sistema acuífero y un buen número de manantiales. Sin embargo, la especial localización física de la Ciudad de México-ubicada en un valle alto dentro de una cerrada naturalmente por montañas-representa un reto singular para el suministro de agua a una población urbana de gran magnitud. Además, la ciudad está situada en el lecho de un antiguo lago salino, sin un drenaje natural; esto, aunado a un patrón de lluvias de temporal intensas, dificulta el desagüe de las tormentas.

No existen fuentes importantes de agua superficial cercanas susceptibles de ser aprovechadas junto con la fuente local del subsuelo. Por si fuera poco, la elevación del valle provoca que la importación de agua sea una alternativa costosa. Por último, la unidad arcillosa del subsuelo bajo el área metropolitana tiende a consolidarse debido al peso de los edificios, lo cual provoca un asentamiento diferencial que, combinado con la sobreexplotación de los acuíferos subyacentes, tiene por efecto el hundimiento del suelo de la región.

### Explotación y Descripción del acuífero

La compleja geología de la Cuenca de México ha proporcionado a lo largo de la historia abundantes recursos de agua a sus habitantes a pesar de la escasez de agua superficial. En este capítulo se describen brevemente las características físicas y la hidrogeología de la cuenca, especialmente de la porción sur, donde la presencia humana ha sido un factor importante desde los tiempos de la capital azteca de Tenochtitlán. La historia de la explotación del acuífero de la Ciudad de México y los problemas de hundimiento asociados a él se examinan brevemente, asimismo se examina la disponibilidad de agua en el acuífero.

### Hidrogeología

La Cuenca del Valle de México se localiza en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano y tiene un área aproximada de 9000 kilómetros cuadrados. El valle, situado a una altitud cercana a los 2,400 metros sobre el nivel del mar, es el más alto de la región y se encuentra rodeado por montañas que alcanzan elevaciones superiores a los 5000 metros. La temperatura promedio anual es de 15 grados centígrados (alrededor de 60 grados Fahrenheit). La mayor parte de los 700 milímetros de agua de lluvia que caen anualmente en la región se concentra en unas cuantas tormentas intensas, las cuales se presentan por lo regular de junio a septiembre; durante el resto del año las precipitaciones pluviales suelen ser escasas o nulas.

Esta cuenca es una depresión cerrada de manera natural, que a fines del siglo XVIII fue modificada artificialmente para controlar las inundaciones en la ciudad. Las fuentes de recarga del agua subterránea en la cuenca se derivan, en gran medida, de las precipitaciones infiltradas y de la nieve derretida en las montañas y cerros que la rodean; este flujo se desplaza en forma de una corriente subterránea hacia las zonas menos elevadas. En su estado natural, la cuenca tenía una serie de lagos, desde los de agua dulce en el extremo

---

superior, hasta los salados del extremo más bajo, en los que se concentraba la sal debido a la evaporación. La corriente de agua subterránea originaba numerosos manantiales al pie de las montañas, así como pozos en el valle.

Geológicamente, el área sur de la Sierra Guadalupe es la porción mejor investigada de la Cuenca de México. A esta área, que abarca la Ciudad de México, suele denominársele Valle de México, o porción sur de la cuenca, ya que está parcialmente dividida por varias montañas de menor elevación. De igual manera, al sistema acuífero con frecuencia se le llama Acuífero de la Ciudad de México.

Los depósitos de arcillas lacustres superficiales (por ejemplo, la capa de arcilla existente tanto en el fondo del lago antiguo como en el del actual) cubren el 23 por ciento de las elevaciones menos pronunciadas del Valle de México. Los depósitos aparecen en formaciones divididas, por lo que se conocen como "capa dura". Compuesta principalmente de sedimentos y arena, la capa dura se localiza entre los 10 y los 40 metros de profundidad y sólo tiene unos cuantos metros de espesor. A las capas de arcillas lacustres superficiales que alcanzan una profundidad de 100 metros se les denomina acuitardo, y son considerablemente menos permeables que la capa dura o los sedimentos aluviales subyacentes. En el siglo XIX, al explotarse el agua del subsuelo por primera vez, la capa dura dio origen a los primeros pozos artesianos.

El relleno aluvial se encuentra por debajo de las arcillas lacustres y tiene un espesor de 100 a 500 metros. Este material está interestratificado con depósitos de basalto, tanto del Pleistoceno como recientes; juntos, abarcan la porción superior del acuífero principal en explotación. Otra unidad inferior del acuífero, compuesta por depósitos volcánicos estratificados que tienen de 100 a 600 metros de espesor, alcanza una profundidad que va de los 500 hasta los 1000 metros, aproximadamente. Esta unidad más profunda está limitada por un depósito de arcillas lacustres del Plioceno.

Tres principales zonas hidrológicas han sido definidas para el Valle de México: la zona lacustre (zona III), arriba descrita, el piedemonte o zona de transición (zona II) y la zona montañosa (zona I). La distribución de estas tres zonas puede inferirse al analizar el mapa de elevaciones de la figura 1.2. La zona lacustre corresponde a las elevaciones de menor altura. La región piedemonte se encuentra por lo general entre el lecho de los antiguos lagos y las montañas de mayor pendiente. Aquí, las capas de arcilla lacustre se intercalan con las de sedimento y arena; en las áreas más cercanas a la base de

las montañas, el piedemonte está compuesto en gran medida por basalto fracturado de flujos volcánicos. La formación de basalto es altamente permeable, con una buena capacidad de almacenamiento, y es considerada como el componente principal del acuífero en explotación; se encuentra expuesta cerca de la porción superior del piedemonte y se extiende por debajo de los depósitos aluviales del valle. El piedemonte, conocido también como zona de transición, es importante para la recarga natural del acuífero.



Las montañas que circundan la Cuenca de México son de origen volcánico. La Sierra Nevada se encuentra hacia el este, mientras que la Sierra de las Cruces se localiza hacia el oeste. La Sierra Chichinautzin, en el sur, forma la cadena más reciente. Su erupción ocurrió hace aproximadamente 600,000 años, bloqueando lo que antes fue un drenaje hacia el sur y cerrando definitivamente la cuenca. La Sierra Chichinautzin es la zona de recarga natural del acuífero de la ZMVM, debido a la alta permeabilidad de su roca de basalto. Los grandes manantiales de Xochimilco son un punto de descarga del flujo subterráneo; aquí se localizan algunos de los pozos más productivos del área. Debido a que toda la cuenca se encuentra rodeada por montañas, probablemente existan otras zonas de recarga del acuífero.

El modelo conceptual de la porción sur de la cuenca ha permitido identificar dos unidades permeables más profundas: un acuífero intermedio y otro profundo. Ambos están pobremente caracterizados, pero se les considera independientes del acuífero principal. El acuífero intermedio se compone de depósitos volcánicos del Mioceno. La formación subyacente de calizas del Cretácico puede también ser un acuífero. En los lugares donde la formación de calizas se encuentra expuesta  $\frac{1}{4}$  la parte exterior de la porción sur de la cuenca  $\frac{3}{4}$  es donde generalmente se efectúa la explotación de agua subterránea.

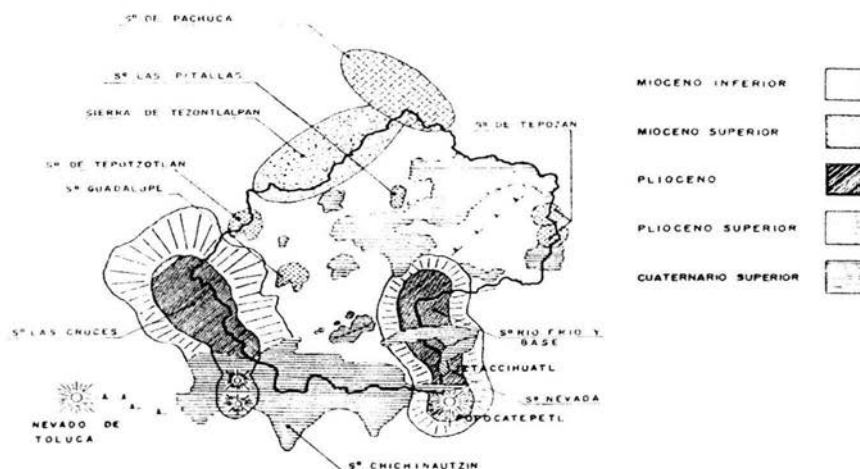


Figura 1.3 Estratigrafía esquemática de la porción sur de la Cuenca de México.



Históricamente, el principal acuífero abastecedor de agua estuvo sujeto a la presión artésiana, de manera que todos los pozos del fondo del valle llevaban el agua a la superficie sin necesidad de bombeo. Los gradientes hidráulicos naturales provocaban que el agua ascendiera sobre los acuitardos arcillosos, tal y como se muestra en la figura. La proliferación de pozos en los últimos cien años ha cambiado las condiciones hidrológicas naturales. Ahora, los gradientes y el flujo en las capas superiores de los depósitos se encuentran, generalmente revertidos, hacia las zonas de mayor extracción.

### **Abatimiento del nivel freático y problemas de hundimiento**

En sus orígenes, en el siglo XIV, la ciudad azteca de Tenochtitlan utilizaba un elaborado sistema de acueductos para llevar agua de manantial desde la parte más alta de la porción sur de la Cuenca de México hasta la ciudad situada en tierra y ganada al lago salino de Texcoco. Tras vencer a los aztecas en 1521, los españoles reconstruyeron estos acueductos y continuaron utilizando agua de manantial hasta mediados del siglo XIX. El descubrimiento en 1846 de agua potable subterránea proveniente de los pozos artesianos, provocó un furor por la perforación de pozos (Orozco y Berra, 1864). Hacia estos años, la extracción creciente de agua de pozo, combinada con los métodos artificiales de drenado del valle, provocó que muchos manantiales naturales se secaran, que los lagos menguaran y que el agua del subsuelo perdiera presión, con la subsecuente consolidación de las formaciones de arcilla lacustre sobre las que se asienta la ciudad. El consecuente hundimiento del terreno ha constituido un serio problema para la ZMVM desde principios del siglo XX. En 1953 ya se había demostrado que dicho hundimiento estaba asociado a la extracción de agua subterránea, por lo que muchos pozos del área urbana fueron clausurados.

Uno de los primeros signos de disminución en el nivel del agua subterránea fue el desecamiento de los manantiales naturales en los años treinta, hecho que coincidió con la explotación intensiva del acuífero principal por medio de pozos profundos (de 100 a 200 metros de profundidad). Aunque los niveles de agua subterránea se han medido durante décadas, estas mediciones fueron realizadas para proyectos muy específicos y, por lo tanto, no resultaron un indicador acertado del descenso que se comenta. En 1983 comenzó el muestreo sistemático de los niveles de agua en el acuífero (Lesser-Illades et al., 1990). Desde entonces, el promedio anual de descenso del agua subterránea va de 0.1 a 1.5 metros por año en las diferentes zonas de la ZMVM. Los niveles del agua durante el periodo que va de 1986 a 1992



---

muestran un descenso neto de 6 a 10 metros en las zonas más intensamente bombeadas de esta región.

Cuando el acuífero somero fue bombeado en forma extensiva, hacia 1850 y los últimos años del mismo siglo, el hundimiento del terreno ya tenía lugar. Cerca de 1895, el hundimiento había alcanzado un promedio de cinco centímetros por año.

Con el creciente bombeo efectuado en el periodo que va de 1948 a 1953, el hundimiento había llegado a los 46 centímetros por año en algunas áreas. De acuerdo con la Gerencia de Aguas del Valle de México, el hundimiento neto en los últimos cien años ha hecho descender el nivel del suelo de la ZMVM un promedio de 7.5 metros. El resultado ha sido un daño extensivo a la infraestructura de la ciudad, que abarca los cimientos de los edificios y el sistema de alcantarillado.

Por el lugar que ocupa en el fondo del valle, la Ciudad de México siempre ha estado sujeta a las inundaciones. Como se ha visto, uno de los problemas más serios causados por el hundimiento es el descenso del nivel de la Zona Metropolitana respecto al lago de Texcoco-el punto bajo natural de la porción sur de la cuenca. En 1900, el fondo del lago era 3 metros más profundo que el nivel medio del centro de la ciudad. Alrededor de 1974, el fondo del lago ya se encontraba dos metros más arriba.

Estos cambios han agravado el problema de las inundaciones y han orientado la evolución del complejo sistema de drenaje creado para controlarlas. A principios del siglo XIX, el drenaje de la ciudad era conducido mediante gravedad por el llamado Gran Canal del Desagüe, para finalmente desembocar por el túnel de Tequisquiac, al extremo norte del valle. Hacia 1950, el hundimiento de la ciudad era ya tan serio que hubieron de construirse diques para confinar la corriente de agua pluvial; asimismo, fue necesario bombear para elevar el agua del drenaje subterráneo al nivel del Canal del Desagüe.

El aumento relativo del nivel del lago continuó amenazando a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México con inundaciones, lo que llevó a la necesidad de trabajar en el sistema de drenaje profundo y en las excavaciones para hacer más hondo el lago de Texcoco.

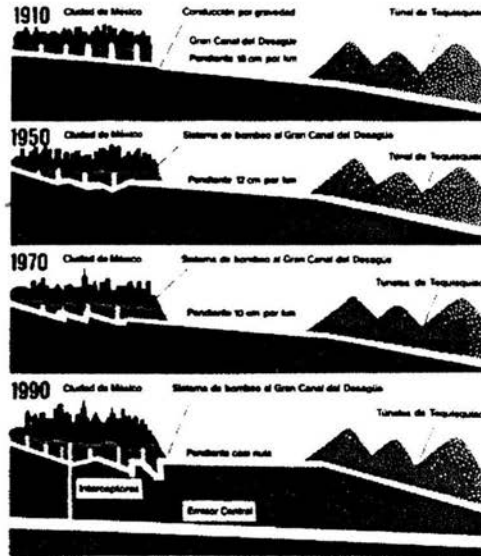


Figura 1.4 Hundimiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En esta figura se muestra el hundimiento progresivo de la ciudad en relación al Gran Canal del Desagüe. El sistema original, que funcionaba por gravedad, fue desactivado debido al fenómeno de hundimiento; alrededor de 1950 se hizo necesario instalar sistemas de bombeo para drenar el agua pluvial fuera de la ciudad. El hundimiento siguió causando problemas de inundación. En 1960, se construyó un sistema de interceptores de drenaje y recolectores profundos (Emisor Central), junto con una nueva salida artificial para la Cuenca de México. Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2004

En 1953, debido al severo hundimiento del centro de la ciudad, se clausuraron muchos pozos, al tiempo que se inició la construcción de otros nuevos en las regiones meridionales de Chalco, Tláhuac y Xochimilco. La velocidad normal de bombeo, 12.2 metros cúbicos por segundo, ha provocado en esta región hundimientos y descenso de los niveles del agua. Se han formado varios lagos en las depresiones creadas por la caída de los niveles del terreno en el área de bombeo. Al continuar los trabajos de bombeo, estos lagos continúan expandiéndose.

En 1925, Roberto Galo reportó a la Sociedad Mexicana de Ingenieros y Arquitectos que las investigaciones mostraban el paulatino hundimiento de la Ciudad de México; Gayol agregaba que la causa de esto era, posiblemente, el drenaje del subsuelo, relacionado con la entonces reciente construcción del

Gran Canal del Desagüe y del túnel de Tequizquiac. La relación entre el hundimiento y la explotación del acuífero ha sido examinada muy de cerca desde aquella época. Nabor Carrillo fue el primero en desarrollar un modelo matemático para determinar la relación entre el hundimiento y el sistema hidrológico (Carrillo, 1948). Se instalaron pozos de observación y se empezaron a desarrollar programas institucionales de investigación a través de la Comisión Hidrológica del Valle de México y sus sucesores, la Comisión de Aguas del Valle de México y la Gerencia de Aguas del Valle de México (SAHR, 1953). Hiriart y Marsal (1969) realizaron una de las primeras revisiones exhaustivas del hundimiento. Se desarrollaron modelos más avanzados para sistemas semiconfinados de agua subterránea y para el sistema multiacuífero de la porción sur de la Cuenca de México, mismos que fueron aplicados al hundimiento de la Zona Metropolitana del Valle de México (Herrera y Figueroa, 1969; Herrera, 1970), así como a otras investigaciones similares (Bredehoeft y Pinder, 1970). El Distrito Federal emplea en la actualidad versiones más recientes de dichos modelos (Herrera et al., 1989; Herrera et al., 1994), junto con una red de 320 pozos de observación para determinar los niveles del agua y la dirección del flujo. Cada dos años se realizan más de 1,400 inspecciones para medir las variaciones del hundimiento. (figura 1.6).

### **Balance del acuífero**

Es común recurrir a un balance de agua para determinar el volumen de agua disponible para ser utilizada; asimismo, cuando se considera necesario, se intenta hacer un balance de agua subterránea. En general, este balance representa un cálculo más o menos exacto, debido a que la entrada principal de agua a un depósito de agua superficial -- la precipitación pluvial -- puede medirse.

Las estimaciones del comportamiento de un sistema de agua subterránea se hacen menos precisas intervienen en debido a que todos los datos que los cálculos (propiedades de los medios, geología del subsuelo y definición de los sistemas de flujo) poseen un margen de error inherente que los hace inciertos. Finalmente, casi todos los sistemas de agua subterránea responden a las presiones con mucha mayor lentitud que los sistemas de agua superficial, de modo que los balances de agua no se emplean muy a menudo, excepto para consideraciones a largo plazo. Otra complicación consiste en que el balance de agua para el acuífero puede ser del todo distinto al correspondiente al sistema

---

de agua subterránea en su conjunto; gran parte del agua que ingresa al agua subterránea puede no llegar al acuífero principal en cuestión.

Por mucho, la mejor manera para determinar el balance del agua de un acuífero, es utilizar registros para el largo plazo de bombeo y de niveles de agua subterránea. Los descensos en los niveles de agua demuestran que el volumen de agua que está saliendo del sistema es mayor que el que ingresa, lo que indica un estado de sobreexplotación. Los acuíferos menos explotados permanecen en un estado de *quasi-equilibrium*. En tales casos, pueden esperarse fluctuaciones cíclicas o estacionales, pero a falta de grandes variaciones climáticas los niveles de agua a largo plazo permanecen estables en condiciones naturales.

Mediciones de campo han probado que el nivel freático de la porción superior del acuífero principal que abastece a la Ciudad de México ha descendido, aproximadamente, un metro por año (Herrera et al., 1994); según estos cálculos la sobreexplotación del acuífero está ocurriendo desde principios de este siglo, por lo menos. Cuánto tiempo podría durar esta clase de explotación es una pregunta que ha sido puesta a debate.

Los mejores cálculos acerca de la cantidad de agua subterránea almacenada provienen de investigaciones realizadas en la porción sur de la Cuenca de México (generalmente en la Sierra de Guadalupe), donde se han efectuado numerosos estudios geológicos. Al estimar el volumen de agua subterránea almacenada, es importante considerar las contribuciones de la capa de arcilla superior, así como el hecho de que esta capa (el acuitardo) no actúa como una capa confinante en un 30 por ciento de su extensión, ahí donde los niveles del agua han descendido por abajo del límite de esta capa. Sobre la base de las mediciones de campo y los modelos de esta región, el total del volumen saturado del acuífero en la parte sur de la cuenca ha sido estimado en 1,189.3 billones de metros cúbicos. La explotación anual en esta región se estima de 27.9 mcs. Esta cifra de extracción equivale a una pérdida de agua subterránea que oscila entre 3.45 y 5.59 billones de metros cúbicos anuales. La diferencia estriba en que los cálculos consideren, o no, que el agua que se queda en el acuitardo contribuye al volumen de agua del acuífero principal. A esta velocidad de extracción, el volumen calculado de almacenamiento es de 212 a 344 veces el volumen de explotación anual.

Aunque esta clase de balance de agua se usa comúnmente para calcular las variaciones en los volúmenes de agua subterránea, no representa una base

---

confiable para desarrollar cifras de extracción a largo plazo. En la Zona Metropolitana del Valle de México, el hundimiento es el castigo a la sobreexplotación. (Figura 1.5) El daño que esto representa para el sistema de drenaje y otras obras públicas ha sido señalado con anterioridad. Además, como se describirá de manera amplia en el capítulo 3, el acuífero es vulnerable a la contaminación que acompaña la consolidación, desecación y fracturamiento de las capas de arcilla del acuitardo. Una aproximación simple a través de un balance de agua no aporta información adicional. El volumen real disponible en el acuífero principal sería de igual manera menor al estimado, debido a la probable disminución de la porosidad con respecto a la profundidad. También hay límites prácticos y económicos para el bombeo a profundidad. Por último, las pruebas realizadas a los pozos profundos explorados por PEMEX a fines de los ochenta indican la probabilidad de que existan problemas de calidad en el agua geológicamente inducida, debido a la profundidad, cada vez mayor, de los acuíferos.

Para obtener información más precisa acerca de la sustentabilidad de la extracción continua en el acuífero, se requerirían estudios específicos que incluyan observaciones de campo y el uso de modelos.

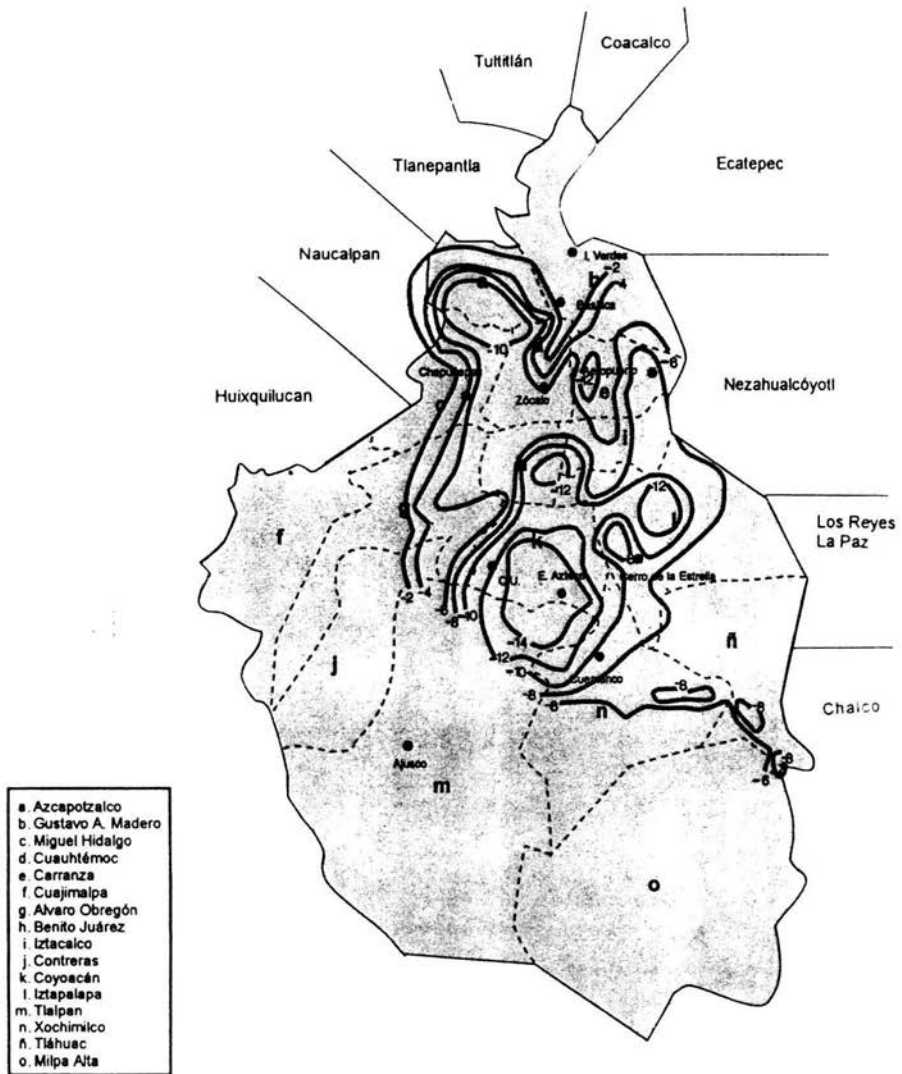


Figura 1.5 Abatimiento de los niveles de agua subterránea en el periodo 1986-1994. (Nota: los valores de las curvas están indicados en metros).

# Capítulo Dos

## Capítulo 2

### ABASTECIMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y AGUAS DE DESECHO

*Resumen Capítulo 2. Se incluye una descripción de las distintas fuentes de agua que abastecen a la Ciudad de México, las complejidades del sistema de distribución, el tratamiento del agua y el tratamiento y desecho de aguas negras.*

#### **Abastecimiento y distribución**

La administración de los recursos hidráulicos subterráneos de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es un problema vasto y complejo; integrar los conocimientos adquiridos con el tiempo acerca de estos recursos a la información institucional no es tarea fácil para ninguna ciudad de gran magnitud. En este capítulo se presenta una serie de datos sobre variados asuntos relativos al tema: los volúmenes de agua derivados de fuentes diversas, el tratamiento y distribución del agua, el tratamiento de aguas residuales, los sistemas de drenaje y el reciclaje de agua. De algún modo este esfuerzo representa un logro singular: el de ofrecer por primera vez, una información tan variada sobre los recursos hídricos de la ZMVM.

Las distintas dependencias para la administración de agua del Distrito Federal y el Estado de México se han encargado, por lo general, de conservar los datos obtenidos para la operación, mantenimiento y planeación de sus respectivas áreas de servicio. Esta información no siempre se encuentra en los documentos que estas instancias generan y que se ponen a disposición del público.

Con el propósito de mostrar un panorama global del sistema de abastecimiento de agua para toda el área metropolitana, en este estudio se ha recabado información de primer nivel sobre el tema. Los datos cuantitativos que aquí se exponen relativos al abastecimiento, distribución y aguas residuales pueden parecer, en algunos aspectos, incompletos o imprecisos; sin embargo, muestran el cuadro actual de la administración de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Los recientes ajustes institucionales que



se han llevado a cabo en México exigen hoy una aproximación cada vez más integral al problema de la administración de los recursos hídricos de la cuenca.

### Características de las Áreas de Servicio

La administración de los servicios de agua y de desagüe en la ZMVM corresponde, en forma dividida, al Distrito Federal y al Estado de México: dentro de sus respectivos límites jurisdiccionales, cada entidad es responsable del abastecimiento de agua potable, así como de recolectar y disponer de las aguas residuales. Por su parte, la Comisión Nacional del Agua tiene la responsabilidad de llevar el agua en bloque a las áreas de servicio, operar la mayoría de los pozos profundos de abastecimiento y organizar aquellos aspectos relativos a los trabajos hidráulicos que tengan por objeto conducir el agua desde las cuencas vecinas. La tabla 2.1 muestra algunos de los usos característicos del agua en la ZMVM.

El Distrito Federal tiene una extensión cercana a los 1,504 kilómetros cuadrados. Mientras que el distrito entero se considera parte de la ZMVM, un área menor-aproximadamente 667 kilómetros cuadrados-recibe servicio del sistema de distribución de agua y del sistema de recolección de aguas residuales. Aunque el Gobierno del Distrito Federal es responsable de abastecer de agua potable, recolectar las aguas residuales y disponer de ellas en toda su jurisdicción, la parte sur del DF está poblada de manera dispersa y el abastecimiento de agua para esta área no está integrado al sistema de distribución. Muchos de los habitantes de esta porción del DF dependen de camiones tanque que transportan el agua para luego repartirla (pipas de agua), o bien de la que puedan obtener de los pozos y manantiales locales. Una parte de esta zona no cuenta con sistema de drenaje. Las autoridades han tratado de restringir aquí la urbanización debido a las dificultades que existen para llevar los servicios básicos, pero también porque se trata de una zona natural de recarga del agua subterránea.

De acuerdo con la Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM), la zona metropolitana se extiende al este, norte y oeste del Distrito Federal, en 18 municipios del Estado de México, con un área total de 2,269 kilómetros cuadrados. Al igual que en el DF, un área más pequeña- aproximadamente 620 kilómetros cuadrados recibe el servicio de distribución de agua y de los sistemas de drenaje. Juntas, las dos áreas metropolitanas de servicio equivalen a 1,287 kilómetros.

Según el censo de 2000, el 94.5 por ciento de los 18.1 millones de habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México reciben el servicio a través de redes de distribución conectadas directamente a las casas, o bien a una toma común de distribución en el vecindario (INEGI, 2000). En el Distrito Federal hay un nivel de servicio de abastecimiento más alto (97.6 por ciento) que en el Estado de México (90.7 por ciento). El resto de los residentes tiene que obtener el agua de las pipas suministradas por el gobierno, o comprarla a camiones con tanques propiedad de empresas privadas que la venden a un precio relativamente alto. Los valores promedio de uso per cápita reportados para el Distrito Federal y el Estado de México son de 364 y 230 litros diarios, respectivamente. Las autoridades atribuyen el hecho de que el uso per cápita sea superior en el Distrito Federal a su mayor desarrollo y actividad industrial. Adicionalmente, en el Estado de México hay muchos pozos industriales privados cuya existencia no se refleja en los cálculos. El consumo per cápita no es excesivo cuando se compara con el de los Estados Unidos que varía de 250 a 1,120 litros por día, con un promedio diario de 660 litros.

Tabla 2.1 Características de la Zona Metropolitana del Valle de México y del servicio y consumo de agua en el Distrito Federal y en la zona conurbada del Estado de México.

	Distrito Federal	Estado de México
Área total de la ZMVM (kilómetros cuadrados)	1,504	2,269
Área servida por los sistemas de distribución de agua y drenaje (kilómetros cuadrados)	667	620
Población de la ZMVM (millones)	8,605,239	13,096,686
Consumo diario de agua per cápita (litros)	364	230
	<b>Consumo de agua por rubro (porcentaje)</b>	
Domestico	67	80
Industrial	17	17
Servicios Urbanos y Comerciales	16	3

Fuentes: Gobierno del Distrito Federal, 2003; Comisión de Aguas del estado de México 2004; INEGI - XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

Un aspecto importante del servicio de agua es el monto no registrado de pérdidas debidas a fugas en el sistema de distribución. En los Estados Unidos, se utiliza a menudo el 15 por ciento para estimar empíricamente estas pérdidas, a falta de datos precisos. Un análisis realizado por Boland (1983),

basado en informes de 1981 recolectados por la American Water Works Association, indicaba que por cada 120 compañías de suministro de agua en los Estados Unidos, las pérdidas fluctuaban entre 0.00 y 0.55, con un promedio simple (no ponderado) de 0.12. El estimado de 15 por ciento de pérdidas ha sido empleado por la Comisión Nacional del Agua en México, para fines de planeación; sin embargo, esta misma Comisión, acepta que las pérdidas de agua por filtraciones en la ZMVM fluctúan de manera muy amplia y que éstas podrían llegar a ser del 40 por ciento en algunas porciones del área de servicio. Las pérdidas por fugas en el sistema de distribución y las acciones para corregirlas se discuten en el capítulo 4.

### Fuentes de Agua

Actualmente, el uso de agua en la ZMVM es de aproximadamente 60 metros cúbicos por segundo (mcs) (Gobierno del Distrito Federal; Comisión de Aguas del Estado de México). Aproximadamente 43 mcs, casi el 72 por ciento del agua utilizada, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México (Tabla 2.2). En conjunto, el Distrito Federal y el Estado de México tienen 1,089 pozos registrados, a profundidades que van de 70 a 200 metros. Esta cifra no incluye los pozos de mayor profundidad, operados por la Comisión Nacional del Agua. Existe también un gran número de pozos no registrados, muchos de los cuales se encuentran en el Estado de México. Los pozos se localizan por lo general en cuatro campos diferentes, ubicados en el interior y en los alrededores de la ZMVM. Se les conoce como campos de pozos del Sur (Xochimilco), Metropolitano, Este ( región de Texcoco) y Norte. Se han reportado tasas de extracción ligeramente mayores (45 mcs). Fuentes de abastecimiento de agua relativamente menores, pero importantes a nivel local, se derivan de las aguas superficiales de la cuenca, en gran medida represas de pequeños ríos y manantiales superficiales. El agua traída de las cuencas del Cutzamala y el Lerma ( Figura 2.1) contribuye con alrededor de un 26 por ciento al abastecimiento total. Las cantidades que aporta cada una de las fuentes de agua se muestran en la Tabla 2.2 y se comentan al calce. Excepto en el caso del río Magdalena y la presa Madin, las mismas fuentes de agua en bloque dan servicio a las áreas metropolitanas del Distrito Federal y el Estado de México (Gobierno del Distrito Federal; Comisión de Aguas del Estado de México).

El agua superficial de la Cuenca del Valle de México contribuye sólo con alrededor del 2 por ciento (1.4 mcs) al abastecimiento de agua de la ZMVM. El río Magdalena proporciona el agua para el Distrito Federal, mientras que la

presa Madín, en el río Tlalnepantla, abastece al Estado de México. Cuando se encuentran disponibles, se emplean los pequeños arroyos y manantiales naturales, fuentes que también ingresan directamente al sistema de distribución.

Hacia la década de los años treinta, el continuo hundimiento del suelo, junto con la toma de conciencia de que las reservas de agua subterránea de la Cuenca de México comenzaban a agotarse, urgieron a las autoridades a explorar fuentes de agua fuera de esta región. En 1941 se inició la construcción de un acueducto de 15 kilómetros, para trasladar agua desde los pozos de la cuenca del río Lerma, sobre la línea divisoria con la Sierra de las Cruces. Sin duda alguna una de las cuencas más ricas y amplias. Su cauce principal nace en Almoloya del Río en el Estado de México y culmina 515 kilómetros adelante, después de cruzar los estados de México, Michoacán, Guanajuato, y parte de Jalisco en el Lago de Chapala. Pero el traer el agua a una ciudad ubicada a 2,200 metros sobre el nivel del mar y encerrada con una muralla natural, tampoco resultaba algo sencillo.

Sin embargo después de 10 años de construcción, en 1951 se inauguró la obra que consta de un acueducto casi siempre subterráneo con 62 kilómetros de largo y dos metros de diámetro que dota a la ciudad de cinco metros cúbicos de agua por segundo. Pero esta gran obra no fue suficiente y la perforación de pozos se intensificó nuevamente.

En 1970 la Ciudad de México era ya una megalópolis de 640 kilómetros cuadrados y en ella vivían 10 millones de personas, para entonces ya se habían consolidado en su alrededor nuevos municipios de inmensas proporciones como Naucalpan, Ecatepec, Tlalnepantla, Huixquilucan, Nezahualcóyotl y Chimalhuacán, lo que trajo como consecuencia menores extensiones naturales para la recarga del acuífero y lógicamente una mayor demanda de agua potable.

Todas las fuentes acuíferas juntas eran ya insuficientes y eso llevó a tomar una vez más la decisión de traer el agua de sitios lejanos y con ello surgió la alternativa de la cuenca del Río Cutzamala, la cual se encuentra entre las sierras de Michoacán y la costa de Guerrero.

En 1982, se dio comienzo al proyecto Cutzamala, para repartir agua superficial desde la cuenca del río del mismo nombre, a una distancia de 127 kilómetros y con una elevación neta de 1,200 metros. Esta fue una obra ambiciosa, compleja y muy costosa que consta de un conjunto de presas llamadas: Villa

Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo y Colorines, que proporcionan una red de 350 kilómetros de acueductos de concreto de tres metros de diámetro que recorren 260 kilómetros de distancia entre la cuenca y la capital.

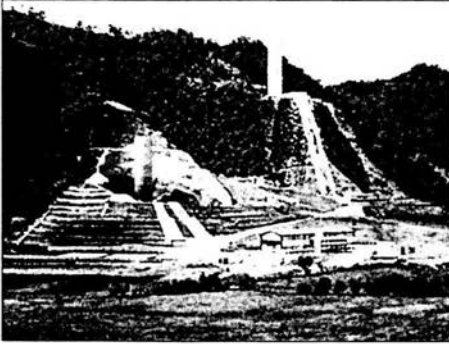


Fig. 2.1.a

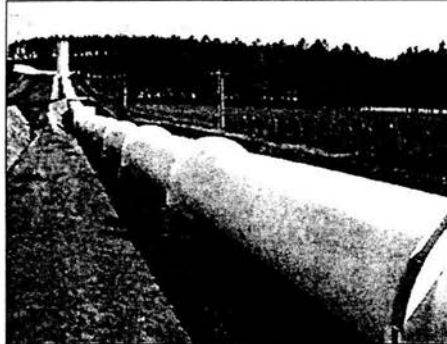


Fig. 2.1.b

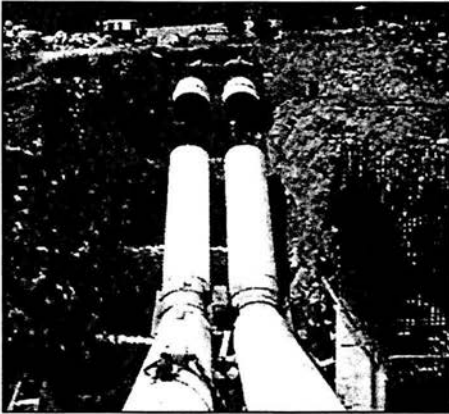


Fig. 2.1.c



Fig. 2.1.d

Figura 2.1 a) El sistema Lerma Cutzamala, b) Línea de conducción del sistema Cutzamala, c) Construcción del sifón Magdalena, d) Planta potabilizadora Berros

Para bombear esta agua desde su origen se utiliza la energía eléctrica como para iluminar cada día la ciudad de Puebla con sus más de 4 millones y medio de habitantes. En su trayecto existen plantas de bombeo para elevarla en donde sea necesario, casi al final el agua llega a la planta potabilizadora de Berros a 2,700 metros sobre el nivel del mar en donde se recibe y purifica el caudal antes de integrarse al sistema de distribución de la ZMVM y se manda por gravedad a Huixquilucan a través de dos tubos de concreto y un gran túnel, para posteriormente llegar a los tanques de almacenamiento. Otro

acueducto abastece al Estado de México con 1.0 mcs de agua subterránea, también obtenida de la cuenca del Lerma. El sistema Lerma-Cutzamala acarrea 10.6 mcs de agua desde el río Cutzamala.

En la actualidad, el proyecto Lerma-Cutzamala es un sistema combinado para trasladar agua tanto del río Cutzamala como de la cuenca del río Lerma; este sistema contribuye con un 26 por ciento al total de agua proporcionada a la ZMVM.

Tabla 2.2 Origen y cantidad del agua en bloque proporcionada a las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México. Todos los valores están en metros cúbicos por segundo (mcs).

<b>Cuenca del Valle de México</b>			
Fuentes de agua en bloque	Distrito Federal	Estado de Mexico	Total
campos de pozos	22.7	20.3	43
Río Magdalena	0.2	0.0	0.2
Presa Madin	0.0	0.5	0.5
manantiales y arroyos	0.5	0.2	0.7
<b>Fuentes importadas</b>			
Río Cutzamala	7.6	3.0	10.6
campos de pozos del Lerma	4.3	1.0	5.3
abastecimiento total	35.3	25.0	60.3

Fuentes: Departamento del Distrito Federal; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento.

El gobierno federal ha identificado otras fuentes de agua en las cuencas vecinas para su potencial contribución al abastecimiento de agua de la ZMVM. Según la Comisión Nacional del Agua, la cantidad de agua potencialmente disponible de estas cuencas suma 43.7 mcs, cifra que iguala el total de extracción del acuífero. En la actualidad, el gobierno planea traer 5 mcs de agua desde la cuenca del Temascaltepec; además, está considerando la posibilidad de acarrear 14.2 mcs desde la cuenca del Amacuzac. (Ver Figura 2.3)



Figura 2.3 Probables fuentes externas de abastecimiento al D.F. (Círculos concéntricos con radios a cada 50 Km.).

### Tratamiento del Agua

Dos plantas para tratamiento de agua procesan las fuentes de agua superficial en la Cuenca de México antes de enviarla a la ZMVM. En el Distrito Federal opera la planta del Río Magdalena, la cual aplica un proceso a base alum coagulación/floculación, sedimentación por gravedad, filtración de arenas rápidas y desinfección con cloro. La Comisión Nacional del Agua opera una planta de aguas superficiales en la presa Madin, que abastece al área de servicio del Estado de México y emplea un proceso de tratamiento similar al de la planta Magdalena.

La Comisión Nacional del Agua se encarga de dar tratamiento al agua importada del río Cutzamala en la planta llamada Los Berros. Éste consiste en precloración, alum coagulación/floculación, sedimentación por gravedad y



filtración de arenas rápidas. Por lo general, dicha planta trata 10.6 mcs de agua (como se muestra en la Tabla 2.2), es decir que de algún modo opera por encima de su capacidad (10 mcs). Los tratamientos se efectúan cerca de la fuente de extracción, antes de que el agua penetre al sistema Lerma-Cutzamala para ser transportada a la ZMVM.

El tratamiento de las fuentes de agua subterránea consiste en aplicarles el procedimiento de cloración para obtener un valor de cloro residual total de 2.0 miligramos/litro, antes de que ingresen al sistema de distribución. De manera adicional, existen 326 estaciones de rechloración a lo largo del sistema de distribución, que tienen por objeto mantener el cloro residual a nivel conveniente. El Distrito Federal posee tres plantas de tratamiento, diseñadas originalmente para influir en los niveles de tratamiento avanzado del agua subterránea, incluyendo la extracción de gases disueltos, coloración, turbidez, hierro, reducción de la dureza, filtración y cloración. Estas antiguas plantas se encuentran en malas condiciones y de acuerdo con El sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), ahora sólo aplican la desinfección con cloro. Sin embargo, existen otras plantas piloto que realizan tratamientos avanzados de agua subterránea, en forma experimental.

### El Sistema de Distribución de Agua

El área de servicio del Distrito Federal abarca 514 kilómetros de acueductos y líneas de conducción hacia 297 tanques de almacenamiento, para posteriormente hacerla llegar a las tomas de los usuarios a través de 910 kilómetros de red primaria y 11,900 kilómetros de redes de distribución. Cabe destacar que del total de las tomas el 98 por ciento son domiciliarias y sólo el dos por ciento es distribuida por medio de carros cisterna dentro del Distrito Federal. (SACMEX 2004)

El Distrito Federal construye en la actualidad una línea de transmisión de agua (el Acueducto Periférico o Acuaférico), destinada a transportar agua desde el sistema Cutzamala-que entra al sistema de distribución por el oeste-a las porciones sur y este del DF, solo que debido a recortes presupuestales ocurridos en los últimos años esta obra ha quedado inconclusa.(Fig. 2.4)

En virtud de la construcción y operación de las primeras tres etapas del Acueducto Perimetral, que está localizado al poniente de la ciudad y consta de un túnel de cuatro metros de diámetro y 20.906 kilómetros de longitud en operación, comprendidos entre el Portal San José en la Delegación



Cuajimalpa, y el tanque La Primavera en la Delegación Tlalpan, se distribuye el caudal a las comunidades lejanas y a un bajo costo, puesto que éste funciona por medio de la gravedad. (Fig. 2.6)

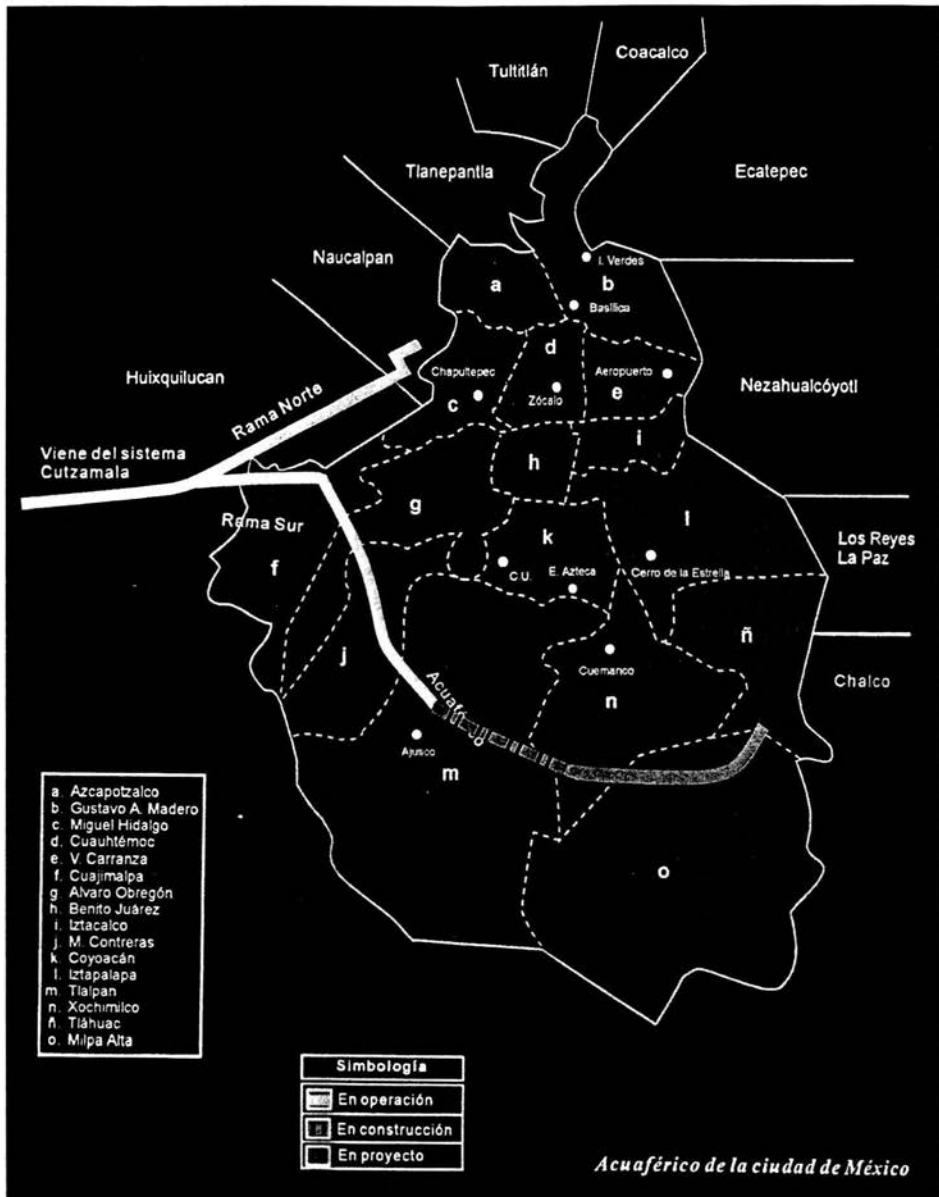


Figura 2.3 Acuífero de la Ciudad de México.



Figura 2.5 Acuaferico de la Ciudad de México.

El sistema del Estado de México tiene aproximadamente 800 kilómetros de líneas de distribución y 32 tanques de almacenamiento, con una capacidad de 440,000 metros cúbicos. El Estado de México opera una línea de transmisión de agua de 49 kilómetros (el Macrocircuito) para transportar el agua que ingresa por la parte oeste del área de servicio (incluyendo el agua importada desde el sistema Lerma-Cutzamala) a la parte este de la zona. En la actualidad, la infraestructura disponible (primera línea Dos Ríos –Cerro Gordo) permite alimentar a diversos tanques maestros de los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán y Coacalco, con lo cual sólo se benefician a los municipios conurbados de la zona poniente. El caudal actual aprovechado mediante las obras del sistema Cutzamala son  $5.51 \text{ m}^3/\text{s}$ , incluyendo 848 lps que se quedan en el Valle de Toluca.(CAEM; 2004).

Actualmente la federación construye la segunda línea del Macrocircuito en el tramo de Toma IV al Tanque Bellavista (Naucalpan) con un tramo de 5.6 km. Falta la construcción de 60 m para que entre en operación. Asimismo, la CNA ha autorizado recursos por 56 millones de pesos para continuar la construcción

de esta línea hasta el Tanque Providencia que se encuentra en Cuautitlán Izcalli.

Al finalizar estas obras, se programará la construcción de la primera línea del tanque Coacalco para alimentar al tanque La Caldera (25,000 m<sup>3</sup>) en el municipio de La Paz, dando servicio en ruta al tanque Las Palomas (11,000 m<sup>3</sup>) del municipio Chimalhuacán y una derivación hacia el tanque Xico en proyecto (20,000 m<sup>3</sup>) que se localizará en el municipio del Valle de Chalco Solidaridad. (Comisión de Aguas del Estado de México 2004; Programa Hidráulico Integral del Estado de México, (PHIEM; 2002 -2025).

Como ya se dijo y se mostró en la Tabla 2.2, las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México comparten el agua de todas las fuentes, excepto la del río Magdalena (que surte sólo al Distrito Federal) y la de la presa Madin (que sólo surte al Estado de México). Las áreas de servicio de agua del Distrito Federal y del Estado de México dentro de la ZMVM están divididas en cinco distritos cada una; el agua entra al sistema de distribución por "puntos de ingreso" ubicados en uno o más sitios de cada distrito de servicio. El agua recolectada en un determinado distrito de servicio no necesariamente ingresa al sistema de distribución del mismo distrito. Por ejemplo, el agua extraída de los pozos del distrito de servicio sur, al parecer ingresa al sistema de distribución en los distritos de servicio este y central.

En el contexto de este reporte, es suficiente señalar que el sistema de distribución es complejo y está interconectado en toda la ZMVM. La información que aquí se presenta no ha sido difundida por ningún otro medio; hasta donde se tiene información, este documento representa el primer intento de describir, de manera conjunta, el sistema de distribución de agua en las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México.

## **Recolección y desecho de aguas residuales**

Un solo sistema de recolección o de drenaje funciona tanto para las áreas de servicio del Distrito Federal como para las del Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo, todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema general de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca.

El Sistema de Drenaje Profundo, es una obra iniciada en 1967, la que contribuye de manera fundamental a la seguridad de la Ciudad con relación a

los riesgos de inundaciones. La conducción principal es el Emisor Central, un túnel de 50 km de longitud y 6.5 metros de diámetro, al que convergen diversos interceptores con diámetros de 3.10 metros hasta 5 metros y que alcanzan una longitud total de 115 kilómetros a profundidades que van desde los 20 metros hasta los 200 metros y con una capacidad de conducción de hasta 188 metros cúbicos por segundo. Se puso en servicio en sus primeros 60 km en 1975 y para 1997 había alcanzado una longitud de 153 km de túneles en operación.

De 1998 al año 2000, se amplió este sistema de drenaje mediante la construcción y puesta en funcionamiento del Interceptor Gran Canal, con lo que se garantiza el desagüe del Centro Histórico por gravedad, sin necesidad de equipos de bombeo, eliminando así el riesgo de inundación que durante años existió en esta zona de la Ciudad. Esta obra consiste en un túnel de 3.10 metros de diámetro y 1,000 metros de longitud, construido a 20 metros de profundidad y con capacidad para desalojar 35,000 litros por segundo.

Además, fueron concluidos y puestos en operación otros 11 kilómetros del Drenaje Profundo, de los cuales 7.6 kilómetros corresponden al Interceptor Oriente y 3.5 kilómetros al Interceptor Oriente-Oriente, en el tramo entre las lumbreras 3 y 7 y el túnel de interconexión entre los Interceptores Oriente-Oriente y Oriente-Sur, en Iztapalapa. Con esta última ampliación de 12 kilómetros, el Sistema de Drenaje Profundo cuenta en el año 2003 con 165 km en operación. (Gobierno del Distrito Federal; 2004)

En la zona en la cual se ubica la Unidad Habitacional Ejército de Oriente, en la Delegación Iztapalapa, donde año con año se registraban inundaciones debido a que se construyó en una zona muy baja, se elevaron diez metros los muros de la lumbrera 3 del Interceptor Oriente-Oriente y se incrementó la capacidad de la planta de bombeo que descarga, mediante un tubo hincado, a la laguna menor de Iztapalapa, eliminando así los riesgos de inundación.

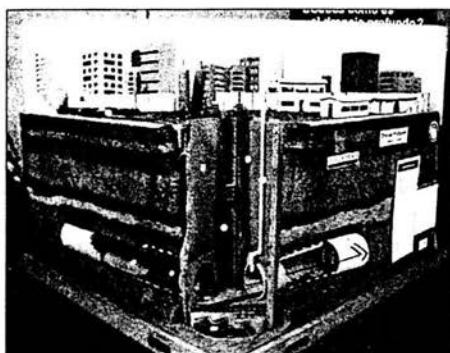


Fig. 2.7.a



Fig. 2.7.b

Figura 2.7 a) Esquema del Drenaje profundo de la Ciudad de México. b) Drenaje profundo de la ciudad de México

Según el censo del 2000 (INEGI, 2000), el 90.2 por ciento de los 18.1 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento, aproximadamente, utiliza fosas sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje. Sin embargo, las diferencias en el interior de las áreas de servicio son notables, y en algunas delegaciones un sistema de drenaje sirve a menos de la mitad de los residentes.

Las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así como el agua de lluvia, se recolectan en una red secundaria consistente en un pequeño sistema de tuberías por vecindario; después, son conducidas a través de la red principal al Sistema General de Drenaje, para ser expulsadas de la cuenca hacia el norte. El Estado de México reporta que el flujo total en tiempo de seca para la ZMVM (flujo que consiste principalmente en aguas residuales municipales sin tratar) se estima en 44.4 mcs (Comisión de Aguas del Estado de México; (CAEM). En época de lluvias, la región recibe muchas tormentas de gran intensidad y corta duración. Una sola tormenta puede producir hasta 70 milímetros de lluvia, lo que representa un 10 por ciento del total de la precipitación anual. Debido al patrón de lluvias y a lo irregular del terreno, el sistema de drenaje general fue diseñado para acarrear 200 mcs en un período de 45 horas (El sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), 2004).

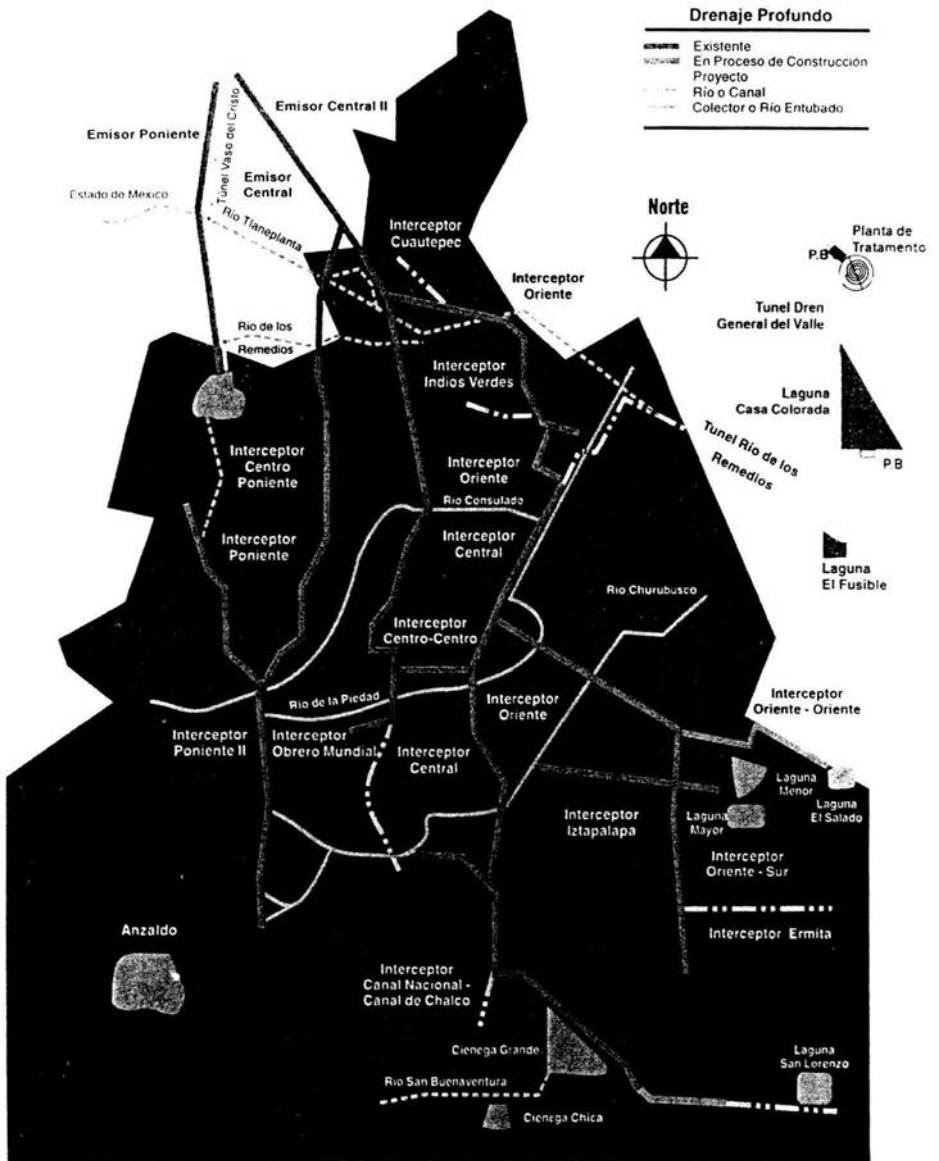


Figura 2.8 El Sistema del Drenaje Profundo de la Ciudad de México; Cortesía de El sistema de Aguas de la Ciudad de México.

## Tratamiento de Aguas de Residuales

Por lo general, el 90 por ciento de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través del sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 80,000 hectáreas de sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente que regresa de la irrigación se drena hacia tributarios del río Panuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

Aproximadamente el 10 por ciento de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad. Existen 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal y 14 en el área de servicio del Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 2.62 y 1.69 mcs, respectivamente (Gobierno del Distrito Federal, Comisión de Aguas de Estado de México).

La Tabla 2.3 explica el flujo combinado durante las temporadas de lluvia y de seca, así como las características de las aguas residuales al salir de la cuenca a través del Gran Canal (flujo en tiempo de seca), o el drenaje profundo (flujo en tiempo de lluvia). Los valores que se otorgan a los múltiples contaminantes representan la concentración promedio para 1992. El promedio de concentración de estos mismos contaminantes en una agua residual típica en los Estados Unidos, se proporciona para fines de comparación, referidos a las calidades del agua-ligera, media o fuerte (U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992).

El nivel de muchos contaminantes en las aguas residuales y el flujo combinado durante las épocas de estiaje y de lluvia, es similar y a veces mayor que el de las aguas residuales típicas en Estados Unidos. La alta concentración de sólidos totales, sólidos totales disueltos y fósforo, así como de una menor cantidad de nitritos y nitratos, podría ser resultado de la descarga de aguas residuales provenientes de zonas industriales.



Tabla 2.3 Características del flujo de aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México.

Contaminantes (a) (b)	Flujo en tiempo de estiaje	Flujo en tiempo de lluvia	Rango de concentración			Promedio en los Estados Unidos
			Ligero	Medio	Fuerte	
Sólidos totales	1800	1800	350	720	1200	-
Sólidos totales	1611	1445	250	500	850	-
			Disueltos			
Sólidos totales	179	357	100	220	350	192
			Suspendidos			
Sólidos	2.0	2.33	5.0	10	20	-
			Asentados mg/l			
Nitrato (N)	0.3	0.030	0	0	0	0.60
Nitrito (N)	0.06	0.06	0	0	0	-
Fósforo (P)	30	30	4	8	15	6.80
DBO	240	187	110	220	400	181

Todos los valores en mg/l, excepto los señalados. b U.S. EPA y U.S. AID, 1992.

Las tablas 2.4 y 2.5 enlistan las plantas de tratamiento en operación para las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México, indicándose el valor de su capacidad de diseño y la capacidad a la que realmente están operando, el tipo de tratamiento que proporcionan y sus métodos de reuso (Gobierno del Distrito Federal; Comisión de Aguas del Estado de México). El flujo total de las 13 plantas de tratamiento en el área de servicio del Distrito Federal (Tabla 2.4) equivale sólo al 55 por ciento de la capacidad para la que han sido diseñadas—por ejemplo, 2.6 contra 4.6 mcs (Gobierno del Distrito Federal). El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante la aplicación del proceso de sedimentación de lodos activados.

Los tratamientos terciarios, cuando se aplican, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. En

caso de aplicar la desinfección, se añade cloro para lograr un residuo total de 1 mcs, sea en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización. Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua—por ejemplo, residual, doméstico o industrial.

El funcionamiento de las plantas de El Rosario, Acueducto de Guadalupe y Colegio Militar no ha sido eficiente. Se reporta que los principales problemas asociados con el agua residual en estas tres plantas son el alto contenido de grasa, aceites, fósforo, nitritos y nitratos, la escasa eliminación de la alcalinidad y la dureza, así como alta conductividad eléctrica. Se sabe que una elevada concentración de aceite y grasa causa problemas operativos en diversos procesos de tratamiento secundario y terciario. De las tres plantas mencionadas, únicamente el Rosario proporciona tratamiento terciario, pero un tratamiento terciario que sólo reduce la concentración de fósforo. La unidad de operación y los procesos empleados en esta planta no están lo suficientemente bien diseñados como para eliminar los nitritos y los nitratos. Se reporta que la calidad del afluente tratado en las 10 plantas restantes cumple con los requerimientos que demanda su propósito específico de reuso.

En el caso de las 14 plantas de tratamiento ubicadas dentro del área de servicio del Estado de México (Tabla 2.5), puede notarse que sólo 7 de ellas ( el 50 por ciento) operan normalmente por abajo de su capacidad (Comisión de aguas del Estado de México). Debido a que algunas de las plantas de tratamiento son operadas por una industria, o bien por el municipio donde se localizan, no se encontró información disponible acerca de la operación, de la totalidad de las plantas.,

Los problemas relacionados con el manejo, tratamiento y eliminación de los residuos fecales sólidos que suelen generarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales, constituyen un tema de la mayor importancia. Estos residuos pueden ser peligrosos si no se tratan o se desechan en forma adecuada. Sin embargo, ya que el tratamiento de aguas residuales en la ZMVM se lleva a cabo principalmente con el propósito de reuso más que de tratarlas para su eliminación, los residuos contenidos son aparentemente vertidos nuevamente al drenaje, sin ningún tratamiento.

TABLA 2.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Distrito Federal.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de Tratamiento	Práctica de reuso
Pintores	0.005	0.005	secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	secundario	RI
Nezahualcōyotl	0.200	NA	secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco (2 plantas)	1.500	1.000	Secundario terciario	IA, L
Termoeléctrica V. De México	0.450	0.250	Secundario	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
club de Golf Chiluca	20	20	ND	IPU
Revillagigedo Chiluca	20	20	ND	RI
La Estadia Chiluca	20	20	ND	RI
Chapultepec	0.160	0.106	Secundario	RCI, IPU
Coyoacán	0.400	0.336	Secundario	RCI, IPU
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secundario	IPU
San Juan de Aragón	0.500	0.364	Secundario	RCI, IPU
Tlatelolco	0.022	0.014	Secundario	IPU
Cerro de la Estrella	3.0	1.509	Secundario	RAI, IA
Bosques de las Lomas	0.055	0.027	Secundario	IPU
Acueducto de Guadalupe	0.08	0.057	Secundario	IPU
El rosario	0.025	0.022	terciario	RCI, IPU
S. L. Tlaxialtemalco	0.075	0.055	terciario	RCI, RAI
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secundario	RCI, IPU
Iztacalco	0.013	0.010	terciario	RCI, IPU
Colegio Militar	0.020	0.018	Secundario	RCI, IPU

RCI: Represas de recreo con contacto esporádico; RAI: Recarga de agua subterránea por inyección; IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación Agrícola. Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento

TABLA 2.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Estado de México.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de Tratamiento	Práctica de reuso
Pintores	0.005	0.005	secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	secundario	RI
Nezahualcóyotl	0.200	NA	secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco (2 plantas)	1.500	1.000	Secundario terciario	IA, L
Termoeléctrica V. De México	0.450	0.250	Secundario	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
club de Golf Chiluca	20	20	ND	IPU
Revilagigedo Chiluca	20	20	ND	RI
La Estadia Chiluca	20	20	ND	RI

IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación agrícola; RI: Reutilización industrial; ND: No disponible; L: Expansión del lago. Fuente: Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993.

## Rehúso del agua

Por reutilización del agua se entiende la práctica de recuperar aguas degradadas para emplearlas, luego de aplicarles un nivel de tratamiento adecuado, con fines prácticos. Por reciclaje del agua se entiende la captura y recuperación de aguas degradadas, para volver a usarlas en el mismo proceso que las generó; a menudo, el reciclaje puede llevarse a cabo sin un tratamiento excesivo del agua-por ejemplo, mediante el empleo de un sistema industrial de enfriamiento de ciclo cerrado. Las aguas residuales municipales, que incluyen el agua generada en residencias, establecimientos comerciales, y a menudo en instalaciones industriales, son la fuente de agua de reuso de que se dispone más a menudo, luego de aplicárseles un grado satisfactorio de tratamiento.

Otras fuentes de agua degradada han sido tomadas en cuenta para su reuso, por ejemplo, el agua de lluvia de desagüe y el flujo que regresa de la irrigación agrícola. Sin embargo, la calidad de estas otras fuentes es menos predecible que la del agua municipal tratada, por lo que la conveniencia o no de su reuso no es tan segura.

Las actividades de reuso del agua en la ZMVM comenzaron de manera oficial en 1984, con el Programa Nacional de Uso Eficiente del Agua (Gobierno del Distrito Federal). Los proyectos para el reuso del agua formaron parte de un programa más amplio destinado a reducir la pérdida de agua y mejorar los ingresos económicos por este concepto. Durante el periodo 1990-1992, el programa se concentró en varias actividades para el reuso del agua en la ZMVM, que incluyeron la protección de las zonas naturales de recarga del acuífero, la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como el uso de aguas residuales recuperadas de los sectores industrial y de servicios.

Este programa nacional abarcó el establecimiento de nuevos reglamentos para la descarga de aguas residuales en el Distrito Federal; en 1990, se establecieron las disposiciones para un programa industrial de "pretratamiento" un importante requisito previo para las actividades de recuperación y reuso. Sin embargo, existe poca información disponible relativa a la duración y el éxito de los programas de pretratamiento industrial en la ZMVM. En el área de servicio del Distrito Federal, los 2.62 mcs de aguas residuales tratadas y reusadas se distribuyen de la manera siguiente: 83 por ciento para la irrigación del paisaje urbano y depósitos en áreas recreativas; 10 por ciento para uso industrial; 5 por ciento para irrigación agrícola; 2 por ciento para usos comerciales, como, por ejemplo, el lavado de automóviles.

El Estado de México ha implementado un programa específicamente diseñado para aumentar el uso de aguas residuales municipales. Las finalidades del programa incluyen: el desarrollo de estudios de viabilidad para la construcción de sistemas de tratamiento adicional, así como de una red de distribución que reparta las aguas residuales recuperadas para su reuso; la promoción de proyectos de reuso del agua entre los sectores privado y público; la rehabilitación de las plantas existentes para tratamiento de aguas residuales; la preparación de manuales de operación y mantenimiento, así como de otros registros destinados a mejorar la administración de los sistemas de tratamiento y reuso; la preparación de un cálculo cuantitativo del agua potable utilizada en

la actualidad para diferentes actividades, que es susceptible de sustituirse con aguas residuales recuperadas. Bajo este programa, las actividades de reuso potencial del agua-que incluyen la irrigación agrícola, el uso industrial, el paisaje urbano y la recarga de los acuíferos han sido localizadas dentro de distritos específicos de servicio en el área del Estado de México.

Tabla 2.6 Aplicaciones para la reutilización de aguas residuales municipales recicladas y principales problemas relacionados con cada uso.

Aplicaciones para el reuso de aguas residuales	Problemas
<b>Irrigación Agrícola</b> Irrigación de cosechas; Viveros	Contaminación del agua superficial y subterránea si no se maneja correctamente; Comercialización de las cosechas y aceptación del público.
<b>Irrigación del paisaje urbano</b> Parque; patio de escuela; Valla de carretera; campo de golf; cementerio; Cinturón verde; Residencial	Efecto en la calidad del agua, particularmente en las sales, en la tierra y las cosechas. Problemas de salud Pública relacionadas con agentes patógenos (bacterias, virus y parásitos) Control del área de uso que abarca la zona de influencia. Puede ser muy costosa para los usuarios.
<b>Reciclaje y reutilización industrial</b> Enfriamiento; Alimentación de calentadores; Agua procesada; Construcción Pesada	Componentes del agua residual recuperada relacionados con escamaduras, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción. Problemas de salud pública particularmente la transmisión atomizada de agentes patógenos al enfriar el agua.
<b>Usos urbanos no potables.</b> Protección contra incendios; aire acondicionado; agua para inodoros.	Problemas de salud pública causados por elementos patógenos que se transmite en forma atomizada. Efectos de la calidad del agua en descamación, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción.
<b>Recarga de agua subterránea</b> Relleno de agua subterránea; control de la intrusión de sal; control de hundimiento.	Conexiones cruzadas en las tuberías. Productos químicos orgánicos en las aguas residuales recuperadas y sus efectos tóxicos. Sólidos, nitrato y agentes patógenos disueltos en las aguas residuales recuperadas.
<b>Usos recreativos/ambientales</b> Represas, lagos y	Problemas de salud debidos a bacteria y virus; Eutrofización debida a los N y P al recibir el agua;

---

estanques; Agrandamiento de pantanos; Aumento del flujo de la corriente; pesquerías fabricación de hielo	Toxicidad que afecta la vida acuática.
<b>Reutilización como agua potable</b>	Componentes de las aguas residuales recuperadas, en especial restos de productos químicos y sus efectos tóxicos;
Mezclada con agua del acuífero; Abastecimiento de agua de tubo a tubo	Aspecto y aceptación del público; Problemas de salud relacionados con la transmisión por agentes patógenos, especialmente de virus.

---

*Fuente: Metcalf y Eddy*

Las industrias del Distrito Federal reciclan o reusan 2.4 mcs de aguas residuales, principalmente para procesos de enfriamiento. Muchas industrias tienen el potencial para reciclar o reusar el agua. La industria privada ha mostrado ya interés en los beneficios del reuso. Por ejemplo, 26 empresas privadas del área de Vallejo, en la ZMVM, iniciaron en 1989 un programa de reuso, para lo cual establecieron una compañía promotora con fines comerciales *Aguas Industriales de Vallejo* (World Bank, 1992). Esta compañía rehabilitó una vieja planta municipal para tratamiento de aguas residuales; hoy, distribuye agua recuperada a sus compañías accionistas a un costo igual a tres cuartas partes del precio fijado por el gobierno para la tarifa de agua potable. Asimismo, se ha estimado que la industria reusa la mayor parte de las aguas residuales tratadas en el área de servicio del Estado de México. El mercado potencial para las aguas residuales recuperadas varía según el tipo de tratamientos empleados, pero puede verse influenciado por las políticas gubernamentales relativas a las tarifas para el agua y al otorgamiento de las licencias para el uso de aguas residuales. Este tipo de políticas se analizan más a fondo en los capítulos 4 y 5.

Una mayor recuperación de aguas residuales, así como un esquema de reuso más amplio, se desarrollan actualmente en el lago de Texcoco, junto con programas de control y disminución de tolvaneras.

Históricamente, el lago de Texcoco cubría gran parte de las zonas más bajas situadas en la porción sur de la Cuenca de México. Entre una temporada de lluvia y la siguiente, el lecho poco profundo y salino del lago se secaba y producía serias tolvaneras (Marsal, 1974). Para responder a este problema, se estableció en 1971 el Plan Texcoco. La solución consistía en crear estanques



permanentes más pequeños adentro del lecho grande e irregular, así como en rehabilitar las áreas problemáticas para una futura expansión urbana y agrícola, mediante el empleo de rompevientos y de métodos de reforestación, irrigación agrícola y mejoramiento del drenaje, entre otros.

Es interesante observar que los lagos artificiales más perdurables se crearon utilizando las lecciones aprendidas del problema del hundimiento. Las altas tasas de bombeo consolidaron las arcillas e hicieron descender hasta 4 metros el antiguo lecho del lago. El programa de reutilización del Plan Texcoco incluye la construcción de una laguna habilitada para el tratamiento de aguas residuales, así como la recuperación del agua de lluvia recolectada para la irrigación agrícola. De esta manera se reemplazará el agua potable que actualmente se utiliza para este propósito.

Las aguas residuales han sido añadidas a varios estanques de recreación en el Distrito Federal a través de varios proyectos de reutilización. Una parte de las aguas residuales tratadas por ocho de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal se utilizó para este propósito. Uno de los proyectos más significativos es el uso de aguas residuales municipales recuperadas para mejorar el ecosistema lacustre de los históricos canales de Xochimilco.

La recarga artificial de agua subterránea ha sido usada en la región desde 1943 como un método para reducir las inundaciones, y esto todavía se aplica en la actualidad. Los primeros proyectos abarcaban la retención del desbordamiento y la ampliación de la superficie, la modificación de los canales, y los pozos de infiltración. Muchos de estos proyectos se llevaron a cabo en el basalto altamente permeable de las zonas altas y lograron tasas de infiltración muy altas en los periodos de lluvias torrenciales.

La recarga artificial usando pozos de inyección se desarrolló primero en el Distrito Federal alrededor de 1953. Se reportaron cifras de inyección de agua de 0.1 a 0.3 mcs; sin embargo, la fuente o la calidad del agua de recarga no se midió en esos primeros proyectos, y la mitad de los pozos fueron cerrados después debido a problemas operacionales. En 1970 se perforaron alrededor de 56 pozos con el propósito de infiltrar el agua de lluvia. Estos pozos tenían la capacidad de manejar en conjunto hasta 35 mcs de agua. Aunque los pozos no estaban diseñados para la recarga, el agua de lluvia llegó probablemente al acuífero.



El DDF. Ahora Gobierno del Distrito Federal construyó dos plantas piloto para el tratamiento de agua en 1983, para estudiar el potencial del tratamiento avanzado de aguas residuales del efluente secundario para su reuso como agua potable, y para examinar su potencial para tratar agua subterránea contaminada.

Con base en los resultados de las plantas piloto, se construyó otra instalación con el mismo propósito, con la capacidad de 0.3 mcs, y diseñada tanto para tratar agua subterránea como para la reutilización potable directa. El objetivo del proyecto de reuso era mezclar el agua residual recuperada con agua subterránea tratada para añadirla directamente al sistema de distribución (Espino et al. , 1987). Normalmente, el agua residual recuperada se usa para procesos que no requieren agua potable.

El Proyecto Texcoco está llevando a cabo estudios sobre el reuso como agua potable de manera indirecta del agua residual recuperada a través de la recarga artificial del acuífero empleando tratamientos secundario y avanzado de aguas residuales municipales. El efluente final puede ser utilizado en represas de infiltración o pozos de inyección. En un programa separado llevado a cabo por el Gobierno del Distrito Federal, un estudio a nivel de planta piloto está inyectando agua que pasó del tratamiento avanzado directamente al acuífero a un ritmo de 0.05 mcs. Se utilizan pozos de monitoreo para detectar los cambios de la calidad del agua y de los niveles piezométricos.

Un reporte reciente del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council,) concluye que la recarga artificial con aguas residuales municipales recuperadas" ofrece particularmente un potencial significativo para usos no potables", y puede "...reducir la demanda de agua pura limitada con un riesgo mínimo para la salud." Si se considera la recarga artificial para usos potables indirectos, los riesgos para la salud pueden ser mayores y la aceptación del público es más incierta. De cualquier manera, pero especialmente en la que considera el rehúso como agua potable, se requiere una planeación y un estudio minucioso previo al proyecto.

La recuperación de agua residual municipal para su posible reutilización directa (por ejemplo, "de tubería a tubería") se ha investigado en los Estados Unidos y en el resto del mundo a través de instalaciones experimentales. Aunque estas instalaciones han probado la posibilidad de reuso potable directo, un equipo a escala normal sólo ha sido empleado en Windhoek, Namibia, donde el agua residual recuperada se utilizó directamente como

suplemento de la fuente normal de abastecimiento de agua (Odendaal y Hatting, 1987).

Aunque la planta de recuperación de Windhoek demostró la viabilidad del reuso directo del agua residual como agua potable, el efecto a largo plazo de esta forma de reuso sigue en duda y por lo tanto representa una preocupación. Aún está por determinarse el efecto potencial que la exposición muy prolongada a los distintos químicos que se encuentran en las aguas residuales recuperadas puede tener en la salud. Otra gran preocupación es la posible presencia de restos orgánicos en el agua de desecho sin tratar, no detectados por las pruebas analíticas y que no puedan ser eliminados por las tecnologías actuales. Por estas razones (y tal vez por otras, como la falta de aceptación del público) la reutilización directa del agua residual como agua potable debe ser considerada con precaución y representar la opción menos deseable para resolver un problema de escasez de agua.

# Capítulo Tres

## Capítulo 3

### CALIDAD DEL AGUA Y PROBLEMAS DE SALUD

*Resumen Capítulo 3. Se analiza la vulnerabilidad del acuífero, así como los problemas de la calidad del agua y sus efectos en la salud.*

#### Vulnerabilidad del acuífero

Debido a las impresionantes dimensiones y la gran densidad de población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como al hecho de que casi tres cuartas partes del área dependen del acuífero para el abastecimiento de agua potable, la protección de la calidad del agua subterránea es de la mayor importancia. Los desechos originados por la actividad doméstica, industrial y comercial, contienen diversos gérmenes patógenos y contaminantes tóxicos que si no se manejan en forma adecuada pueden llegar a representar un peligro. La posibilidad de que esos contaminantes se filtren al agua subterránea depende de muchos factores, tales como la composición de los suelos (materiales geológicos), el nivel freático, la tasa de recarga y otros factores ambientales que influyen en la movilidad o la degradación de los contaminantes. En la ZMVM, estos elementos varían en cada una de las tres principales zonas hidrológicas: la zona lacustre, la zona de transición de la región piedemonte y la zona de montaña. Las características hidrológicas de estas tres áreas se describieron en el capítulo 1.

La zona de transición merece especial atención, debido a que en ella se combinan la permeabilidad natural, la rapidez del crecimiento urbano y el incremento del número de pozos de abastecimiento. Los problemas de uso del suelo son múltiples: una gran proporción de asentamientos que carecen de recolección de aguas negras; canales de drenaje no revestidos que llevan aguas residuales sin tratar y aguas negras de origen doméstico; basureros mal confinados, así como un mal manejo del almacenamiento y desecho de materiales peligrosos (Figura 3.1). La zona de montaña no está tan urbanizada como las zonas de menor elevación. Sin embargo, los asentamientos humanos irregulares dispersos en la ladera de las montañas aumentan la posibilidad de contaminación. Hasta hace poco, se suponía que las arcillas lacustres que subyacen en gran parte del área urbana formaban una capa impermeable y protectora que evitaba la penetración subterránea de los contaminantes. Sin

embargo, la desecación y la consolidación de las capas de arcilla han propiciado el desarrollo de fracturas que pueden actuar como conductos para la migración subterránea de contaminantes (Alberro y Hernández, 1990; Rudolph et al., 1991; Pitre, 1994).

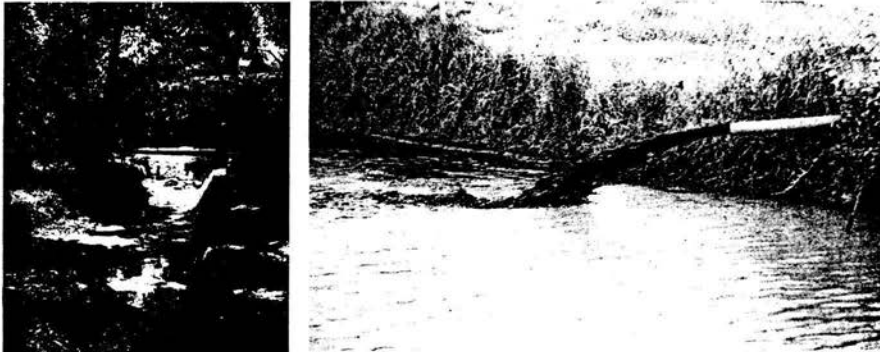


Fig. 3.1 Aún existen descargas de asentamientos que carecen de recolección de aguas negras

Desde la década de los cuarentas los gradientes de flujo se han abatido en las áreas más bombeadas, en contraste con las condiciones artesianas históricas (Carrillo, 1948). Los resultados de los modelos aplicados, así como los estudios de campo en sitios predeterminados, muestran que los contaminantes han migrado a mayor distancia en las arcillas que lo que se había predicho con base en una formación arcillosa homogénea lo que apoya la hipótesis de que los contaminantes se mueven a través de las fracturas (Rudolph et al., 1991). Un estudio reciente en el valle de Chalco, región donde el bombeo ha sido exhaustivo (Ortega et al., 1993), detectó una consolidación significativa de las arcillas; los autores de este estudio concluyeron que el hundimiento continuará, con la consecuente liberación de sales y otros constituyentes químicos solubles del acuitardo, hacia el acuífero principal localizado más abajo. Mientras estos estudios han detectado una migración en profundidad de los contaminantes, con la posibilidad de que se contamine el agua del subsuelo, ningún estudio ha determinado si estos contaminantes han alcanzado al principal acuífero en explotación

La falta de tratamiento de aguas residuales, así como la práctica de utilizar canales no revestidos para el transporte de los desechos sin tratar es un problema que atañe sin duda a la salud pública, están muy generalizadas en México y en el resto de Latinoamérica (Organización Panamericana de la Salud). Se calcula que la ZMVM genera aproximadamente 44 mcs de aguas

residuales (Comisión de Aguas del Estado de México 2004); de acuerdo con el Distrito Federal, más del 90 por ciento de los desechos líquidos industriales se descarga en el sistema de drenaje (Lesser y Asociados, S.A., 1993). El sistema combinado de drenaje transporta aguas residuales y agua de lluvia a través de una red primaria de 1,212 kilómetros de largo y una red secundaria de 12,326 kilómetros de longitud. En algunos sitios, el sistema de drenaje profundo penetra por debajo del acuitardo e intercepta el acuífero principal. En la época de lluvias, las aguas residuales se filtran al subsuelo a través de los túneles profundos; esto puede crear problemas en muchos de los sitios que se localizan dentro de la zona lacustre y donde la protección de la capa de arcilla ya es insuficiente. Los canales no revestidos representan un riesgo adicional de contaminación del agua subterránea, particularmente en las zonas de transición donde el suelo es altamente permeable.

Existen varios pozos abandonados en el área, algunos de ellos abiertos muy cerca de la superficie, otros mal sellados. Muchos están cerca de canales de drenaje no revestidos que contienen aguas residuales domésticas e industriales. Estos pozos abandonados pueden representar una ruta alterna y más directa de contaminación hacia el acuífero.

La ZMVM, que alberga la zona industrial más importante del país, contiene alrededor del 45 por ciento de la producción industrial de la nación. Según el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, la cantidad de desechos peligrosos generados en el Distrito Federal es de alrededor de 3 millones de toneladas por año, de las cuales más del 95 por ciento son efluentes procesados o efluentes tratados que se arrojan al sistema municipal de drenaje. La parte restante, alrededor de 150,000 toneladas, son desechos sólidos que en su gran mayoría son enviados a los basureros municipales, o bien a basureros ilegales. Además de los desechos que siguen produciéndose en forma cotidiana, existen alrededor de 40 millones de toneladas de desechos peligrosos generados desde los años cuarenta, cuando la industrialización del área se incrementó en forma muy notoria. Mientras que en el Distrito Federal se ha elaborado una lista con el nombre y los tipos de industrias existentes, en los otros estados de la Cuenca de México- México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla no se ha hecho.

Aunque se han llevado a cabo investigaciones sobre el tipo de contaminantes producidos en diferentes instalaciones, así como sobre la migración de éstos al subsuelo de la ZMVM, el tesisista no encontró ningún trabajo que examine las

formaciones geológicas en el acuífero principal, examen que pudiera confirmar la contaminación del agua por fuentes industriales.

La producción y el manejo de desechos peligrosos están regulados por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental publicada en 1988. Esta ley impone restricciones y controles a los productores de desechos peligrosos; asimismo, les exige registros y permisos que documenten los procesos industriales y establezcan prácticas de manejo. A pesar de las previsiones de la ley y los reglamentos, en la actualidad el manejo adecuado de desechos peligrosos en la ZMVM se ha visto seriamente comprometido a causa de la falta de facilidades para reciclar, tratar o retirar estos desechos. Dos compañías en el área metropolitana están autorizadas para reciclar cierto tipo de desechos. En la Cuenca de México no existen lugares específicos para desechos que tengan autorización para recibir materiales peligrosos.

Otra preocupación relacionada con la calidad del agua es el riesgo que conlleva la aplicación de pesticidas en tierras dedicadas a la agricultura. Aunque en México no existe información confiable acerca del grado de contaminación del agua causada por pesticidas, la Organización Panamericana de la Salud ha identificado varias cuencas de ríos en las que el uso de pesticidas pudiera representar un problema, e incluye la Cuenca del Lerma, que abastece una parte del agua potable de la Ciudad de México. Se han detectado pesticidas en tejido adiposo humano en muestras obtenidas entre la población de la Ciudad de México (Albert et al., 1980). Aunque la contaminación del organismo humano por pesticidas ocurre con mayor facilidad a través del consumo de productos agrícolas, o bien a causa de la contaminación que los arroyos de los campos agrícolas pueden provocar en aguas superficiales utilizadas como fuentes de agua potable, el filtrado de los pesticidas al agua subterránea a través de la sub-superficie es otra vía contaminante potencial.

### **Monitoreo y certificación sanitaria**

Como responsable de certificar la calidad del agua para el consumo humano, la Secretaría de Salud ha promulgado una serie de normas que establecen los requerimientos para los sistemas de abastecimiento de agua, el transporte de agua potable y los distintos procedimientos de muestreo. Como resultado, la calidad del agua potable en la ZMVM se observa mediante muestreos que permiten establecer niveles de químicos inorgánicos, químicos orgánicos y parámetros bacteriológicos y físicos.

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (DGCOH-DDF), hoy Sistema de Aguas de la Ciudad de México, mantiene en Xotepingo un laboratorio central de control y calidad del agua, el cual se encarga de realizar los análisis de calidad, para evaluar las instalaciones que abastecen el agua, tales como pozos, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento. También se realizan muestreos del agua en tomas domiciliarias en las colonias de las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal.

El análisis de la calidad del agua se efectúa en uno o cuatro niveles de muestreo, dependiendo de la estimación que se haga sobre el tipo de agua de la zona. Al muestreo más simple se le conoce como nivel A, y se utiliza para detectar contaminación bacteriológica y obtener información sobre residuos libres de cloro, acidez, conductividad eléctrica, temperatura y turbiedad.

El nivel 2A obtiene, adicionalmente, muestras de las características físicas y químicas prevalentes en el Distrito Federal, tales como alcalinidad total, cloruros, color, demanda de oxígeno, dureza total y nitrógeno amoniacal.

El muestreo en el nivel 3A cumple con las normas para el agua potable, establecidas por la Secretaría de Salud. Estas normas incluyen los parámetros adicionales de cloro, dureza (calcio y magnesio), los fluoruros, los sólidos totales disueltos, nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico, sulfatos, sustancias activas al azul de metileno, potasio, sodio, aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cianuro, fluoruro, hierro, plomo, magnesio, manganeso, mercurio, níquel, plata, selenio y zinc.

El nivel 4A es un procedimiento de muestreo intensivo, el cual se practica en donde se sospecha la existencia de problemas específicos; este tipo de muestreo puede abarcar componentes sintéticos orgánicos, demanda de oxígeno biológico y químico, radón y otros patógenos humanos.

Los datos comparativos de la calidad del agua son obtenidos mediante muestreos realizados por la Comisión de Aguas del Estado de México para su área de servicio.

El 18 de enero de 1996 se publica por parte de la secretaria de salud, en el Diario Oficial de La Federación, La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-I-1194 que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización que sustituye a la vigente desde 1988 en esta materia (Tabla 3.1).



Tabla 3.1 Normas desarrolladas por la Secretaría de Salud en 1996 para certificar la calidad del agua potable para uso humano

Contaminante	Unidad	Norma
Color	UPC o	20
Turbiedad	UTN	5
Org. Colif. Tot.	NPM 100 ml	2
Org. Col. Fec.	U;F;C; 100 ml	No detectables
Conductividad	µmhos cm	criterio
pH	UPH	6.5-8.5
Fierro Total	Mg/l	0.30
Fluoruros	Mg/l	1.50
Manganeso total	Mg/l	0.15
Mercurio	Mg/l	0.001
Nitratos (como N)	Mg/l	10
Nitritos (como N)	Mg/l	0.05
Nitrógeno Amoniacal	Mg/l	0.5
C.R.L.	Mg/l	0.2-1.5
Dza. Total	Mg/l	500
Plomo	Mg/l	0.025
Cloruros	Mg/l	250
Cobre	Mg/l	2
Sodio	Mg/l	200
Sólidos Dist, Tot.	Mg/l	1000
Sulfatos (So4)	Mg/l	400
S.A.A.M.	Mg/l	0.50
Trihalometanos Tot.	Mg/l	0.2
Zinc	Mg/l	5.0
Fósforo Total	Mg/l	50
Olor y Sabor	Mg/l	Agradable
Potasio Total	Mg/l	100
Acido Sulfhídrico	Mg/l	No detectable

Publicado el 18 de enero de 1996, por parte de la Secretaria de Salud en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-I-1994

## Calidad de las fuentes de agua

La calidad del agua en el acuífero de la Cuenca de México varía; algunas de estas variaciones se deben a las características de las formaciones geológicas de la región. El agua de las arcillas superficiales es de muy baja calidad,

debido a su alta concentración de sales disueltas (de 1,000 a 130,000 miligramos por litro, Rodríguez, 1987). Por esta razón, los pozos de producción que abastecen agua potable suelen tomarla a una profundidad de más de 400 metros, con la finalidad de captar el agua de mayor calidad del acuífero principal; sin embargo, se han documentado algunas intrusiones de aguas salinas en el acuífero principal (Lesser-Illades et al., 1990). Las sales y los sólidos totales disueltos en los pozos de producción aumentan generalmente al pie de las montañas y hacia el centro de la planicie, tal y como en los antiguos lagos había sitios donde la salinidad era mayor. Elevadas concentraciones de sulfuro, hierro y manganeso, provenientes de las formaciones geológicas volcánicas de la región, han sido detectadas en áreas específicas (Bellia, et al., 1992). Aunque esto no representa un serio problema, se han cerrado pozos en algunos lugares donde las concentraciones químicas inorgánicas son más altas que las marcadas por las normas de calidad del agua.

El Laboratorio Central de Control del Distrito Federal en Xotepingo ha elaborado mapas identificando parámetros adicionales de agua subterránea que indican el potencial de contaminación orgánica y/o biológica. Por ejemplo, pruebas realizadas en pozos revelaron áreas en las que el agua no cumplía con los requisitos establecidos de color, sólidos totales, amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos, carbón orgánico y dureza. Estos problemas tienden a localizarse en la sección este del Distrito Federal, así como en algunas porciones de los campos de pozos que lo rodean. Durante el mismo periodo, el agua en bloque de los pozos no cumplía con las normas fisicoquímicas fijadas ( en el 31 por ciento de los casos) ni con las normas bacteriológicas establecidas ( 21 por ciento). En algunos de los sitios donde se detectaron problemas de calidad del agua, se lleva a cabo un tratamiento adicional a pie de pozo-que incluye oxidación, filtración y adsorción con carbón activado-como parte de un programa piloto; los pozos que no cumplen con las normas han sido cerrados.

El Estado de México reporta que el 23 por ciento de los 242 pozos de abastecimiento de agua que surten a su área de servicio no cumplen con las normas establecidas para bacterias coliformes, mientras el 11 por ciento no lo hace con las normas relativas a constituyentes inorgánicos. En 21 pozos se ha reportado un aumento en la concentración de sulfuro de hidrógeno, aunque debe aclararse que no existe una norma para detectar su presencia.

La información sobre la calidad del agua proporcionada por el SACMEX-GDF y la Comisión Nacional del Agua (CNA), indica que las fuentes principales de agua superficial de la ZMVM-el río Cutzamala, el río Magdalena y la presa Madin-tienen una calidad aceptable en lo general, con excepción de los altos niveles de coliforme fecal en el río Cutzamala (Comisión Nacional de Investigación, 1994). Como se describe en el Capítulo 2, estas fuentes de agua superficial reciben tratamientos por coagulación química, filtración y cloración. El agua subterránea es tratada, por lo general, con cloración-por lo que toda el agua está por lo menos desinfectada. El agua superficial de muchos manantiales pequeños contribuye en 0.7 mcs al abastecimiento de agua de la ZMVM. Pruebas reportadas por la DGCOH-DDF en 1993, hoy SACMEX indicaban que una alta proporción de manantiales no cumple con las normas fisicoquímicas (38 por ciento) ni bacteriológicas (76 por ciento). No se encontró información disponible respecto a la aplicación de un tratamiento distinto a la desinfección en estas fuentes superficiales.

### **Problemas de la calidad del agua en el sistema de distribución**

El agua es esencial para la vida de todo tipo de organismo, ya que es necesaria para realizar las funciones biológicas, de igual manera es importante para el hombre además indispensable en una gran variedad de actividades industriales, comerciales, agrícolas y recreativas. El suministro de este liquido con una calidad adecuada para consumo humano es uno de los retos en cualquier urbe del mundo.

En el Distrito Federal, el Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua, analiza mas de 250 parámetros físicos, químicos y biológicos. Para ello, se emplean desde técnicas convencionales hasta las más desarrolladas, tales como la absorción atómica, cromatografía de masas, lo que puede permitir la detección de virus, mutágenos, metales pesados y orgánicos sintéticos en muestras de agua potable, residual, pluvial y residual tratada.

El laboratorio central de calidad del agua analiza la calidad del agua en el sistema de distribución, mediante la aplicación de muestras en algunas estaciones hidrológicas-en el punto de entrada del agua que se envía al sistema de distribución, en las estaciones de bombeo y en los tanques de almacenamiento del sistema. El porcentaje de las muestras que cumplen con los criterios de la Secretaría de Salud en cuanto a cloro residual y

bacteriología en la red de distribución, es de 94% y 91%, respectivamente, lo que es superior al 80% establecido por dicha Secretaria (Figura 3.2).



Figura 3.2 Cada año se realizan más de 60,000 lecturas de cloro en muestras de agua potable.

El muestreo también se lleva a cabo en los puntos de la red llamados cruceros, en 1,270 colonias de las 16 delegaciones del Distrito Federal. Grafico (3.1)

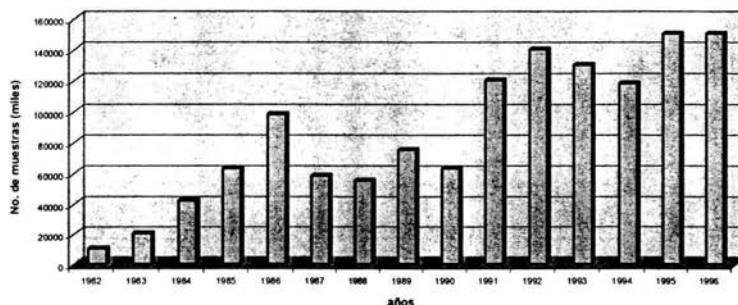


Grafico 3.1 Se observa que a partir del año 1991 se incrementa en número de muestras analizadas.

En el grafico anterior, se presenta la evolución de la cantidad de muestra analizadas dentro del programa de vigilancia a partir de la puesta en operación del nuevo Laboratorio Central de Control de la Calidad del Agua en la cual se observa que a partir del año 1991 se incrementa en número de muestras analizadas.

En la actualidad, las labores de control y vigilancia de la calidad del agua se realizan con tecnología avanzada la cual permite conocer las características del agua en sus cualidades físicas, químicas y biológicas.

### Diagnostico de la calidad del agua

El registro de las determinaciones analíticas realizadas en los diferentes componentes del sistema hidráulico del Distrito Federal ha generado una base de datos con los cuales se puede inferir el comportamiento futuro de la calidad de las fuentes de abastecimiento y permite realizar un diagnostico de las condiciones actuales siendo un elemento importante para la implementación de las acciones correctivas en las fuentes en donde la calidad sale de norma.

Partiendo del hecho de que la calidad del agua subterránea esta en función, por un lado de las características geológicas y edafológicas presentes en el suelo donde se alojan los acuíferos y por otro lado, de la incorporación de sustancias provenientes de la actividad humana, la evaluación de los diferentes componentes analizados a través de los procesos del laboratorio permiten suponer el origen de estos mismos, los cuales acompañan al agua y cuyos excesos pueden ocasionar diversos efectos adversos a la salud o de carácter estético. De este modo, el grupo de componentes que se relacionan con un origen geológico incluyen: conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, cloruros, fluoruros, calcio, sodio, potasio, radón 222 y partículas alfa y beta.

Algunos parámetros que manifiestan la presencia de contaminación de origen humano son: el nitrógeno en sus diferentes estados (nitratos, nitritos, amoniacal y proteico), bacterias coliformes fecales o asociadas, virus, organismos microscopios, parásitos o de vida libre o compuestos orgánicos sintéticos.

Con base en el análisis realizado en el laboratorio ha sido posible identificar las zonas en las cuales la calidad del agua presenta mayor problema como en el caso de la parte sur-oriente del Distrito Federal de donde se suministra a las delegaciones políticas Iztapalapa, Xochimilco, Iztacalco y Venustiano Carranza. En las delegaciones Iztapalapa e Iztacalco sus fuentes de abastecimiento internas presenta problemas debido al exceso de fierro, manganeso, nitrógeno amoniacal, nitrógeno proteico y color.

De igual manera en la zona sur de la delegación de Xochimilco, principalmente de la parte correspondiente al pueblo de Tulyehualco. Se observa la presencia de nitrógeno amoniacal y proteico.

El Estado de México también realiza muestreos de calidad del agua potable en el sistema de distribución y las tomas domiciliarias. Muestras de agua de tomas domiciliarias se analizan en los 18 municipios, para detectar la presencia de cloro residual. El porcentaje de muestras positivas recopiladas oscila entre el 47 y el 100 por ciento en los diferentes distritos. De acuerdo con las autoridades correspondientes en la entidad, el deterioro de la calidad del agua ha podido detectarse en las tomas domiciliarias en varios municipios; dicho deterioro, afirman, se debe a la infiltración de agua de mala calidad proveniente de un área localizada alrededor de un sistema con fugas de agua, así como a la precipitación de sales (principalmente calcio, magnesio, hierro y manganeso) en las líneas de distribución.

Las fugas en el sistema de distribución se cuentan entre las principales preocupaciones para quienes se ocupan tanto de la calidad como del abastecimiento de agua. Cuando el drenaje tiene fugas y existen líneas de conducción dislocadas, el suelo se impregnará induciendo infiltración de agua contaminada hacia las líneas de conducción, efecto que se acentúa cuando la presión es baja. De acuerdo con el laboratorio de calidad del agua de el SACMEX, las colonias que con mayor frecuencia experimentan interrupciones del servicio, reciben agua de mucho menor calidad que la de las colonias que reciben un abastecimiento constante. Fig. 3.3



Fig. 3.3 En promedio son reparadas 4000 fugas cada mes. (Gobierno del Distrito Federal)

Rivera et al. (1979) condujo el primer estudio independiente sobre la presencia de agentes patógenos en tomas domiciliarias en el Distrito Federal; la investigación encontró que 10 de un total de 25 muestras contenían una o más de las formas activas de organismos patógenos.

La irregularidad en el abastecimiento de agua hace de los tinacos para almacenamiento de agua una necesidad. El uso de tinacos es común en la mayoría de las azoteas; se utilizan para almacenar agua cuando la presión en el sistema es baja o inadecuada. En muchos lugares, los tanques permanecen abiertos y no se limpian con regularidad, lo cual propicia que el cloro residual se disipe y estimule la proliferación de microorganismos. La contaminación microbiológica de los tinacos puede deberse a la contaminación del cabezal del pozo, a la infiltración de contaminantes por las fugas del sistema de distribución de agua, así como a la contaminación por microorganismos suspendidos en la atmósfera, afectando directamente a los tinacos que se dejan destapados y expuestos. Los niveles normales de cloro (0.2 miligramos/litro) que se mantienen en el sistema de distribución hasta las tomas domiciliarias, no son suficientes como para desactivar los microorganismos que puedan haber ingresado a las tuberías. La importancia de mantener un remanente de cloro estriba en que previene el crecimiento de lama en el sistema y, lo que es más, resulta un indicador cuando ocurre una recontaminación. La ausencia de este remanente es causa de preocupación, pues indica la posibilidad de que algún tipo de contaminación haya ocurrido-pues esta contaminación consumiría el cloro.

El agua residual que el Gran Canal envía al área de Chiconautla se utiliza para irrigar 5,500 hectáreas. Fuera de la cuenca, parte del agua residual en bloque se usa para irrigar alrededor de 80,000 hectáreas de sembradíos en el Estado de Hidalgo, una práctica que ha evolucionado desde 1934. La protección a la salud pública se maneja a través de restricciones a las cosechas, más que al tratamiento de aguas residuales. En 1991, la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), (hoy Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL) y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH), (hoy SAGARPA) establecieron una norma que prohíbe el uso de aguas residuales sin tratar en los productos agrícolas que pueden comerse crudos y en los que crecen en la superficie de la tierra. Sin embargo, la irrigación con aguas residuales sin tratamiento podría causar aún problemas de salud, y también, deberá controlarse cuidadosamente la irrigación con aguas residuales tratadas. Como ejemplo, un estudio en la región de Xochimilco, al sur de la Ciudad de México, encontró niveles significativos de bacterias y coliformes fecales en el suelo y en algunos vegetales. La irrigación proviene de los canales de Xochimilco que reciben aguas residuales tratadas, pero el canal abierto, de 10 kilómetros de largo, está sujeto a la contaminación de los asentamientos humanos y las granjas adyacentes.



Además de la exposición directa a las aguas crudas que se introducen a los canales abiertos, los seres humanos están expuestos al polvo en áreas donde las aguas crudas llegan a ressecarse. Este polvo, que suele quedar suspendido en partículas aéreas, puede contener protozoarios vivos. Aunque la mayoría de estos protozoarios aislados en las partículas aéreas no son patógenos, en algunos lugares específicos de la región de Xochimilco se han identificado algunos que sí lo son.

### **Problemas de salud asociados al agua**

En la ZMVM, al igual que en el resto del país, las enfermedades infecciosas gastrointestinales son el principal problema de salud. Los problemas de salud ocasionados por el consumo de agua o el contacto con aguas contaminadas son diversos. En el año de 1995, se registraron en México 16,430 casos de cólera a nivel nacional, sin embargo, las medidas preventivas realizadas por la Secretaría de Salud, Comisión Nacional del Agua y los gobiernos de los estados, muestran que estas enfermedades se han reducido drásticamente, ya que en 1999, solamente se reportó un total de nueve casos y en el año 2000, a nivel nacional se reportaron cinco casos. Presentándose la última defunción a causa de esta enfermedad en noviembre de 1997.

Los niños son especialmente vulnerables a este tipo de padecimientos, que a menudo provocan diarrea aguda y, en ocasiones, la muerte por deshidratación. En 1991, la tasa de diarrea aguda en México era de 3,233 casos por cada 100,000 habitantes; 46 por ciento de estos casos ocurrieron en niños menores de 5 años. La tasa de enfermedad en el Distrito Federal es más baja que la del Estado de México y que la del país en general. En 1991, los datos del censo reportaron que las enfermedades infecciosas intestinales son la segunda causa principal de mortalidad infantil en toda la nación (con una tasa de 278.4 por cada 100,000), la tercera en el Estado de México (450 por 100,000) y la cuarta en el Distrito Federal (156.7 por 100,000) (INEGI, 1991a). La diarrea aguda prevalece en la ZMVM, donde algunas áreas muestran una mayor incidencia y mortalidad que otras.

El promedio de enfermedad y mortalidad es más elevado en las jurisdicciones con mayores características rurales, localizadas al sureste del Distrito Federal (Milpa Alta y Tláhuac), así como en algunos municipios similares del Estado de México. Como se explicará en el Capítulo 4, muchas de estas áreas tienen por lo general un acceso menor al agua conducida por tuberías hasta las casas habitación. Gracias a la administración de una efectiva terapia de



rehidratación oral, la mortalidad debida a las enfermedades diarreicas ha descendido a partir de los años ochenta. Sin embargo, este tratamiento no ataca la causa de las enfermedades diarreicas.

Los parásitos protozoarios, como la *Giardia* y la *Entamoeba histolitica*, son agentes prominentes causales de diarrea. La disentería amibiana, endémica en México (Organización Panamericana de la Salud), se transmite bajo la forma de quistes de *Entamoeba histolitica*, a menudo a través de agua de beber contaminada por heces (McFadzean y Pugh, 1976). El nivel normal de cloro tiene poco o ningún efecto en la amiba enquistada (Rose et al., 1991). Las infecciones de *Giardia* en niños pequeños representan igualmente un problema y prevalecen con promedios elevados en las áreas pobres de la Ciudad de México (Marrow et al., 1992). Otros parásitos protozoarios dañinos para la salud documentados en la Ciudad de México son el *Balantidium coli*, *Naegleria fowleri*, así como algunas especies de *Acantamoeba* (Rivera et al., 1978, 1983, 1984, 1986). La exposición a las especies patógenas de *Naegleria* y *Acantamoeba* puede provocar desórdenes en el sistema nervioso central e incluso la muerte, especialmente en niños pequeños. Se cree que los patógenos se adquieren por la nariz al nadar. Los niños que acostumbran jugar en el agua están especialmente en riesgo. Por esta razón, las autoridades deben poner especial cuidado en que las aguas destinadas al uso recreativo reciban los tratamientos adecuados.

Una gran variedad de virus entéricos pueden ser ingeridos en el agua no potable, incluidos algunos subgrupos de poliovirus, virus coxsackie, ecovirus, así como virus de hepatitis infecciosas. Estos virus pueden provocar desórdenes respiratorios, gastrointestinales y del sistema nervioso central. La hepatitis infecciosa produce enfermedades del hígado; la hepatitis A es, probablemente, endémica en México (Cech y Essman, 1992). En 1986 ocurrieron dos grandes crisis de hepatitis aguda en el Estado de Morelos, al sur de la Ciudad de México, en áreas sin servicio de agua, o con falta de servicio de drenaje. Esta fue la primera hepatitis epidémica distinta a las tipo A y B provocada por agua, documentada en Latinoamérica (Okun, 1991).

Entre todas las enfermedades conocidas causantes de diarrea, la bacteria del cólera, el *Vibrio cholera*, sobresale por su aguda sintomatología. En 1991 se reportaron casos de cólera en Perú; desde entonces, la enfermedad se propagó a la gran mayoría de los países latinoamericanos. En México hubo 2,690 casos, de los cuales un pequeño porcentaje (entre dos y tres por ciento) tuvo lugar en la Zona Metropolitana del Valle de México. Otras bacterias que

afectan la salud transmitidas por agua contaminada, o por comida infectada por el uso de agua contaminada, son la *Salmonella*, *Shigela*, *Campylobacter foetus*, *Yersinia enterocolitica* y *E. coli* (Sarti- Gutiérrez et al., 1989; Castro, 1991).

La criptosporidiosis es una de las más graves enfermedades microbianas, porque puede causar infección aún a bajas concentraciones y se adapta muy bien a vivir en el agua y puede ser resistente a la desinfección que generalmente se aplica al agua potable (Rose, 1993). Como lo evidenció el estallido de más de 400,000 casos, y más de 100 muertes en Milwaukee en abril de 1993, la contaminación puede ocurrir a pesar de que no se excedan los límites indicados en las normas para el agua potable (Fox, 1993; Rowan, 1993). No hay una terapia conocida para esta infección (Soave, 1990), y personas que tengan deficiencias del sistema inmunológico, como los pacientes de SIDA, niños y pacientes de cáncer, pueden encontrarse en riesgo. Debido a su similitud con otras enfermedades diarreicas, la criptosporidiosis no aparecerá de manera aislada hasta que se haga un esfuerzo por encontrarla, y por ende los datos son escasos.

### Problemas de Salud Debidos a la Presencia de Químicos Tóxicos

Además de los problemas típicos de los países en desarrollo, tales como la alta frecuencia de enfermedades infecciosas causadas por la contaminación fecal, México enfrenta los problemas característicos de las sociedades industriales (Organización Panamericana de la Salud). La contaminación del agua con químicos tóxicos (al igual que la contaminación del aire, el suelo y la comida) va en aumento en México. Lo químicos más preocupantes son los nitratos, los metales tóxicos y otros contaminantes inorgánicos, distintos solventes orgánicos volátiles y semivolátiles, los pesticidas agrícolas, los herbicidas y los radioquímicos. Además, son contribuyentes potenciales los lixiviados tóxicos originados por los restos químicos indebidamente desechados, las fugas en el almacenamiento subterráneo de productos industriales o generadores de energía, el agua de lluvia contaminada por la contaminación del aire, el escurrimiento en zonas agrícolas y los desechos procedentes de la actividad minera. Algunos químicos pueden provocar una toxicidad aguda o crónica. Otros pueden ser genotóxicos y tener efectos carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos. Según la Organización Panamericana de la Salud, aunque aún son superados como causa de mortalidad por las enfermedades transmisibles, los cánceres empiezan a emerger como riesgos crecientes en México y otros países latinoamericanos.

Los productos derivados de la desinfección con cloro del agua ya tratada (por ejemplo, los trihalometanos, se han convertido en tema de preocupación para las sociedades industrializadas. Estos derivados tóxicos se forman cuando al agua que contiene componentes orgánicos se le añade cloro para desinfectarla. El resultado del balance entre el riesgo de los derivados de la desinfección (que son riesgos de bajo nivel y a largo plazo) y el riesgo de los microorganismos infecciosos, ha sido examinado recientemente (véase, por ejemplo, International Life Sciences Institute, 1992; Craun, et al., 1994b). Frente a las altas tasas de mortalidad por enfermedades contraídas a través del agua, los riesgos de enfermedades crónicas derivadas de su desinfección, riesgos comparativamente mucho menores, no tienen una prioridad tan alta.

# Capítulo Cuatro

## Capítulo 4

### ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

*Resumen Capítulo 4. Se habla del potencial de demanda futura, las propuestas de carácter administrativo dirigidas a alcanzar un servicio de distribución de agua más equitativo y una mayor estabilidad financiera.*

#### Administración de la demanda de agua

Los problemas de calidad del agua y las limitaciones en su abastecimiento en la Zona Metropolitana del Valle de México están relacionados principalmente con el crecimiento de la población, así como con las tendencias macroeconómicas y de la economía regional, asuntos que escapan a la competencia de los funcionarios encargados de la planeación de su manejo. La planeación del uso de la tierra juega también un papel importante en el crecimiento de la región. En la actualidad, se llevan a cabo esfuerzos decididos para proteger de nuevas invasiones las áreas de recarga del acuífero y el espacio abierto restante; sin embargo, los esfuerzos por controlar el crecimiento en la periferia urbana seguirán enfrentando dificultades. Aunque la amplitud de estos temas sociales rebasa los fines de esta tesis, es claro que los costos que implicaría integrar nuevas fuentes de abastecimiento a la ZMVM se antojan prohibitivos en un futuro predecible especialmente si son considerados los costos reales y los daños a terceros. Es claro también que el costo total del uso de agua en la ciudad debe incluir el costo del desarrollo de sistemas de alcantarillado, así como el de instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales.

Este capítulo contempla tres problemas no menos conocidos, aunque tampoco menos fundamentales: **(1) el descuido de las políticas de conservación en la planeación del sector agua; (2) los graves problemas financieros asociados a las tarifas y recaudación tradicionales; (3) el difícil y a menudo inadecuado acceso al agua de buena calidad que afecta a las zonas marginadas de la cuenca.** Aunque la naturaleza de estos problemas tiende a ser más conductual que técnica, las soluciones propuestas en el presente capítulo (soluciones que pueden describirse como de administración de la

demanda) son directas y factibles. La administración de la demanda tiene dos componentes esenciales: (1) la conservación, para preservar las reservas disponibles, y (2) la recuperación de costos. La administración de la demanda es complementaria a las soluciones tecnológicas que buscan aumentar la disponibilidad de agua y asegurar que ésta se utilice de manera eficiente y equitativa. La administración de la demanda no es una reacción ante una situación de crisis, sino una herramienta que puede aplicarse bajo cualquier circunstancia.

Sin embargo, las estrategias de administración de la demanda pueden no resultar populares, pues hacen evidente el precio real del agua al revelar la verdadera distribución de costos y beneficios de un consumo ampliamente subsidiado. En consecuencia, las tarifas del agua en la mayoría de las metrópolis tienden a mantenerse muy por debajo de los costos reales, dado que los gobiernos locales temen tener que enfrentarse a reacciones adversas. Por lo tanto, las políticas de administración de la demanda se llevan a cabo en raras ocasiones, a menos que la situación se torne muy comprometida como sucede hoy en la ZMVM.

### **Problemas y prioridades**

Reconocer el problema que implica enfrentar demandas crecientes de agua con un nivel de calidad aceptable es una actitud reciente en México. Los principales temas a los que nos referiremos, con respecto al agua son: conservación ; recuperación de costos y solvencia financiera de la entidad que distribuya el agua; equidad en su uso; pérdidas no calculadas en el abastecimiento; necesidad de información.

En muchos sentidos, la recuperación de costos es un asunto más urgente que el de la conservación. En México, los altos subsidios otorgados al abastecimiento de agua han permitido el acceso a volúmenes ilimitados a un costo artificialmente bajo. Debido a que las industrias consumen grandes cantidades de agua, estos subsidios han servido para alentar el desarrollo industrial en la ZMVM. Por lo tanto, los subsidios han propiciado un mayor consumo y han contribuido a agudizar la escasez del agua. Esta situación no sólo es propia de México, pues hasta hace poco ofrecer agua a bajo costo era una política común en todo el mundo. Los subsidios para el agua han sido siempre populares cuando los gobiernos han querido promover el desarrollo económico local. También han sido defendidos como políticas para combatir la pobreza.

Dadas las restricciones presupuestales, los niveles históricos de subsidio al sector del agua ya no son sostenibles. Las autoridades del ramo se han percatado de que deben recurrir a los usuarios para recabar fondos que permitan mantener el nivel de servicio existente e invertir para mejorarlo en el futuro. Más de \$ 6,000 millones pesos al año se invierten en subsidiar el agua y los servicios sanitarios en el Distrito Federal, estos es alrededor de \$900 por persona. En el DF apenas se cobran \$ 2.55 por metro cúbico de agua (considerablemente menos que en otras ciudades de México).

A pesar de que las estrategias de administración de la demanda han sido subutilizadas en el pasado, es importante reconocer que este descuido es característico de la planeación del abastecimiento de agua en todo el mundo y, más aún, que las principales reformas relativas a la demanda ya tienen lugar en México. De hecho, en muchos aspectos México se encuentra a la vanguardia de los países en desarrollo. Cada vez más, se reconoce que el agua es un bien económico, por lo que comienza a implementarse una política de precios adecuados para reducir el gasto y aumentar la recuperación de costos, apoyar la expansión financiera y mejorar los sistemas de abastecimiento de agua en todo el país.

El Departamento del Distrito Federal (DDF) hoy GDF llevo a cabo en años anteriores un ambicioso programa para reemplazar los muebles y accesorios de baño existentes por unos de menor consumo de agua, y con especial decisión se ha dado a la tarea de corregir las fugas en el sistema. Se introdujeron varios programas y leyes federales nuevas, entre estos un programa de cobro por el uso de efluentes, para financiar el tratamiento de aguas residuales, así como una serie de cambios en la asignación de los derechos del agua.

La última reforma permitió a iniciar un diálogo abierto entre las partes interesadas sobre la posibilidad de negociar derechos por el uso del agua en un mercado abierto. Se observa una tendencia hacia la administración privada de los servicios municipales, en términos que mantengan la propiedad pública y al mismo tiempo introduzcan en forma gradual la competencia. Estos cambios institucionales se discuten en el capítulo 5.

### **Tarifas, uso y disponibilidad en la ZMVM**

Un análisis riguroso de la demanda de agua debe incluir un pronóstico o un cálculo de los requerimientos de agua. Sin embargo, la predicción confiable de

la demanda es un procedimiento técnico complejo, que requiere de recabar un número considerable de datos precisos y que por lo tanto está más allá del alcance de este trabajo. En su lugar, la aproximación realizada en este estudio consiste en presentar un perfil relativo al uso del agua en la ZMVM, en la medida que lo permiten los datos disponibles, para determinar hacia dónde se pueden dirigir de manera adecuada los esfuerzos de conservación. Un estudio como este puede también ayudar a detectar cuáles regiones tienen mayor necesidad de mejorar su abasto como función de su economía.

Como se señaló en el capítulo 2 (tabla 2.1), la mayor parte del uso de agua en la ZMVM es de carácter "doméstico"; le siguen el uso "industrial" y, por último, el "comercial y de servicios". Para fines de conservación, es más fácil negociar con aquellos usuarios que usan grandes cantidades de agua y son susceptibles de reaccionar a los incentivos de conservación. El sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) ha identificado hasta 60,000 usuarios "principales" de agua, aquellos que consumen por lo menos 60 metros cúbicos mensuales. Esta cifra incluye a 3,107 usuarios industriales, 16,157 usuarios comerciales y 39,892 usuarios residenciales. Hasta 1991 las tarifas para los usuarios industriales y comerciales fueron las mismas que las que se aplicaban a los usuarios domésticos. En la actualidad, la tarifa para el uso no doméstico es considerablemente más alta. La estructura de tarifas adoptada desde 1991 una tarifa progresiva en bloque que cobra más por metro cúbico en los niveles de consumo más altos, proporciona a las industrias con sistema de medición de consumo, mayores incentivos para emprender acciones dirigidas a la conservación (tabla 4.1).

A los usuarios no domésticos sin medidores, incluida la industria, se les cobra con base en el diámetro de la tubería. Por ejemplo, una cuota bimestral de \$718.77 se carga por las tuberías menores de 13 milímetros de diámetro, y la tarifa aumenta rápidamente conforme aumenta el diámetro de la tubería, hasta alcanzar los \$2,000,000 en el caso de tuberías mayores a los 300 milímetros de diámetro (Gobierno del Distrito Federal, 2002). El Gobierno del Distrito Federal ha puesto especial énfasis en instalar medidores a los usuarios que consumen más de 240 metros cúbicos por bimestre.



Tabla 4.1 Tarifas de agua para los usuarios no domésticos (industrial y comercial) en el Distrito Federal, 2002.

Consumo en M3		Tarifa	
Limite inferior	Limite superior	Cuota base(\$)	Cuota adicional por m3
00.0	10.0	76.46	0.00
10.1	20.0	152.72	0.00
20.1	30.0	220.12	0.00
30.1	60.0	229.12	11.35
60.1	90.0	569.65	14.76
90.1	120.0	1,012.39	18.18
120.1	240.0	1,557.39	21.57
240.1	420.0	4,145.31	24.98
420.1	660.0	8,640.89	28.38
660.1	960.0	15,453.23	31.96
960.1	1,500.0	25,040.87	35.79
1,500.1	EN ADELANTE	44,369.87	36.72

Fuente: Gaceta del Gobierno del Distrito Federal, Diciembre 2002

Los usuarios domésticos representan alrededor del 67 por ciento del total, y constituyen aproximadamente el mismo porcentaje de los usuarios grandes. Como se muestra en la tabla 4.2, las tarifas del agua de uso doméstico oscilan entre \$1.3 y \$27.20 por metro cúbico-la última cifra representa el consumo más elevado (Gobierno del Distrito Federal).

La creciente unificación del esquema de tarifas ofrece incentivos para la conservación donde los niveles de consumo son más altos. Sin embargo, sólo cerca de la mitad de los usuarios de tipo domésticos tienen medidor en el Distrito Federal; muchos de estos medidores no funcionan, por lo que llevar a cabo el cobro de las cuentas ha sido irregular. Un importante número de usuarios de tipo doméstico y no doméstico pagan una cuota fija por el servicio de agua.

Los hogares de bajos ingresos representan una preocupación particular, dado que por lo general no tienen un acceso al agua que les permita cubrir en forma adecuada sus necesidades de salud e higiene. Desafortunadamente, para la realización de este estudio, no se dispuso de datos que relacionen los niveles de ingreso con la conducta en el consumo. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un mínimo de 150 litros diarios por hogar en ciudades de los países desarrollados; para combatir las enfermedades relacionadas con el

agua, se consideran necesarios 75 litros al día (Falkenmark y Suprpto, 1992). El Banco Mundial calcula que se requieren por lo menos 50 litros per cápita al día para evitar problemas de salud. Como ya se ha señalado en el capítulo 3, la causa principal de mortandad infantil en áreas rurales y en asentamientos irregulares son todavía las enfermedades diarreicas.

Algunas evidencias sugieren que en los asentamientos irregulares de la ZMVM el promedio de uso per cápita es de 20 litros (Schteingart, 1993). Esta cantidad puede resultar suficiente para beber y cocinar, pero no para conservar un medio ambiente saludable. Por otra parte, los hogares de mayores ingresos suelen consumir cientos de litros de agua per cápita al día para usos discrecionales, plantas decorativas, prados y albercas, además de la que destinan a los usos más extendidos inodoros y regaderas.

Tabla 4.2 Tarifas de agua para usuarios domésticos en el Distrito Federal, 2002.

Consumo en M3		Tarifa	
Limite inferior	Limite superior	Cuota base(\$)	Cuota adicional por m3
00.0	10.0	12.73	0.00
10.1	20.0	12.73	1.50
20.1	30.0	27.73	1.75
30.1	50.0	56.13	3.32
50.1	70.0	122.61	4.25
70.1	90.0	207.85	6.65
90.1	120.0	339.52	10.54
120.1	180.0	657.52	14.31
180.1	240.0	1,514.92	20.60
240.1	420.0	2,249.12	23.66
420.1	660.0	7,009.12	27.55
660.1	960.0	13,628.92	29.83
960.1	1,500	22,575.52	34.25
1,500.1	EN ADELANTE	41,086.72	37.71

Fuente: Gaceta del Gobierno del Distrito Federal, Diciembre 2002

La tabla 4.3 muestra la disponibilidad de fuentes de agua entubada por delegación (en las siguientes categorías: toma interior, toma en patio, común, o sin ninguna) según el censo del 2000. Este censo establece una diferencia entre las llaves de agua en "patio interior" (localizadas fuera de la casa, pero en la propiedad del residente). La "Común" puede abarcar tanto las tomas que tienen acceso un determinado número de viviendas, y también las pipas que

proporcionan agua cada determinado tiempo en lugares específicos (agua que más tarde debe ser transportada a la casas), como a las que reparten el agua directamente en los domicilios. Las casas que no tienen acceso a las fuentes públicas de agua, presumiblemente se abastecen de agua superficial, pozos ilegales, o bien de vendedores particulares. Los datos de la tabla revelan que mientras el 97 por ciento de los hogares del Distrito Federal posee algún tipo de acceso al agua entubada, sólo el 74 por ciento la obtiene en el interior de su casa. El porcentaje restante depende de una toma exterior. En el área de servicio metropolitana del Estado de México, apenas el 52 por ciento de los hogares reportados obtienen el agua del interior de la casa, mientras que el 33 por ciento la obtiene del exterior.

Tabla 4.3 Fuentes de agua para uso doméstico en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2000.

	Número de viviendas	Porcentaje de viviendas por fuente de abastecimiento			Ninguno
		Inte-rior	Patio	común Toma	
Alvaro Obregón	133,937	72.6%	24.2%	3.2%	2.5%
Azcapotzalco	103,130	76.3%	22.9%	0.8%	0.7%
Benito Juárez	114,002	95.4%	4.5%	0.2%	0.3%
Coyoacán	142,533	78.7%	20.8%	0.6%	0.6%
Cuajimalpa de Morelos	23,422	55.0%	40.1%	5.0%	5.6%
Cuauhtémoc	157,079	91.9%	7.7%	0.3%	0.7%
Gustavo A. Madero	262,905	73.6%	25.5%	0.9%	1.6%
Iztacalco	93,815	75.4%	24.2%	0.4%	0.7%
Iztapalapa	294,738	62.4%	36.1%	1.6%	5.4%
Magdalena Contreras	40,247	59.3%	38.8%	1.9%	3.4%
Miguel Hidalgo	98,051	84.5%	15.1%	0.4%	0.6%
Milpa Alta	12,258	42.2%	50.8%	7.0%	17.1%
Tláhuac	39,311	39.0%	59.7%	1.2%	5.8%

---

Tlalpan	103,137	66.4%	30.2%	3.4%	13.8%
Venustiano Carranza	117,640	82.0%	17.7%	0.3%	0.7%
Xochimilco	52,966	55.0%	40.1%	4.9%	9.1%
DF Total	1,789,17	74.3%	24.4%	1.3%	3.1%
Atizapán de Zaragoza	64,990	58.6%	25.5%	0.8%	5.9%
Coacalco	32,072	89.1%	7.0%	0.4%	2.1%
Cuautitlán	9,693	66.0%	30.0%	0.9%	2.7%
Cuautitlán Izcalli	68,019	76.2%	17.5%	2.3%	2.9%
Chalco	54,155	13.7%	12.9%	1.8%	69.9%
Chicoloapan	10,749	27.2%	65.5%	2.0%	4.7%
Chimalhuacán	44,016	21.6%	56.2%	6.3%	15.1%
Ecatepec	283,413	46.8%	26.4%	1.2%	9.0%
Huixquilucán	25,392	51.5%	34.8%	2.1%	9.9%
Ixtapaluca	26,460	32.6%	35.3%	3.0%	28.5%
La Paz	25,226	39.3%	46.1%	2.0%	11.5%
Naucalpan	159,372	57.3%	39.2%	1.1%	1.3%
Nezahualcóyotl	239,951	52.3%	43.3%	0.7%	2.3%
Nicolás Romero	34,732	34.2%	46.9%	1.6%	16.4%
Tecamac	24,079	42.8%	44.5%	0.7%	11.3%
Tlalnepantla	144,366	65.3%	30.6%	1.3%	1.8%
Tultitlán	49,847	65.8%	21.5%	0.6%	11.2%
Estado de	1,296,53	52.1%	32.8%	1.4%	8.8%
ZMVM	3,085,70	63.3%	27.4%	1.3%	5.5%

---

Fuente: Censo Nacional de Población, 2000 (INEGI, 2000).

---

Tres por ciento de los hogares del Distrito Federal y casi el nueve por ciento en el Estado de México carecen de acceso al abasto público de agua.



Foto 4-1 Un carro tanque de los llamados pipas, abasteciéndose de agua para su distribución en los alrededores del área metropolitana de la Ciudad de México.

Como se puede observar en la tabla 4.3, algunas delegaciones de la ZMVM tienen niveles de servicio considerablemente más bajos que otras. En el Distrito Federal, por ejemplo, Tláhuac, Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan son áreas de servicio más bajo. De las 17 delegaciones que conforman el área de servicio del Estado de México, siete tiene más del 10 por ciento de hogares sin acceso al agua entubada, incluyendo a casi el 70 por ciento de los hogares que conforman la región de Chalco. Las áreas con peor servicio son las más recientemente desarrolladas, como la parte sur del Distrito Federal y la porción este del Estado de México.

La existencia de áreas con muy bajo nivel de servicio se entiende cuando se considera el enorme crecimiento del área metropolitana.

Durante los años ochenta, el Estado de México creció 2.5 veces más rápido que el Distrito Federal en cuanto al número de casas con servicio de agua en el interior. En términos generales, el número de casas conectadas al sistema de drenaje creció más rápido que el servicio de agua en un periodo de 30 años. El

avance en el Estado de México ha sido mucho menor, tanto con respecto al porcentaje de casas habitación con abastecimiento interior de agua, como en el incremento de éstas con el transcurso del tiempo: en 1990, sólo el 52 por ciento de los hogares tenía abastecimiento en el interior de la casa. Esto es un gran logro frente al 17 por ciento existente hacia 1960, pero representa un descenso del 62 por ciento respecto a 1980. La explicación más factible para esta situación es que el sistema de distribución de agua no pudo crecer al mismo ritmo en que creció la población del Estado de México durante los ochentas. La tendencia en el sistema de drenaje sigue un patrón similar.

En general, son pocos los datos que se tienen relativos a la provisión de otros servicios públicos para aquellos hogares de la comunidad que no reciben agua entubada. Un estudio reciente realizado por investigadores de El Colegio de México encontró tendencias distintas entre sí en cuatro asentamientos irregulares (dos en el Estado de México y dos en el Distrito Federal). Según este estudio, algunos de los habitantes de estos asentamientos se abastecían de agua sin cargo alguno en camiones del gobierno, otros pagaban por una red profesionalmente instalada y con medidor, mientras que otros más pagaban una cuota fija. La cantidad y la calidad del servicio variaba en forma considerable; por ejemplo, muchos residentes de escasos recursos bebían agua embotellada o refrescos para sustituir el agua de la llave, una alternativa cara pero en su criterio más segura que la de beber el agua entubada, en la que tenían poca confianza. De ser ciertos estos datos, se puede presumir que las estadísticas oficiales con respecto a la expansión del sistema de abastecimiento de agua no reflejan estos comportamientos.

Además del tiempo y el esfuerzo involucrados en trasladar el agua a sus hogares, los habitantes de las zonas marginadas deben enfrentar costos que a menudo les resultan excesivos. Los datos sobre los precios del agua por grupo de ingresos en la ZMVM no están disponibles. Existe alguna evidencia de que el pago de las cuentas de agua no se hace cumplir con rigor y de que a menudo no se les corta el servicio a quienes no han pagado sus recibos (Comisión Nacional del Agua, 1993). Casi todos los estudios realizados en otras grandes ciudades de los países en desarrollo revelan que los gastos mensuales por concepto de agua representan un porcentaje del ingreso mayor para los pobres que para los ricos (Crane, 1994, Banco Mundial, 1992). Esto es así porque la demanda de agua representa un gasto relativamente poco elástico, y porque algunos usuarios de bajos ingresos se ven obligados a comprar el agua a intermediarios que aumentan el precio. Se recomienda un estudio posterior para entender a fondo cómo las políticas de expansión en el sistema de

distribución, así como las políticas relativas a las tarifas, afectan la salud y el estatus económico de los más pobres.

El hecho de que el agua (que como se ha visto requiere inversiones para su tratamiento y bombeo) no se pague en forma adecuada, es una parte del problema; las fugas en el sistema representan la otra parte. Las pérdidas causadas por estos problemas son difíciles de cuantificar, debido a la falta de medidores. Sin embargo, las fugas por sí solas pueden llegar a ser del 40 por ciento en la ZMVM, de acuerdo a cálculos realizados por la Comisión Nacional del Agua. Las fugas en el sistema se pueden detectar de diferentes maneras, por medio de: medición sistemática y segmento por segmento, instalando medidores en las casas habitación, actualizando los registros de las conexiones, así como mediante el mantenimiento y la renovación de las instalaciones deterioradas por el tiempo. En la ZMVM, los problemas derivados de la antigüedad de la infraestructura se agravan debido al hundimiento del suelo provocado por el bombeo excesivo del agua subterránea, así como a los daños causados por el terremoto de 1985.

Las fugas y las pérdidas incalculables de agua son problemas que empiezan a abordarse ahora en la Ciudad de México. Las autoridades del ramo han hecho de las reparaciones parte de su esfuerzo de conservación general. En el Distrito Federal se reparan mensualmente un promedio de 4000 fugas en la red de distribución, mientras que en el Estado de México la cifra por el mismo concepto es de 2,000 (Gobierno del Distrito Federal) Además, se ha hecho un esfuerzo para eliminar las fugas caseras, especialmente en los multifamiliares. Cada año son eliminadas aproximadamente 150,000 fugas en el interior de las casas, a través de los programas de la DGCOH-DDF (Gobierno del Distrito Federal). Estos programas incluyen folletos detallados que explican a los usuarios cómo detectar y reparar las fugas de agua.

### **Elementos para la administración de la demanda**

Para aproximarse a estos problemas hay que comenzar por reconocer que el volumen de agua utilizado por diferentes personas o empresas es variable. Aunque es sabido que la cantidad de agua que se requiere para cubrir las necesidades de higiene y salud básicas es mínima, en la demanda de agua influye un gran número de factores, muchos de los cuales se encuentran bajo el control de las autoridades. Estos factores son el precio, la manera en que se cobra el uso, la confiabilidad y calidad del agua, así como las restricciones que se aplican a su utilización. Aunque el Distrito Federal tiende a elaborar sus



pronósticos de uso del agua con base a un cálculo per cápita multiplicado por una línea recta de proyección del crecimiento demográfico (Gobierno del Distrito Federal), esta aproximación no proporciona una visión precisa de las conductas de uso reales en los hogares o en las empresas.

El empleo de instrumentos administrativos para controlar el consumo de agua se conoce como administración de la demanda. En contraste con las estrategias de abastecimiento que ponen énfasis en el desarrollo de nuevos suministros para tratar los problemas de escasez, la administración de la demanda está orientada a propiciar un cambio en los hábitos de los consumidores.

Los instrumentos para la administración de la demanda incluyen las políticas involuntarias (obligatorias) y las voluntarias. Las políticas obligatorias son aquellas en cuyo establecimiento los consumidores tienen relativamente poca influencia. Estas políticas controlan directamente el uso del agua y por lo general consisten en métodos de control, tales como el racionamiento de agua, la reparación de la tubería, nuevos códigos de construcción y normas para el reuso del agua. En 1989, el DDF hoy GDF inició un programa para instalar en los grandes edificios de departamentos y oficinas dispositivos para que los retretes pudieran funcionar con depósitos de 6 litros de agua (los normales usaban un promedio de 16 litros). En 1991, el programa había realizado 330,000 instalaciones, con lo que se lograba un ahorro en el consumo cercano a 0.8 mcs. Se estima que para 1996 el programa habrá reducido el consumo de agua en 4.3 mcs en el Distrito Federal. El Estado de México puso en marcha un programa similar, con el que redujo el consumo en su área de servicio en 3.7 mcs (Gobierno del Distrito Federal).

Quizás, el medio menos utilizado para controlar el nivel del consumo de agua en la ZMVM es el empleo de instrumentos indirectos o voluntarios, como las tarifas de agua y las campañas educativas. En parte, esto puede ser reflejo de la planeación del sector orientada al abastecimiento tradicional, que ha puesto poco énfasis en lo relativo a la modificación de ciertos hábitos de uso. La experiencia ha demostrado que se pueden obtener reducciones significativas en el consumo llevando a cabo reformas muy modestas. En especial, las nuevas políticas de tarifas, así como la atención a algunos principios básicos en el manejo del precio y el cobro del agua, deberían limitar la demanda de las reservas existentes y mejorar la salud financiera del sistema.



Existen tres componentes básicos en la política administrativa de tarifas. El primer componente, tal vez el más conocido en México, es la "recuperación de costos", o la relación directa entre los gastos y las ganancias del sistema. En un esquema ideal, la recuperación de costos debería abarcar la distribución, el desecho y los costos del tratamiento, así como otros gastos (entre ellos, los provocados por el hundimiento del suelo a causa de la sobreexplotación de los acuíferos que por lo general no son considerados como gastos del sistema y que de hecho no se toman en cuenta. En algunos casos incluso los costos de capital para las instalaciones construidas se ignoran a favor de una política de tarifas que sólo contempla los gastos de recuperación, operación y mantenimiento. Pero esta aproximación, aunque limitada, puede representar un primer paso.

El segundo componente de una política de tarifas es la demanda. La demanda se relaciona con lo que la gente está dispuesta a pagar. En contraste, una necesidad no depende por lo general del costo. Si los consumidores están dispuestos o no a financiar un nuevo sistema de abastecimiento de agua, es una cuestión que puede representar un ejemplo de cómo asociar el costo a la demanda. De hecho, esta es la pregunta central que hoy guía las políticas dirigidas a mejorar la infraestructura en los países en desarrollo: ¿está el costo justificado por la demanda?

La tercera consideración relacionada con las tarifas es la equidad, que alude a la necesidad de establecer un justo equilibrio en la distribución de los costos del agua, en hogares con ingresos diferentes. Dentro de las restricciones que la necesidad de mantener este equilibrio implica, la forma actual de establecer tarifas puede ser estructurada de muchas maneras. Los usuarios podrían pagar un solo cargo para cubrir los costos que implica extender el abastecimiento de agua a su propiedad. Asimismo, podrían pagar otro por la conexión al sistema. Podrían también realizar pagos fijos periódicos relacionados con el uso del agua, pero que no varíen en relación directa a su uso (pagos establecidos, por ejemplo, de acuerdo al diámetro de la tubería), o bien efectuar pagos periódicos en base al uso real. Como se mencionó antes, el esquema de precios más común en la ZMVM, especialmente para los grandes usuarios industriales y comerciales, es un pago fijo periódico establecido con base en el diámetro de la tubería.

Junto con la política de tarifas, la educación y la conciencia pública juegan un importante papel en la conservación. Un programa público de educación bien diseñado puede lograr una reducción sustancial en la demanda de agua.

Desafortunadamente, una gran cantidad de malos hábitos relacionados con el uso del agua están bien arraigados en la mayor parte de los adultos. En los años recientes, la DGCOH-DDF hoy SACMEX ha establecido una sección que vigila el uso del agua; esta sección cuenta hoy con un laboratorio que permite probar la efectividad de los dispositivos para ahorrar agua, algunas publicaciones relativas a la conservación, así como un imaginativo y dinámico programa de "detective" de agua para escolares cuarto y quinto grados de primaria, cuyo fin es enseñar a descubrir fugas. Existe un gran número de mensajes en los medios de comunicación en México que llaman a cuidar el valioso recurso del agua. En el caso de la ZMVM, aún no está claro qué tan grande ha sido el impacto de estas campañas de información. El público ya está sujeto a muchas campañas de distintas clases y los medios pueden estar saturados. Al mismo tiempo, la gente podrá comprender la naturaleza del problema del agua en la medida en que tome conciencia de la importancia de conservar este recurso.

### **Puesta en práctica**

Una cosa es hablar de la mejor manera de hacer las cosas y otra muy distinta es llevarlas a cabo. Por ejemplo, aunque elevar las tarifas del agua podría desalentar el desperdicio de agua entre muchos usuarios, esta medida no deja de tener inconvenientes. Los incentivos en los precios sólo operan cuando el uso del agua está medido y la decisión de medir o no medir es en parte un asunto administrativo. Una política de tarifas sólo será efectiva en la medida que cubra dos condiciones: (1) una administración capaz, lo cual requiere de un alto nivel de competencia en costos, presupuestos y procedimientos de contabilidad para llevar a cabo cálculos realistas de precios y supervisar su ejecución; (2) aplicación de medidas de refuerzo adecuadas contra los infractores. Los programas más efectivos de conservación de agua de uso doméstico han combinado el alza de tarifas con campañas de información al público que refuerzan el mensaje de la necesidad de conservar, junto con la participación del público para generar el apoyo de la comunidad.

En la Ciudad de México sólo el 53 por ciento de los usuarios tiene medidor y no todos los medidores funcionan en forma adecuada. Muchos medidores leen de manera irregular; las medidas de refuerzo para efectuar los cobros de las cuentas han encontrado dificultades en el pasado. Obviamente, la falta de medidores es un impedimento tanto para la recuperación de costos como para la conservación del agua. Para conseguir una medición óptima, habría que instalar varios millones de medidores adicionales, a un costo total de \$700

cada uno. Los medidores, junto con una tarifa basada en el volumen efectivo y en el sistema de recolección, podrían reducir sustancialmente el uso del agua, ya que los consumidores tendrían un incentivo para conservar y, en particular, para evitar el despilfarro. Además, los medidores permiten detectar de manera más sencilla las fugas del sistema.

### Uso Doméstico

Cualquier discusión sobre temas relacionados con la ejecución de las políticas administrativas de uso doméstico del agua, implica considerar los conceptos de equidad y eficiencia de los servicios. Está bien documentado que, cuando ha sido necesario, las clases económicamente menos favorecidas en los países en desarrollo se han mostrado dispuestas a pagar la parte que en justicia les corresponde para un abastecimiento de agua de buena calidad. En las grandes ciudades del mundo en desarrollo, donde los habitantes de escasos recursos tienen un acceso limitado a las fuentes confiables de agua, la investigación ha documentado que las personas pagan más por el agua que otros habitantes. En la mayoría de los casos, la gente que no tiene un acceso adecuado a las fuentes públicas de abastecimiento se beneficiaría con el pago de servicios, en el caso de que éstos mejoraran sensiblemente.

Aparte de las preocupaciones relacionadas con respeto a la equidad, los obstáculos de ejecución en el sector doméstico incluyen la resistencia general a aceptar tarifas de agua por parte de quienes no tienen un sistema con medición, junto con otras dificultades prácticas asociadas con el diseño de tarifas uniformes y con el uso de los medidores. La impopularidad de establecer los precios del agua sustancialmente más altos, así como la imposición de un sistema de cobro más riguroso, son asuntos institucionales y administrativos difíciles de resolver en el sector doméstico. En la práctica, fijar nuevas tarifas es un asunto delicado y complejo. No es necesario explicar por qué cuando a la gente se le pregunta cuánto preferiría pagar (por cualquier cosa), invariablemente responde que preferiría no pagar nada. Aún así, la mayor parte de la gente entiende que ningún sistema se puede sostener a sí mismo bajo este esquema y que algunos bienes, tal vez la mayoría, deben ser sostenidos con alguna forma de pago. Esto es cada vez más cierto respecto al aire que respiramos, por ejemplo, en la Ciudad de México y en otras partes. Para mejorar, o incluso para mantener la calidad del aire, ha sido necesario pagar más por la gasolina, manejar menos y aceptar muchos otros inconvenientes y costos adicionales. Si se le da tiempo, la idea de establecer precios que cubran los costos del agua tendrá más aceptación, particularmente

---

una vez que la relación costo/calidad y disponibilidad del agua haya sido comprendida. La tarea consiste entonces en educar al público y a los políticos con respecto a esta relación. No hay duda de que la gente está dispuesta a pagar por un agua de mejor calidad en muchos sentido ya lo hace, especialmente en las áreas donde el agua se distribuye de manera privada. La cuestión, entonces, es enseñar a los consumidores que tienen pocas alternativas de largo plazo para pagar el precio real del agua.

Los medidores también presentan dificultades de instalación. Por ejemplo, no es aconsejable ponerlos en todas las áreas de la ZMVM. Además del costo básico del medidor, el costo de medir es alto, pues abarca inversiones en instalación, así como el gasto de la lectura regular, mantenimiento, cobros y contabilidad. Los beneficios de medir deben ser considerados junto con estos costos. Para los grandes consumidores y empresarios, medir siempre será efectivo en términos de costos. Para los pequeños consumidores de las áreas poco desarrolladas y de bajos ingresos, medir probablemente no es apropiado a corto plazo, porque muchos de los usuarios no tienen tubería en casa y usan muy poca agua.

### Usuarios Industriales

La experiencia, tanto en países industrializados como en países en desarrollo, muestra por igual que las industrias tienden a utilizar el agua con una mejor relación costo-beneficio que otros sectores de la sociedad. Mientras que la industria no es un gran usuario de agua, comparada con otros sectores, sus instalaciones con frecuencia están ubicadas en las áreas urbanas, donde el consumo de agua aumenta más rápido. El precio por unidad de agua normalmente se coloca más alto para la industria que para los usuarios domésticos, por razones que por lo general tienen que ver con el financiamiento de capital-costos de infraestructura y los altos costos del tratamiento de aguas residuales industriales. Además, las industrias tienden a ser actores racionales que responden de manera expedita a los incentivos económicos y reguladores. El potencial para un uso del agua en forma más racional y con mayor efectividad la relación costo-beneficio en el sector industrial ha sido demostrado en los hechos, tanto en los países industrializados como en aquellos que se encuentran en vías de desarrollo. En muchos casos, el costo adicional por el tratamiento de aguas residuales industriales, o la necesidad para la industria de tratar su agua residual antes de desecharla al drenaje público, es una motivación suficiente para iniciar un programa de conservación de agua.

## Obstáculos Institucionales y Administrativos

Los gobiernos tienen dificultades al tratar el tema de la conservación del agua, porque se trata de un asunto que en casi todas partes tiene una fuerte carga política. La gente ve al agua como un bien esencial para la vida y muchos consideran que por esta razón las autoridades están obligadas a ofrecerla a la población sin costo, o a muy bajo costo. Por lo tanto, hace falta una gran decisión para elevar las tarifas, reforzar el sistema de distribución, instalar medidores y establecer las sanciones que permitan reducir la demanda. Además, cuando el abastecimiento es irregular y la gente no recibe agua, o cuando la presión en el sistema es demasiado baja la mayor parte del tiempo, se generaliza una negativa a pagar los precios fijados; al no pagarse estos precios, las instalaciones carecen de los recursos necesarios para su reparación. En consecuencia, el servicio empeora y la situación sufre un deterioro en espiral descendente.

El agua juega un papel importante en la política regional. Las regiones y las ciudades que en ellas se encuentran dependen unas de otras para crecer e invertir, por lo que se resisten a la limitación de cualquier recurso fundamental para el crecimiento, como lo es el agua. Las cifras del crecimiento de la población se exageran a menudo, con el objeto de que determinadas regiones obtengan una mayor participación del presupuesto nacional, así como mayores subsidios para el desarrollo de infraestructura \*como sistemas de abastecimiento de agua, drenajes y carreteras. Dado que las inversiones fluyen a determinadas regiones a expensas de otras, lo lógico es que esta emigración ocurra hacia las regiones con mejores servicios. Ciertas regiones y ciudades se convierten en centros de poder e influencia, mientras que la importancia de otras se debilita. A pesar de estas dificultades, México lucha por revertir tendencias del pasado. El presupuesto nacional de 1992 en materia de inversiones para el sector, muestra un descenso del presupuesto federal en la ZMVM, mientras que otras ciudades y otras áreas rurales obtienen mayor atención.

En todo el mundo, las empresas municipales de agua se han dedicado a impulsar proyectos de construcción más que a la administración de la demanda. Por tradición y algunas veces por ley, a estas empresas se les pide que ofrezcan un servicio de agua lo más barato posible. Cuando las tarifas están altamente subsidiadas y el acceso a nuevas fuentes de abastecimiento se basa en otras fuentes económicas distintas a las tarifas, el argumento de la conservación para ahorrar costos tiene poca fuerza. En México, al igual que en

muchos países en desarrollo, las instancias de apoyo externo han tendido a centrarse en otorgar dinero para la construcción en la capital, pero no para la operación, el mantenimiento o la administración. La posibilidad de adoptar un programa de administración de la demanda depende de la capacidad de las instituciones responsables del abastecimiento de agua.

En la ZMVM ha existido un alto nivel de centralización de las funciones operativas y, al mismo tiempo, una separación entre las funciones operativas y las responsables de establecer las tarifas y recolectar los pagos. Por lo tanto, la eficiencia con la que la entidad encargada del agua opera no es congruente con los fines municipales. La creación en 1992 de la Comisión de Aguas del Distrito Federal, hoy Sistema de Aguas de la Ciudad de México, tiene entre sus objetivos cambiar esos esquemas de organización (Comisión Nacional de Agua, 1992; véase el capítulo 5 de este reporte).

### Crecimiento de la Capacidad Instalada

Históricamente, las oficinas municipales de agua en todo el mundo han mostrado una preferencia por el desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, en lugar de procurar una modificación en los patrones de la demanda entre los usuarios. Para cambiar estos patrones se requiere de la participación a fondo de los economistas y otros científicos sociales especializados en el diseño de incentivos económicos y otros instrumentos de persuasión. A pesar de la evidente importancia de la formación en ciencias sociales para establecer estrategias de demanda de agua, muchas oficinas emplean preferentemente ingenieros. Los economistas y otros científicos sociales se emplean a menudo en los niveles medio y bajo en la jerarquía de estas dependencias por lo que tiene poca influencia en la toma de decisiones. Además, a las oficinas encargadas de la conservación se les otorgan recursos insuficientes para sostener la administración de la demanda y un nivel bajo en la organización.

La ejecución de los planes de conservación es un asunto complejo y requiere capacidad para considerar cuestiones como, por ejemplo, costos administrativos y de organización, políticas, temas ambientales, de desarrollo institucional, desarrollo de recursos humanos, organización de la comunidad, gravámenes del sector del agua, asuntos legales, manejo de la información y contratación. Los programas de administración de la demanda afectarán a muchos grupos distintos, desde las oficinas administrativas hasta los consumidores. Los incentivos y la falta de ellos que enfrenta cada autoridad



municipal del agua deben ser evaluados. Los incentivos incluyen el aumento de la capacidad de abastecimiento y, por lo tanto, la reducción de la inversión y los costos de operación. La posible falta de incentivos se debe a la disminución de las ganancias, la necesidad de ajustes más frecuentes a la tarifa y a la creciente dificultad para prever la demanda futura. Los efectos que cualquier estrategia de conservación pudieran tener en las dependencias locales encargadas del agua, especialmente las formuladas en los niveles más altos del gobierno, deben estar correctamente orientadas si se espera que estas dependencias acepten el concepto y la práctica de una mayor eficiencia en el uso del agua.

Una adecuada relación costo-beneficio, también requiere de capacidad técnica y administrativa para operar un sistema de tarifas en forma eficiente. Esto requiere de una medición razonablemente exacta del abastecimiento de agua para cada consumidor. Entonces, la instalación inicial de los medidores debe estar respaldada por un sistema adecuado de mantenimiento y reparación (incluyendo la recalibración de los medidores a intervalos apropiados). La lectura de los medidores debe también realizarse a intervalos claramente definidos. La administración de las cuentas y el envío de recibos deben realizarse con el menor retraso posible después de la lectura del medidor. Por último, es necesario obligar a que el pago de las cuentas se lleve a cabo en un tiempo razonable, estableciendo sanciones definidas para quien pague con retraso. El desarrollo de la capacidad administrativa y técnica debe acompañarse de innovaciones políticas, como la revisión de las tarifas, para obtener los resultados deseados.

Aquí vale la pena insistir en dos puntos. Primero, en que las oficinas de conservación deben recibir los recursos necesarios para que operen en forma efectiva, incluyendo los fondos para atraer personal calificado, especialmente de quienes están titulados en áreas pertenecientes a las ciencias sociales. Los científicos sociales tenderán a orientar las políticas relativas al agua menos hacia el control y más hacia la administración de la demanda, puesto que se les asignará un nivel jerárquico adecuado dentro de la organización. Segundo, para poder llevar a cabo los programas de administración de la demanda por encima de otros intereses creados, las oficinas de conservación del agua deben tener asignado un alto nivel dentro del departamento de aguas y otras oficinas municipales de la ZMVM. Este nivel jerárquico dependerá, en parte, de la capacidad y profesionalismo del personal de la oficina de conservación.

Se ha demostrado repetidas veces que, incluso con los programas más simples de conservación del agua, el uso de la misma se puede reducir de 20 a 30 por ciento sin afectar sustancialmente el bienestar de los habitantes o de los negocios, introduciendo incentivos de conservación o tecnología que genere los mismos servicios de agua con menores costos (Martín et al., 1980; Shaw et al., 1992). Simplemente, el hecho de medir el uso del agua de manera más amplia lo reducirá de manera efectiva, particularmente si esta medida se acompaña de una adecuada estructura de precios, por ejemplo, una tarifa en bloque que aumente en forma paulatina. Sin embargo, la capacidad institucional adecuada es un prerrequisito para el éxito. La Ciudad de México puede obtener ahorros como los señalados si se pone suficiente atención en el establecimiento adecuado de estrategias para la administración de la demanda. Por supuesto, las políticas de conservación del agua deben ser diseñadas para un contexto específico y los programas que tuvieron éxito en otras partes pueden no resultar apropiados para la ZMVM.

El GDF ha puesto en marcha un ambicioso programa para reducir la demanda de agua en una comunidad, a través de la instalación de implementos para ahorrar agua, como retretes y regaderas de bajo flujo. En los años recientes, las autoridades del agua de la ZMVM han establecido metas para una mejor administración de la demanda y han dado pasos importantes hacia la consecución de las mismas. Se llevó a cabo una reorganización para descentralizar e integrar mejor las funciones, fueron modificadas las estructuras de las tarifas y, lo que es tal vez más importante, se intentó enfrentar el crecimiento urbano, problema que ha originado muchos de los problemas relativos al agua. En el documento titulado *Agua 2000*, el jefe del Departamento del Distrito Federal hoy GDF dio reconocimiento oficial a la necesidad de controlar el crecimiento y llevar a la población fuera de las áreas de recarga y hacia las áreas donde existe infraestructura (Departamento del Distrito Federal, 1991a). Además, se ha reconocido la necesidad de modificar algunos conceptos muy difundidos entre la población relacionados con el agua.

Estos son pasos que apuntan en la dirección correcta, pero la importancia de una reforma posterior es clara. Los costos de utilizar agua en la ZMVM se han elevado agudamente en los años recientes y continuarán en aumento, ya que la demanda promete sobrepasar las reservas en poco tiempo.



# Capítulo Cinco

## Capítulo 5

### ASPECTOS INSTITUCIONALES

*Resumen Capítulo 5. Se identifican los cambios recientes relativos a las políticas y la reglamentación del uso del agua; asimismo, se examinan algunos de los retos que las instituciones enfrentan para obtener un abasto de agua más efectivo y para lograr un mejor control de la calidad del agua..*

En México, el uso del agua ha estado unido históricamente a la idea de que, por ser propiedad del Estado, se trata de un recurso cuyo aprovechamiento debe ser un derecho constitucional gratuito para cada ciudadano. Este concepto proviene de las reformas a la tenencia de la tierra establecidas en el artículo 27 de la Constitución Política Mexicana de 1917. Desde 1988, México ha pasado por un proceso intenso de modificaciones a las leyes que norman la distribución del agua y que regulan su calidad. Hoy, las reformas recientes promueven el establecimiento de derechos privados sobre el uso del agua que permitan que se privatice la administración de los servicios de abastecimiento y drenaje, incorporando algunos principios nuevos, como la necesidad de conducir un análisis de costo-beneficio en la aplicación de las normas regulatorias. Se ha establecido un nuevo cargo, el de Procurador Federal del Medio Ambiente, hecho que apoya bien la idea de que el cuidado del medio ambiente también merece representación en el gobierno. Asimismo, se ha puesto mayor énfasis en varias medidas para la conservación del agua, incluidas las relativas a su reuso. Estos cambios han creado una atmósfera que hoy permite que las leyes y reglamentos relativos al agua puedan ser reformados de manera más ágil y más racional que en el pasado.

En este capítulo se aborda el tema de las instituciones encargadas de administrar la distribución del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como el de las instituciones responsables de la calidad del agua. La información sobre el desarrollo de estas instituciones en la ZMVM no ha sido publicada. Para obtenerla, el Tesista ha establecido comunicación directa con las autoridades responsables y se ha basado en el material que le proporcionaron la Comisión Nacional del Agua, la Secretaría de Salud, la Suprema Corte de Justicia de la Nación, la Secretaría de Desarrollo Social (antes Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), el

---

Departamento del Distrito Federal, El Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la Comisión de Aguas del Estado de México.

### **Instituciones responsables de la cantidad de agua**

En México, el poder institucional está depositado, con una carga mayor que en otros países, en el presidente de la República y en las Secretarías de Estado. De acuerdo con el artículo 27 de la Constitución, el Presidente tiene el poder de regular la extracción y el uso de las aguas nacionales, de establecer áreas en las que el agua no puede ser extraída y, a través de sus representantes designados, el de establecer reglas para la expedición de permisos de uso del agua bajo los términos dictados por las leyes que autoriza el Congreso.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación y recursos hidráulicos (SAGARPA) es la dependencia más importante relacionada con la distribución del agua. La Comisión Nacional del Agua fue creada por el Congreso para llevar a cabo las tareas de distribución. La Comisión, que integra consejeros de otras secretarías, está dividida en cinco subdirecciones: 1) Planeación y Finanzas; 2) Infraestructura Hidroagrícola; 3) Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial; 4) Investigación (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA) y 5) Administración del Agua. Esta última subdirección es la responsable de elaborar y ordenar los registros, otorgar permisos y, en general, de todo el proceso de distribución del agua desde el punto de vista administrativo.

La Comisión mantiene seis oficinas regionales, cada una representada por un administrador regional nombrado por el director de la propia Comisión. La Cuenca de México es una región de la que forman parte el Distrito Federal, y en forma parcial el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Morelos.

Cada uno de estos estados tiene un director regional estatal; sin embargo, estos directores estatales regionales, aunque no dejan de ser importantes, no tienen la capacidad de decisión necesaria, debido al tremendo poder financiero e institucional que el Distrito Federal ejerce al amparo de una ley especial para la distribución del agua en el DF. En la Zona Metropolitana del Valle de México, las instituciones gubernamentales clave son el Gobierno del Distrito Federal (GDF), la Comisión Nacional del Agua (CNA)-debido al número de pozos en el área y a las importaciones de agua desde otras cuencas-y la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CAEM) del Estado de México. El Distrito Federal no es un estado, sino una entidad del gobierno federal,

regulado a través de una legislación especial. De acuerdo con esta legislación, el Jefe de Gobierno del Distrito Federal es elegido democráticamente desde 1997, el Distrito Federal tiene mayor influencia en la ZMVM que el Estado de México.

En el Distrito Federal, tanto la distribución de agua como la infraestructura que para este fin se requiere están bajo el control de El sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). La recolección de pagos, medidores y servicio está a cargo, en forma independiente, de la Tesorería del Distrito Federal.

En la porción de la Cuenca de México que está bajo la jurisdicción del Estado de México, la Comisión Nacional del Agua envía el agua en bloque a la Comisión de Aguas del Estado de México. Esta dependencia estatal es la responsable de recibir el agua, tratarla y distribuirla a varios municipios del estado. Los estados y municipalidades deben solicitar a la Comisión Nacional del Agua los permisos necesarios para extraer agua subterránea. Al igual que las oficinas públicas, las compañías privadas están reguladas y autorizadas por la Comisión Nacional del Agua para la distribución, extracción o comercialización del agua.

Las acciones compartidas entre el Estado de México y el Distrito Federal en la ZMVM son, sorprendentemente, muy pocas. Aunque guardan relaciones cordiales, tienen dos infraestructuras del todo separadas y distintas. Así, pudiera llegar a suceder que en dos banquetas opuestas de una misma calle se encuentren dos líneas de agua independientes, una estatal y otra federal.

A diferencia de la entidades estatales, las instancias federales reciben muy escasos fondos directos y deben apoyarse en las tarifas para sustentar su operación. Cuando los usuarios no pagan sus cuentas, lo que sucede a menudo, debido a las razones expuestas en el capítulo 4, es que los estados no pueden pagar a la Comisión Nacional del Agua su participación en la infraestructura general. Así, cada año se discute ampliamente a cuánto ascenderá el subsidio que debe otorgar la Comisión Nacional del Agua, ya que las entidades del estado por lo general no han podido pagar sus cuentas. En respuesta a este problema, un gran número de medidas (las cuales se discutirán más abajo) se llevan a cabo para proteger el acuífero y conservar el agua con un sistema más eficiente. Los arreglos institucionales para la distribución del agua en los estados de Hidalgo, Puebla, y Tlaxcala (fuera de la ZMVM) son similares a los que rigen para el Estado de México

## **Nueva Estrategia Para el Distrito Federal**

Mediante decreto de privatización expedido en julio de 1992, se creó la nueva Comisión de Aguas del Distrito Federal, (a partir de 2003 Sistema de Aguas de la Ciudad de México, SACMEX) con el fin de mejorar administrativamente la distribución pública de agua potable y los servicios de drenaje, tratamiento y reuso de aguas residuales. En un esfuerzo orientado a la modernización, el decreto otorga a el Sistema de Aguas de la Ciudad de México las facultades para privatizar la administración y la operación del servicio de agua en el Distrito Federal. El gobierno espera que este proceso promueva una nueva perspectiva cultural, que ilustre a la ciudadanía respecto al hecho de que el agua del Distrito Federal es un recurso limitado por cuyo servicio los habitantes del área deben pagar.

Bajo el nuevo decreto, la oficina de aguas existente mantiene el control de las obras principales, como el canal de transmisión construido alrededor de la Ciudad de México, pero El SACMEX se encargará de las áreas de abastecimiento, tratamiento, drenaje y tratamiento de aguas residuales.

En octubre de 1992, el Departamento del Distrito Federal (hoy Gobierno del Distrito Federal), solicitó cotizaciones de compañías privadas para la administración de la distribución y el cobro de pagos en el DF. Se firmaron contratos con las compañías ganadoras, los cuales fueron planteados en tres etapas. La primera es una actualización de los registros de los usuarios y la instalación de medidores. La segunda consistió en el cobro a los consumidores, bajo el sistema de uso medido. La tercera etapa consiste en el mantenimiento y reparación del sistema de distribución por parte de las propias empresas privadas. En las dos primeras etapas el contratista será remunerado por tareas específicas, como instalar medidores o expedir cobros. Sin embargo, en la etapa final la ciudad venderá el agua en bloque a los contratistas, mientras que las compañías, a su vez, venderán el agua a los consumidores finales. El gobierno establecerá un esquema preliminar de tarifas de agua, que puede variar para cada una de las cuatro zonas de servicio, de acuerdo a sus características demográficas. Eventualmente, la ciudad basará el establecimiento de las tarifas de agua en el promedio total por unidad de volumen de agua proporcionada a los contratistas. En este punto, las compañías privadas se encargarán de operar y mantener el sistema de distribución de agua bajo dos premisas naturales: (1) perderán ganancias si no cobran las cuotas; (2) incurrirán en costos por fugas. El precio en que se venda el agua a los contratistas será determinado tras un periodo de operación, bajo un sistema de "cuota por tarea", cuyo objetivo es reducir la incertidumbre tanto para los ciudadanos como para los contratistas.

Una característica distintiva de este esquema es la división del DF en cuatro "zonas" con diferente número de usuarios; cuatro compañías distintas ganaron el contrato de servicio para cada zona. Existen, pues, cuatro empresas en operación para esta etapa de acuerdos iniciales. Hasta el momento, se ha otorgado contrato a un consorcio de compañías mexicanas y a tres transnacionales: una francesa, una estadounidense y una británica.

El Gobierno del Distrito Federal (GDF) calcula ahora que este sistema de cobro y medida reducirá las necesidades de agua en la ciudad entre el 30 y el 40 por ciento, en parte a través de la reparación de fugas y en parte como consecuencia del menor consumo que se espera resulte del incremento en las tarifas. Este desplazamiento hacia la privatización tiene algunos precedentes. El gobierno mexicano ha privatizado más de 1000 empresas públicas y de servicios, incluyendo al menos dos plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal. La participación de la industria privada ha alcanzado ya a las aerolíneas y las telecomunicaciones, así como la construcción de carreteras y bancos.

Mientras avanza mas la iniciativa de privatización para el envío de agua en el Distrito Federal, la Comisión Nacional del Agua, El sistema de Aguas de la Ciudad de México, el Gobierno del Distrito Federal y las compañías privadas que se encarguen de administrar la distribución, tendrán que coordinarse y cooperar. Es a nivel nacional como los permisos y el agua en bloque se reparten a los distribuidores locales. Surgirán cuestiones difíciles, como las relativas a quién asumirá el costo de construcción de la infraestructura, o a la manera como se establecerán las tarifas y las medidas prácticas para lograr una mayor eficiencia en el uso y la distribución del agua.

### **Nueva Ley Federal de Derechos de Agua**

El 1º de diciembre de 1992 se publicó en México una nueva ley que cambió por completo el método de distribución del agua subterránea en México. La nueva ley establece que, en términos hidrológicos, una cuenca puede ser privatizada en su totalidad. Privatizar en su totalidad una cuenca no significa que alguien pueda llegar, hacer un pozo y conseguir un nuevo derecho de agua. Más bien, representa la posibilidad que alguien intercambie los derechos de un usuario existente, para crear así un mercado de derechos del agua. La efectividad de esta ley depende de que se conozca la cantidad de agua que empleaba el usuario anterior, asunto que se enfrenta con el problema de las carencias existentes en materia de medición. Aun así, se puede establecer una

cantidad permitida de agua, con base en investigaciones hidrológicas y otros métodos. Esta ley también se aplica a los abastecimientos de agua potable. Antes de diciembre de 1992, cualquier proveedor de agua potable no tenía más que hacer una solicitud para obtener un permiso de pozo. Ahora, el aspirante debe comprar los permisos de otros usuarios. Esta nueva ley deberá ser útil para controlar las extracciones de agua subterránea en áreas altamente explotadas, pues limita la disponibilidad de los permisos.

La ley aborda de una manera muy vaga el tema de los daños a terceros, aunque no existen reglamentos que le den sentido a esta situación. En cuanto a la interferencia de pozos, la vieja ley prohibía que se colocara un pozo a menos de 500 metros de otro. Con la nueva ley, los cálculos variarán dependiendo de los coeficientes del acuífero. También serán importantes las medidas relativas al registro de permisos, verificación y monitoreo.

### **Consejos Regionales de Planeación del Agua**

Un cambio significativo en la nueva ley nacional del agua es el relacionado a la creación de consejos regionales en las cuencas, que tienen la función de ayudar a definir el abastecimiento general de agua y a proporcionar la infraestructura para el manejo del agua superficial y subterránea, a la administración local. Los consejos son designados para trabajar con la Comisión Nacional del Agua y las comisiones estatales de agua para establecer prioridades de uso, promover la conservación y representar a los distintos grupos de usuarios en la región. La Cuenca de México es considerada como una región independiente y en el futuro se establecerá un consejo especial para ella.

Los distritos de riego locales y las cooperativas agrarias representan un rico precedente histórico para el desarrollo de estos consejos regionales de las cuencas. Los grupos locales de planeación han empezado ya a dar frutos en la cuenca Lerma-Chapala, donde distintos grupos públicos y privados trabajan para desarrollar planes más eficientes y un uso equitativo de este recurso finito.

El GDF, a través de estrategias de educación y promoción, intenta hacer conscientes a los usuarios de que para obtener un mejor servicio es necesario el pago por agua medida, a precios que reflejen su verdadero costo. Al pagar un precio mayor, el público demandará mayor participación en las decisiones relacionadas con la justa distribución del agua y podrá obtener la seguridad de que los costos se distribuyan de manera justa. Los nuevos Consejos



Regionales de Agua representan un importante avance institucional, ya que los usuarios tendrán voz en estos foros. Los consejos serán un espacio de debate abierto sobre diversos temas, como el precio del agua, los derechos de uso, las medidas de conservación y el desarrollo de infraestructura.

### **Instituciones responsables de la calidad del agua**

La institución nacional para la protección del medio ambiente, la Secretaría de Desarrollo Social, tiene amplias facultades. La Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud han visto ampliadas también sus facultades gracias a las nuevas reformas legales. Debido al predominio de estas instituciones federales, las oficinas de salud locales o estatales tienen poca responsabilidad en la vigilancia de la calidad del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Desafortunadamente, estas oficinas federales de salud tienen una jurisdicción poco definida y reglamentos inconsistentes que hacen difícil desarrollar una legislación más completa con respecto al agua, como lo manda la Ley General de Equilibrio Ecológico de 1988. Aunque la ley de 1988 anunciaba un plan muy extenso para proteger el ambiente, este plan sólo se ha llevado a cabo en áreas donde las crisis han obligado a actuar. Hoy se aplican, mientras se promulgan nuevos reglamentos, los establecidos por la ley de Protección de los Recursos del Agua de 1971.

La nueva Ley Federal Sobre Metrología y Normalización del 1º de julio de 1992 y la nueva posición del Procurador Federal del Medio Ambiente representan reformas significativas. El Procurador Federal del Medio Ambiente tiene facultades para obligar a las empresas privadas y paraestatales a cumplir las normas gubernamentales de protección ambiental. El procurador federal opera al margen del aparato burocrático, hecho que podría servirle para atraer la atención a nivel nacional hacia a los problemas relacionados con la seria degradación ambiental, incluyendo el tema de la calidad del agua en la ZMVM. Esto podría propiciar que se establecieran en todo el país reglamentos más amplios para enfrentar los problemas actuales y futuros.

La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización obliga a emplear análisis de costo-beneficio para establecer nuevos reglamentos; asimismo, requiere que se investiguen las soluciones no reglamentadas dictadas por el mercado. Esta ley es significativa porque atrae a epidemiólogos y a todos aquellos que se arriesgan a hacer el análisis y a debatirlo con las instituciones que alientan el desarrollo económico. El análisis de costo-beneficio también podría influir



---

en las futuras decisiones sobre normas y reglamentos relacionados con la vida del acuífero a largo plazo.

La Ley General de Salud da a la Secretaría de Salud jurisdicción sobre distintos temas relativos a la calidad del agua potable. La ley impone normas para el agua potable, que incluyen niveles máximos de contaminantes y la eliminación de bacterias. La ley también enfrenta los problemas de la distribución del agua y autoriza a la Secretaría de Salud a que regule la calidad del agua en toda la infraestructura pública y privada de distribución. Asimismo, se ocupa del tratamiento de aguas residuales y prohíbe su descarga en áreas donde se extrae agua potable. Virtualmente todos los estados acatan las normas y requerimientos de la ley de 1984, al igual que los sistemas municipales. Aunque la Secretaría de Salud impone estas normas, los reglamentos son puestos en práctica por la Secretaría de Desarrollo Social y la Comisión Nacional del Agua.

Otra medida importante para mejorar la calidad del agua es la aplicación de un nuevo impuesto para el uso y el desecho de este recurso. Aunque se le llama impuesto, funciona como una cuota de permiso para generar ingresos que protejan los recursos del agua. Un impuesto paralelo por desecho de aguas residuales se ha establecido para sancionar a quienes contaminan, con una severa multa a quienes regresan aguas residuales sin tratar al sistema de drenaje. Así el impuesto propiciará un uso más eficiente del agua y generará fondos para el gobierno. El impuesto por aguas residuales afectará claramente a los usuarios industriales que obtienen su propia agua. No se ha definido con claridad el método que emplarán los municipios o el GDF para cobrar a los usuarios este impuesto. La aplicación de este impuesto influirá también en las decisiones comerciales para el desarrollo de proyectos, especialmente si se aplica de manera diferenciada, dentro y fuera de las áreas de servicio municipal.

# **Conclusiones**

## **Conclusiones y Recomendaciones**

La Ciudad de México, centro cultural, económico e industrial de la nación, ha crecido de manera incesante y a menudo incontrolada. Aunque el subsidio que a través de la historia se ha otorgado al servicio de agua ha impulsado el desarrollo económico, también ha limitado las posibilidades gubernamentales de expandir la red, tratar el agua y mejorar el drenaje, así como financiar las reparaciones del sistema. Recientemente, las autoridades han intentado establecer una administración más eficiente del abastecimiento de agua en la región. Revertir las tendencias anteriores e implantar nuevas estrategias de conservación será difícil. El reto para quienes se encarguen en el futuro de tomar decisiones en la Ciudad de México será lograr un equilibrio justo entre la necesidad de obtener nuevas fuentes de agua y lograr un manejo más cuidadoso de las fuentes existentes.

Por esta razón, es necesario prestar más atención al control de la demanda de agua, a través del establecimiento de nuevos mecanismos de precios, así como de programas educativos enfocados a la conservación y el reuso. Aquí se ofrecen varias recomendaciones de distinta naturaleza, relacionadas con diversos temas: la necesidad de tener una mayor conciencia respecto a los problemas de la hidrología regional; el reuso del agua residual recuperada; la protección de la calidad de los recursos existentes; la forma de lograr una mayor eficiencia en el uso y los cambios institucionales que permitan un mejor abastecimiento de agua. Todas estas recomendaciones han sido diseñadas con el objeto de mejorar el sistema existente. Tienen también el fin de orientar a quienes se encargen de aplicar las políticas destinadas a mejorar la cantidad y calidad del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). No se presentan en orden de importancia, pues se considera que todas ellas son igualmente prioritarias y que deben tenerse presentes, antes de considerar cualquier tipo de desarrollo en las fuentes de abastecimiento. La ejecución exitosa de estos conceptos podría reforzar la sustentabilidad del abasto de agua en la ciudad de México durante muchas décadas.

### **TEMA: USO CONTINUO DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Aunque la cantidad de agua subterránea almacenada en la porción sur de la Cuenca de México esta estimada entre 240 y 350 veces la extracción normal anual, la vida del acuífero no se puede predecir de manera confiable. La sobreexplotación continua ha causado problemas de hundimientos e incrementado la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. La

información disponible sobre las propiedades geológicas y químicas del acuífero a profundidades mayores que las del bombeo normal, es limitada. La hidrogeología de la porción sur de la Cuenca de México está mejor estudiada. En cambio, se sabe menos respecto a la disponibilidad y la calidad de las reservas de agua existentes al norte de la Sierra de Guadalupe. Aun así, los estudios realizados en la parte sur de la cuenca han carecido de continuidad y congruencia. Los datos utilizados en los modelos de predicción no son muy confiables-y las consecuencias de un error en la predicción pueden ser graves en la planeación a largo plazo . Se requeriría de una información más completa respecto a las cifras de extracción del acuífero, los parámetros hidrológicos relevantes, la vulnerabilidad a la contaminación, así como de una identificación de los niveles de agua críticos-debajo de los cuales ya no sería eficiente el bombeo continuo-, para predecir de manera más confiable la vida del acuífero. Más aún, el desarrollo de las cifras apropiadas de extracción de agua subterránea debería basarse en factores sociales, en datos económicos relativos al desarrollo, en la problemática de la distribución del agua, en la influencia de las medidas de conservación y administración de la demanda, así como en las políticas gubernamentales. Aunque este reporte no ha examinado temas sustanciales del desarrollo urbano y regional, es claro que la planeación de los recursos del agua debería anticipar las cifras y los impactos del crecimiento, no sólo en la Zona Metropolitana del Valle de México, sino en toda la Cuenca de México y en las cuencas vecinas.

**Recomendación:** Desarrollar un programa de investigación a largo plazo, para determinar las características hidrológicas, fisicoquímicas y biológicas de los acuíferos de la Cuenca de México. Es necesario llevar a cabo un programa coordinado de investigación a largo plazo para sustentar un control sostenido del sistema acuífero de la Cuenca de México. Este programa debe insistir en que la investigación se desarrolle en forma sostenida; su dirección podría encomendarse a un comité de asesores formado por representantes técnicos de todas las partes afectadas con jurisdicción en el área. El programa debería involucrar a todas las instituciones que regulan el uso del acuífero, para incluir así diferentes puntos de vista-ambientales, de desarrollo, de salud, culturales y científicos.

La investigación a largo plazo debe observar el grosor, la amplitud y la profundidad del acuífero; debe también determinar cálculos más confiables de porosidad, permeabilidad, capacidad de almacenamiento y conductividad hidráulica de los acuíferos. Otros factores importantes que un estudio de esta naturaleza debe incluir son: (1) los cambios en la calidad del agua según su

profundidad y su situación geográfica, así como su relación con el surgimiento de campos de pozos; (2) el grado de conexión hidráulica entre las distintas zonas del acuífero y las zonas de recarga; (3) la extensión y situación de fallas geológicas y otros factores comunes en los acuíferos que sean importantes para una óptima ubicación de pozos; (4) la caracterización fisicoquímica y biológica de los acuíferos.

Estos estudios deben llevarse a cabo con las mejores metodologías científicas disponibles e incluir un sistema de monitoreo en pozos, el uso de sensores remotos y fotografías aéreas para hacer mapas y tener una mejor comprensión del comportamiento de las zonas de recarga y las consecuencias del hundimiento, así como el desarrollo de un sistema de información geográfica para integrar las características de la superficie, la infraestructura y las actividades de riesgo en un mapa común.

Recomendación: Es necesario determinar el rendimiento óptimo del acuífero de la Ciudad de México. Después de entender las características del acuífero con algún nivel de confianza, sería conveniente reunir un grupo interdisciplinario con representantes de las diversas instituciones, para determinar el rendimiento óptimo del acuífero de la Ciudad de México sobre la base de una evaluación de objetivos múltiples. Sería útil comprometer en este análisis al mismo consejo de asesores que dirija el programa de investigación a largo plazo. Determinar este rendimiento óptimo dependerá, mínimamente, de una serie de factores interdependientes:

- la dependencia económica de la región, de los recursos de agua subterránea;
- el deterioro de la calidad del agua conforme aumenta la profundidad del acuífero;
- los impactos normales de la contaminación considerando las fuentes de donde proviene;
- la disponibilidad y el costo real de obtener y distribuir nuevas fuentes de agua;
- un análisis del uso del agua;
- la influencia y el potencial de los programas de medición , tarifas, conservación y reuso del agua, así como los de recarga del agua subterránea;
- el impacto del uso del agua en otros aspectos relacionados con el medio ambiente;
- la disponibilidad de cálculos más aproximados sobre la vida potencial a largo plazo del acuífero tomando en cuenta las distintas tasas de extracción-cálculos que pueden realizarse con base en las consideraciones arriba expuestas.

## TEMA: EJECUCIÓN DE LOS PROYECTOS DE REUSO DEL AGUA

La descarga de aguas residuales en la ZMVM se estima en 44.4 mcs, o el equivalente al 74 por ciento del uso total del agua. La mayor parte de las aguas

residuales dejan la Cuenca de México. En consecuencia, hay un potencial muy grande para el desarrollo futuro de los programas de reuso y conservar el agua actualmente en uso para otros fines que demanden agua de mejor calidad.

Algunos programas de reuso de agua se iniciaron en la ZMVM hace pocos años, incluyendo los relativos a la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como los relacionados con el reuso y reciclaje industrial del agua residual tratada. Mientras que algunos tipos de reuso industrial, como la usada durante el proceso de enfriamiento en las plantas generadoras de electricidad, se llevan a cabo sin tratamiento excesivo, la mayor parte de las actividades relacionadas con el reuso requerirán de algún nivel de tratamiento para reducir los agentes patógenos y otros contaminantes. En el Distrito Federal, el pretratamiento industrial del agua residual ha sido ordenado por los nuevos reglamentos que entraron en vigor en 1990; sin embargo, poco se sabe acerca de la efectividad del programa establecido.

Recomendación: El uso del agua residual recuperada y tratada tiene un gran potencial, por lo que convendría orientarlo cada vez más hacia el abastecimiento urbano e industrial, incluyendo la irrigación del paisaje urbano, la irrigación agrícola y la recarga del acuífero. El agua residual recuperada y tratada debería destinarse a cubrir áreas y propósitos específicos en la ZMVM. Debe continuarse la realización de estudios relativos a la viabilidad de su reuso agrícola e industrial. También convendría llevar a cabo acciones dirigidas a dotar de infraestructura a los nuevos desarrollos urbanos (por ejemplo, de sistemas de distribución dual y sistemas de conducción de bajo flujo) para utilizar agua recuperada en el funcionamiento de los inodoros y el aire acondicionado de los edificios altos, así como para irrigar las nuevas áreas del paisaje urbano. Estas acciones, cuando se realizan en la etapa de construcción, resultan más económicas que cuando se adaptan después de que las obras han sido ya terminadas. Será necesario poner en marcha programas de pretratamiento industrial, para el tratamiento efectivo de aguas residuales, como un requisito previo al desarrollo de la recarga artificial del acuífero u otros proyectos de recuperación de agua. Para que los programas de reuso resulten seguros y efectivos, toda el agua residual municipal debe recibir el tratamiento adecuado antes de ser liberada.

---

## TEMA: VULNERABILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA A LA CONTAMINACIÓN

Los desechos de agua a través de canales descubiertos y no revestidos, las líneas de desagüe dañadas, el agua doméstica e industrial sin tratar, la falta de control sobre materiales peligrosos y diversas actividades humanas provocan que el acuífero sea vulnerable a la contaminación. Las zonas montañosas y de transición son áreas particularmente importantes debido a su alta permeabilidad. La zona lacustre, considerada como una capa de arcilla impermeable bajo la Zona Metropolitana del Valle de México, es igualmente vulnerable, como se deduce de las investigaciones más recientes, las cuales sugieren que en esta región hay riesgos de que ocurran desplazamientos de agentes contaminantes hacia la parte inferior.

Recomendación: Poner en marcha un programa ordenado y extensivo de monitoreo y protección del agua. Este programa debe abarcar varios aspectos: la identificación y el mapeo de las áreas vulnerables en la Zona Metropolitana del Valle de México; el análisis del tipo de asentamientos humanos del área; la localización de los pozos de producción; la localización de pozos abandonados; el tipo de servicios de drenaje que se proporcionan; el tipo de industrias en el área; los diversos métodos empleados para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales; la identificación de otras actividades que contribuyan a la contaminación del agua subterránea. Evaluar el impacto de tales actividades en los pozos de producción cercanos debe ser considerada como la más alta prioridad. La experiencia ha demostrado muchas veces que las inversiones realizadas para proteger el agua subterránea son más efectivas que las de restauración de las fuentes. De hecho, después de que una fuente ha sido contaminada, no siempre es viable conseguir que en el futuro el agua de ese lugar resulte segura para beber.

Las opciones para proteger el abastecimiento de agua pueden abarcar diferentes acciones: las restricciones a las descargas industriales; medidas para contener los desechos peligrosos; la instalación de servicios de agua y de drenaje en los lugares donde se carece de ellos; el desarrollo de programas de protección a pie de pozo; la clausura y re-localización de pozos. Se requiere llevar a cabo una investigación posterior en las áreas de transición y en las zonas lacustres, para caracterizar de manera más exacta la vulnerabilidad del acuífero.



---

**TEMA: EFECTOS DE LOS AGENTES PATÓGENOS EN LA SALUD**

El sistema de distribución de agua potable es vulnerable a la contaminación por gérmenes patógenos. Los estudios realizados indican la presencia de organismos patógenos en tomas domiciliarias, cisternas domésticas y otras fuentes del sistema, aunque los estudios disponibles no señalan el origen del problema. El sistema de distribución de agua es viejo y tiene fugas, en parte debidas a los efectos del hundimiento del suelo. Las fugas, combinadas con las interrupciones del sistema y los periodos de variaciones en la presión, hacen que el sistema sea susceptible a la infiltración de contaminantes desde el subsuelo, que a su vez está contaminado por las cañerías con filtraciones, descargas de las fosas sépticas y el desbordamiento de las líneas de drenaje.

Buena parte del sistema de desagüe consiste en canales descubiertos y no revestidos así como zanjas de drenaje. El agua residual en la Zona Metropolitana del Valle de México no recibe tratamiento antes de ser desechada (el 10 por ciento que sí lo recibe se destina a proyectos de reuso). Por lo tanto, un gran flujo de aguas negras circula por esos canales descubiertos, lo cual propicia un alto riesgo de exposición a los organismos patógenos y parásitos, con la consecuente probabilidad de que se transmitan enfermedades. Otro problema similar es la ubicación de algunos pozos de agua potable en áreas adyacentes a los canales de desagüe.

Las enfermedades infecciosas intestinales, en especial la diarrea aguda, son una de las causas principales de mortandad infantil en la Zona Metropolitana del Valle de México. El creciente uso de la rehidratación oral ha contribuido a que disminuya el número de muertes provocadas por estas enfermedades, aunque la rehidratación oral no ataca las causas de las infecciones-como lo es la exposición al agua contaminada.

Recomendación: Deben tener alta prioridad el tratamiento de las aguas residuales antes de desecharlas así como incrementar la vigilancia de la salud pública. Es necesario ampliar y mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales, para manejar mayores volúmenes. De igual forma, se requiere poner mayor atención en el tratamiento de aguas residuales con propósitos de desecho y recuperación, así como dar prioridad a las áreas donde se presentan con mayor frecuencia las enfermedades intestinales infecciosas. Se sugiere desarrollar un programa de monitoreo sistemático, para recolectar los datos apropiados y llevar a cabo los estudios epidemiológicos necesarios, que permitan determinar el origen de estos problemas, además de evaluar el



---

potencial de contaminación. También se requiere de un frecuente monitoreo en las plantas de agua embotellada y las albercas públicas. El sistema de distribución debe mantener una presión continua y un nivel residual de desinfectantes.

#### TEMA: REGLAMENTACIÓN Y MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Existen tres instituciones encargadas de determinar la calidad del agua en México: la Secretaría de Desarrollo Social, la Secretaría de Salud y la Comisión Nacional del Agua. A la fecha, se han tenido dificultades para establecer una gama amplia de normas de calidad para cumplir con la Ley de Normas y Monitoreo de 1992. La falta de coordinación entre estas instituciones puede dificultar el establecimiento de prioridades para combatir la contaminación del agua y entorpecer el desarrollo de un programa para reducirla.

Existe una preocupación respecto a las posibilidades que tiene el Laboratorio Central de Calidad del Agua del Distrito Federal para recolectar datos y elaborar registros. Este laboratorio tiene la responsabilidad de cubrir una enorme área de servicio (aproximadamente 667 kilómetros cuadrados), con una alta densidad urbana y un extenso desarrollo industrial. La enorme complejidad de la red de distribución, propicia que existan diferentes condiciones de calidad del agua en distintas partes de la red. El Estado de México tiene menos capacidad que el Distrito Federal para monitorear y reportar la calidad del agua en su área de servicio. La información relativa a la calidad del agua no está directamente disponible para ninguna de las dos áreas de servicio.

Recomendación: El Distrito Federal y el Estado de México deben trabajar de manera conjunta, con el objeto de mejorar sus capacidades para recolectar datos sobre la calidad del agua, organizar la información y reportar los resultados del monitoreo. Información actualizada y confiable debe ponerse a la disposición del público en general, así como de las instituciones gubernamentales y de investigación. Esta información debe presentarse en forma organizada y detallada, de modo que sea posible identificar los reglamentos que no hayan sido cumplidos en áreas específicas del sistema de distribución, así como la repercusión de este incumplimiento para la salud pública.

---

**TEMA: LAS ESTRATEGIAS PARA LA FUTURA PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE LOS RECURSOS DEL AGUA**

Los costos de extracción, abastecimiento y desecho de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México han sufrido un dramático incremento, por lo que la recaudación que se obtiene por el servicio no es suficiente para pagar los costos de operación y mantenimiento. Este desequilibrio restringe la capacidad de extender la red a las áreas que carecen de servicio, tratar las aguas negras y financiar la reparación de las fugas en el sistema de distribución. La escasez y el valor real del agua no se reflejan en su administración ni en su consumo. La mayor parte del uso se mide de manera poco confiable y en algunos casos no se le da seguimiento, por lo que una gran cantidad de recibos de agua se quedan sin pagar. A este respecto, no se conocen con precisión el número de cobros pendientes ni el uso real del agua.

La relación entre la demanda y el abasto de agua podrá ser más equilibrada en la medida que se promueva una noción más amplia de la administración de la demanda, de tal manera que tanto el abasto como el uso del agua reciban atención durante el proceso de planeación. El uso del agua puede reducirse en muchas instancias, sin afectar el desarrollo económico de la región, si se pone más cuidado en la conservación que en el aumento de la capacidad de abastecimiento. Las herramientas políticas específicas para lograr este objetivo incluyen programas educativos, programas de reparación de la infraestructura existente, programas de conservación, reglamentación, instalación y mantenimiento de medidores, planeación del uso urbano de la tierra, así como ajustes de tarifas que reflejen precios más adecuados a los costos de abastecimiento.

**Recomendación:** Es necesario identificar e instalar medidores a los grandes usuarios, sin considerar a los más pobres. Para conseguir una medición adecuada, se pueden instalar varios millones de medidores adicionales, a un costo aproximado de \$700 cada uno. Aunque esto representa una inversión muy importante, ésta no es comparable con los enormes costos que supondría reparar y mejorar la infraestructura existente, o importar agua desde cuencas distantes. Junto con la reestructuración de los precios, la medición ayudaría a que los gobiernos locales cubrieran totalmente los costos de operación del sistema de abastecimiento de agua. La medición del uso del agua, el muestreo de las lecturas de medidores, la reparación de los medidores averiados y la revisión de los costos del agua, son factores esenciales para su conservación y deberían constituir metas para toda la comunidad. Lo más urgente es instalar

medidores a los grandes usuarios, que suelen ser los que más recursos económicos poseen, ya que las ganancias son menores cuando la medición se aplica a los usuarios más pequeños y pobres (muchos de los cuales ni siquiera tienen acceso al agua en el interior de sus casas).

Recomendación: Establecer un método confiable para la lectura de los medidores y el cobro de los recibos. Las tarifas de agua deben establecerse de tal forma que permitan a cada administración desarrollar un programa auto-financiable. El establecimiento de precios realistas para el consumo de agua es una de las claves fundamentales del manejo de la demanda. Así mismo, el fijar tarifas reales podría resultar una herramienta de múltiples aplicaciones para influir en los patrones de consumo, satisfacer metas financieras y obtener importantes logros en los aspectos ambiental y social. Por otra parte, es más probable lograr un uso sostenible y eficiente del agua si las oficinas municipales son financieramente autosuficientes y los usuarios pagan el costo real del desarrollo, distribución y mantenimiento de los sistemas de agua. El costo del agua, incluyendo los costos de tratamiento y desecho, debe ser establecido y usado como guía que permita fijar tarifas más reales. La aplicación de un sistema tarifario progresivo por bloques, con tasas muy bajas para cantidades muy bajas, resultaría una manera práctica de lograrlo. La capacidad operativa de las oficinas responsables debe aumentar, para poner al día los registros de conexiones, leer medidores, preparar los recibos y sancionar a quienes no paguen, todo lo cual requiere de la capacitación de un grupo de personas con las habilidades necesarias. Desarrollar una base de datos confiable de los usuarios (encabezada por los usuarios principales) facilitaría la realización de esta política.

Recomendación: El servicio de agua debe ampliarse y recibir una adecuada reparación y mantenimiento. El Gobierno del Distrito Federal ha puesto en marcha una campaña intensiva para eliminar las fugas del sistema, acción tan importante para el abastecimiento de agua como el desarrollo de una fuente nueva; este programa debe recibir mayor apoyo. Adicionalmente, es necesario reparar la vieja infraestructura y las averiadas instalaciones del sistema. Aunque es difícil de lograr, se debe proveer de un servicio de agua adecuado a todos los hogares dentro de un área de servicio determinada.

#### TEMA: OPORTUNIDADES DE ORGANIZACIÓN Y CAMBIO

Esta categoría incluye acciones relacionadas con la promoción de prácticas realistas en el establecimiento de tarifas, la promoción de la investigación y el

desarrollo, la educación pública y otras políticas reguladoras, incluyendo un examen de los beneficios potenciales de una privatización. Funcionarios, administradores y políticos, deben jugar un papel central en la promoción de estas políticas. Los gobiernos enfrentan dificultades cuando tratan el tema de la conservación del agua, porque se trata de un tema con una fuerte carga política. Muchas personas en México opinan que, puesto que el agua es esencial para la vida, las autoridades tienen la obligación de llevarla a la población sin costo alguno o a un precio muy bajo. Por lo tanto, la educación y la conciencia pública tienen una responsabilidad muy importante en la conservación. Un programa bien diseñado de educación pública puede modificar los hábitos de uso del agua en una comunidad y pueden, en consecuencia, lograr una reducción sustancial de la demanda. El Gobierno del Distrito Federal ha llevado a cabo una serie de campañas publicitarias relativas a la conservación; sin embargo, su eficacia aun no ha sido evaluada.

El Gobierno del Distrito Federal ha comenzado a desarrollar una iniciativa de privatización, fundada en la convicción de que el sector privado tiene el potencial necesario para mejorar la eficiencia administrativa con la motivación de obtener beneficios económicos. Esta iniciativa deja la propiedad de la infraestructura y la inversión de capital en manos del sector público, pero éste contratará en forma gradual muchas funciones administrativas con las compañías privadas, mediante contratos competitivos a corto plazo. Esta transición hacia la administración privada representa un cambio radical tanto para el gobierno como para el público.

Recomendación: Deben desarrollarse, mantenerse y evaluarse campañas públicas de educación. Es importante promover el interés por la conservación del agua entre el público en general, enfocando el mensaje de manera apropiada. No es necesario subrayar este aspecto entre aquellas personas que no tienen acceso al agua en sus casas, pues por lo general no tienen mucho control respecto a su uso. Debe explorarse la posibilidad de involucrar al sector privado tanto en la responsabilidad de la educación pública como en la administración del agua.

Recomendación: Es necesario incorporar profesionistas que se ocupen de las ciencias sociales a las oficinas de administración y regulación del agua, para que contribuyan a desarrollar los programas de control de la demanda. Uno de los principales impedimentos para mejorar la administración de la demanda de agua es la baja capacitación que los empleados de las oficinas suelen tener para el desempeño adecuado de sus tareas. La importancia que en el pasado se

concedió a la construcción de instalaciones para el abastecimiento de agua se refleja en la contratación y promoción de empleados con mucha experiencia en ingeniería, pero con poca preparación en otras materias, tales como psicología, publicidad, ciencias políticas y economía. El empeño puesto en los aspectos físicos del sistema ha restado importancia a la recolección de datos sobre las características de los usuarios y sus hábitos, así como sobre los incentivos necesarios para reducir la demanda.

Aunque la administración del sistema de distribución de agua sea privatizada, las oficinas municipales tienen todavía un papel importante que jugar en el establecimiento y la vigilancia de las políticas relativas al agua. Por lo tanto, se requiere de un esfuerzo concertado para mejorar la capacidad de las oficinas administradoras, poniendo especial atención en el reclutamiento y la promoción de profesionales formados en el estudio de las ciencias sociales. Las oficinas de conservación y manejo de la demanda deben tener jerarquía entre las oficinas de abastecimiento de agua, para que puedan participar en la toma de decisiones.

#### TEMA: EQUIDAD

Los residentes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México reciben servicios de agua de muy distintos niveles y usan cantidades muy diferentes. El agua es muy fácil de obtener a bajo costo para algunos, mientras que para otros el servicio de agua no es confiable y/o es inconveniente. La relevancia concedida a la conservación del agua y al manejo de la demanda, no debe soslayar la necesidad de mejorar el servicio de agua para la mayoría de los usuarios más pobres. Las instancias que administran el agua requerirán de un amplio apoyo por parte del público para tratar de establecer una adecuada estructura de tarifas y otras reformas. Este apoyo no se obtendrá a menos que el público perciba que el servicio se presta de manera equitativa. En muchos países en vías de desarrollo los más pobres no tienen acceso al sistema público de agua, por lo que tienden a pagar una parte mayor de su ingreso para obtener agua de buena calidad, mientras que las personas de mayores recursos, tienen un mejor acceso al agua pagando tarifas bajas (Crane, 1994; Banco Mundial, 1992; Whittington y Choe, 1992). Por lo tanto, los supuestos efectos negativos entre la población de menores ingresos, no deben ser un impedimento para estructurar las tarifas de una forma más racional. Estudios posteriores garantizarán un conocimiento más amplio sobre la forma como la expansión del sistema de distribución y las políticas tarifarias de agua afectan la salud y el nivel financiero de los más pobres. Adicionalmente, habría que preocuparse

---

por una situación de equidad que tome en cuenta a las futuras generaciones. Si la demanda de agua no puede ser sostenida a largo plazo, las futuras generaciones de habitantes de la ZMVM tendrán un acceso aún más limitado al agua potable.

Recomendación: Los servicios de agua deben seguir ampliándose en beneficio de los más pobres. Los estratos más pobres de la población en la Zona Metropolitana de la ciudad de México no tienen un abastecimiento de agua conveniente y confiable. Al evaluar los costos y beneficios que resulten de reformas tales como la reestructuración de tasas y la privatización, debe ponerse particular atención en el impacto que pudieran tener sobre la población de escasos recursos. El agua es una necesidad básica, esencial para el bienestar y la salud del hombre, por lo que debe estar disponible para los ciudadanos de todos los niveles económicos. Al aumentar las tarifas en bloque para los usuarios de alto consumo se elevará el nivel de costos entre aquellos que pueden pagarlos, al tiempo que se apoyarán las medidas de conservación de agua.

Recomendación: El público debe estar involucrado en las decisiones relativas a la privatización y el control de la demanda de agua. En la medida en que el agua pase de ser un derecho natural gratuito a representar un servicio por el que se pague un precio justo, los usuarios demandarán mayor participación en las decisiones. Es importante asegurar al público que el precio por el servicio es razonable en relación con su costo, que la cantidad y calidad del agua se distribuye de manera justa a todos los usuarios y que los programas de conservación y el uso de los subsidios son equitativos. Estas medidas permitirán que el público usuario, opine y se involucre en los procesos de toma de decisiones.

# Referencias



## Referencias

- AIC-ANIAC. 1995. El Agua y la Ciudad de México. México, D.F.: Academia de la Investigación Científica, A.C. y Academia Nacional de Ingeniería, A.C.
- Alberro, J. 1993. Algunos efectos de las filtraciones en la estabilidad de las masas rocosas. Primera Conferencia Magistral, 22-24 de septiembre. J. Marsal (ed.), Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C. Texcoco, Gro., México.
- Albert, L., P. Mendez, and M. Cebrian. 1980. Organochlorine Pesticide Residue in Human Adipose Tissue in Mexico: Results of a preliminary study in three Mexican cities. *Archives of Environmental Health* 35(5):262-269.
- Bellia, S., G. Cusimano, M.T. Gonzáles, R.C. Rodríguez, and G. Giunta. 1992. El Valle de México; consideraciones preliminares sobre los riesgos geológicos y análisis hidrogeológico de la cuenca de Chalco. *Quadernilla (Serie Scienza 4)*, Instituto Italo-Latino Americano, Roma.
- Boland, J.J. 1983. Water/Wastewater pricing and financial practices in the United States. Washington, D.C.: Metametrics, Inc.
- Buenfil, M. 1993. Household water metering and tariffs. Mexico D.F. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Carrillo, N. 1948. Influence of artesian wells on the sinking of México City. In *Proceedings of the 11th International Conference on Soils Mechanics*. Holland.
- Cech, I., and A. Essman. 1992. Water sanitation practices along the U.S.-Mexico border; implication for physicians on both sides. *Southern Medical Journal* 85(11):1053-1064.
- Comisión de Aguas de Distrito Federal. 1993. Licitacion para la prestacion de servicios relaciones con el servicio publico de agua potable y drenaje en el Distrito Federal. Mexico, D.F.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. 1993. Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Mexico 1994-2000 Tomo 2.
- Comisión Nacional del Agua. 1992. Situación Actual del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Información y Participación Ciudadana.
- Crane, R. 1994. Water markets, market reform, and the urban poor: Results from Jakarta, Indonesia. *World Development* 22. World Bank Technical Report 22 (?).
- Craun, G.F., R.J. Bull, R.M. Clark, J. Doull, W. Grabow, G.M. Marsh, D.A. Okun, S. Regli, M.D. Sobsey, and J.M. Symons. 1994a. Balancing chemical and microbial risks of



- drinking water disinfection, Part I. Benefits and potential risks. *J. Water SRT-Aqua* 43(4):192-199.
- Craun, G.F., S. Regli, R.M. Clark, R.J. Bull, J. Doull, W. Grabow, G.M. Marsh, D.A. Okun, M.D. Sobsey, and J.M. Symons. 1994b. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part II. Managing the risks. *J. Water SRT-Aqua* 43(5):207-218.
- Departamento del Distrito Federal. 1969. Interceptores Profundos y el Emisor Central. Un Nuevo Sistema para el Distrito Federal. Secretaría General de Obras Publicas. México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1982. El Sistema Hidráulico del Distrito Federal, un servicio publico en transición. México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1990a. El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, D.F.: Secretaria General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1990b. Memoria, Programa de Use Eficiente del Agua. México, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- Departamento del Distrito Federal. 1991a. AGUA 2000: Estrategia para la Cuidad de México. México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1991b. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 3ra. edición. México, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1992a. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 4th edition. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1992b. 1992 Compendio DCGOH. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica. Secretaria General de Obras Publicas.
- Durazo, J., and R.N. Farvolden. 1989. The ground water regime of the Valley of Mexico from historic evidence and field observations. *Journal of Hydrology* 112:1-190.
- Herrera, I. 1970. Theory of multiple leaky aquifers. *Water Resources Research*, 6(1):185-193.
- Herrera, I., and G.E. Figueroa. 1969. A correspondence principle for the theory of leaky aquifers. *Water Resources Research* 5(4):900-904.
- Herrera, I., R. Martínez G., and G. Hernández. 1989. contribución para la administración científica del agua subterránea de la Cuenca de México. In *El sistema acuífero de la Cuenca*

de México. Special volume, I. Herrera (ed.), *Geofísica Internacional*, 28 (23):297-234. Unión Geofísica Mexicana.

Herrera-Revilla, I., R. Medina-Bañuelos, J. Carrillo-Rivera, and E. Vazquez-Sánchez. 1994. Diagnóstico del Estado Presente de las Aguas Subterráneas de la Ciudad de México y Determinación de sus Condiciones Futuras. Contrato No. 3-33-1-6684. México, D.F.: DGCOH, DDF, Instituto de Geofísica, UNAM.

Hiriat, F., and R.J. Marsal. 1969. El Hundimiento de la Ciudad de México. Pp. 109-147 in VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería de Cimentaciones, N. Carrillo (ed.). Mexico D.F.

INEGI (Instituto Nacional Estadística Geografía y Informática). 1991a. Area Metropolitana del la Ciudad de México - Síntesis de Resultados - X Censo General de Población y Vivienda 1990. México, D.F.:

INEGI. 1991b. Resultados Definitivos, XI Censo General de Poblacion y Vivienda 1990. Mexico, D.F.: INEGI.

INEGI. 2000. Resultados Definitivos, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México, D.F.:

International Life Sciences Institute. 1992. The Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks. Proceedings of The First International Conference on the Safety of Water Distribution. Washington, DC.

Lesser y Asociados, S.A. de C.V. 1993. Perfiles de suelo para determinar el movimiento de contaminantes al agua subterránea. México, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación. Departamento del Distrito Federal.

Lesser-Illades, J. M., F. Sánchez-Díaz, y D. González- Posadas. 1990. Aspectos geohidrológicos de la ciudad de México. *Ingeniería Hidráulica en México* I(5):52-60, México, D.F.

Marsal, R.J. 1974. El hundimiento de la Ciudad de Mexico. *El Colegio Nacional*.

Martin, W., H. Ingram, N. Laney, and A. Griffin. 1980. *Saving Water in a Desert City*. Johns Hopkins Press, Baltimore, MD.

Mazari, M., and M.D. Mackay. 1993. Potential groundwater contamination by organic compounds in the Mexico City Metropolitan Area. *Environ. Sci. Technol.* 27(5):794-802

Metcalf and Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, and Reuse*. 3rd edition, revised by G. Tchobanoglous and F.T. Burton. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1334 pp.

Mooser, F., and C. Molina. 1993. Nuevo Modelo Hidrogeológica para la Cuenca de México. Boletín del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, 3(1):68-84. México D.F.

Odendaal, P.E., and W.H. Hattingh. 1987. Status of Potable Reuse Research in South Africa. Proceeding of Water Reuse Symposium IV. American Water Works Association, Denver, CO, pp. 1339-1348.

Okun, D.A. 1991. A water and sanitation strategy for the developing world. Environment 33(8):16-43.

Organization Panamericana de la Salud. 1990a. *Health Statistics in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume II, Washington, D.C.

Organization Panamericana de la Salud. 1990b. *Health Conditions in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume I, Washington, D.C.

Orozco, and Berra. 1864. Memoria para la Carta Hidrográfica del Valle de México. Imprenta de A. Boix, Mexico, D.F. 185 p.

Ortega, A., J.A. Cherry, and D.L. Rudolph. 1993. Large-scale aquitard consolidation near Mexico City. Ground Water 31(5):708-718.

Ostrom, E., L. Schroeder, and S. Wynne. 1993. Institutional Incentives and Sustainable Development: Infrastructure Policies in Perspective. Boulder, Colorado: Westview Press.

Pitre, C.V. 1994. Analysis of induced recharge from a wastewater canal through fractured clays in Mexico City. M.Sc. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.

Rivera, F., F. Medina, and P. Ramirez. 1984. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 33:428-440.

Rivera, F., P. Ramirez, and G. Vilaclara. 1983. A survey of pathogenic and free-living amoebae inhabiting swimming pool water in Mexico City. *Envir. Research* 32:205-211.

Rivera, F., A. Ortega, E. Lopez-Ochoterena, and M.E. Paz. 1979. A quantitative morphological and ecological study of protozoa polluting tap water in Mexico City. *Transactions of the American Microscopic Society* 98(3):465-469.

Rivera, F., P. Bonilla, E. Ramirez, A. Calderón, E. Gallegos, S. Rodríguez, R. Ortiz, D. Hernández, and V. Rivera. 1994. Seasonal distribution of air-borne pathogenic and free-living amoebae in Mexico City and its suburbs. *Water, Air, and Soil Pollution* 74(1-2):65-87.

Rodríguez, R. 1987. consideraciones preliminares, basadas en resultados geofísicos, sobre la interfase agua mineralizada-agua dulce in el área de Sta. Catarina Yecahuitzol, Distrito Federal, México. *Geofísica Internacional*, 26(4):573-583. México, D.F.

Rudolph, D.L., J.A. Cherry, R.N. Farvolden. 1991. Ground water flow and solute transport in fractured lacustrine clay near Mexico City. *Water Resources Research* 27(9):2187-2201.

SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1953-1969. Boletines de Mecánica de Suelos, Comisión Hidrológica de la Cenca del Valley de México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulica. Mexico, D.F.: SARH.

SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1988. Estudio para evitar la contaminación del acuífero del Valle de México. Contrato CAVM 85-406. Mexico, D.F.: Instituto Geofísica de la UNAM, Comisión de Aguas del Valle de México de SARH.

Schteingart, M. 1993. Interview, El Colegio de México, February 23 and 25.

Shuval, H.I. 1986. Wastewater irrigation in developing countries; health effects and technical solutions. *World Bank Technical Report No. 51*. Washington, DC.

Tchobanoglous, G., and E.D. Schroeder. 1985. *Water Quality*. Reading, MA: Addison-Wesley.

U.S. Environmental Protection Agency and U. S. Agency for International Development. 1992. *Manual-Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-92/004. Washington, DC.

U.S. Environmental Protection Agency. 1993. *Evaluation of Mexico Environmental Laws, Regulations, and Standards*. Washington, D.C.: EPA Office of General Council.

U.S. General Accounting Office. 1991. *U.S.-Mexico Trade; Information of Environmental Regulations and Enforcement*. GAO/NSIAD-91-227. Washington, DC.

Whittington, D. and K. Choe. 1992. *Economic benefits available from the provision of improved potable water supplies*. WASH Technical Report No. 77. Washington, D.C.: USAID.

World Bank. 1991. *Water: Save now or pay later. The Urban Edge: Issues and Innovations* 15(3)1-6.

World Bank. 1992. *World Development Report 1992: Development and the Environment*. New York: Oxford University Press.