

A scenic sunset over a lake. The sun is low on the horizon, casting a golden glow across the sky and reflecting on the water. Several ducks are swimming in the lake. In the foreground, a wooden structure, possibly a fence or a gate, is silhouetted against the bright light. The overall mood is peaceful and serene.

REPENSAR LA CUENCA:

LA GESTIÓN DE CICLOS DEL AGUA
EN EL VALLE DE MÉXICO



PARA EL DR. NABOR CARRILLO
Y SU VISION PARA LA CUENCA DE MÉXICO

Rector General Universidad
Autónoma Metropolitana:
Dr. José Lema Labadie

Secretario General:
Mtro. Javier Melgoza Valdivia

Rector de la Unidad Azcapotzalco:
Dr. Adrián de Garay Sánchez

Rector de la Unidad Iztapalapa:
Dr. Oscar Monroy Hermosillo

Rectora de la Unidad Cuajimalpa:
Dra. Magdalena Fresan Orozco

Rector de la Unidad Xochimilco:
Dr. Cuauhtémoc Vladimir Pérez Llanas

Coordinador General del Programa
de Investigación Sierra Nevada:
Dr. Pedro Moctezuma Barragán



“Este estudio fue hecho posible con el apoyo del Pueblo de los Estados Unidos de América a través de la USAID, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Oficina para América Latina y el Caribe, dentro de los términos del acuerdo de cooperación 523-A-00-03-00049-00.

Las opiniones expresadas en este material pertenecen al autor y no necesariamente reflejan el punto de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, ni del gobierno de los Estados Unidos de América”.

INDICE

Prefacio	6
Introducción	7

I. LA GESTIÓN ACTUAL DE AGUA EN LA CUENCA DE MÉXICO

CUENCA LACUSTRE	9
Cuenca cerrada	9
Las arcillas del lecho lacustre	11
El funcionamiento de los acuíferos	12

2. EL MODELO ACTUAL DE GESTIÓN DEL AGUA	13
Exportación de agua de la cuenca	13
Sobreexplotación de los acuíferos	14
Importación de agua de cuencas externas	16

3. SEÑALES DE ALARMA	18
Extinción de los glaciares	18
Inundaciones	18
Estrés hídrico, estrés social	19
Hundimientos y grietas	20
El retorno del lago...	21
Desalojo hídrico costoso y de alto riesgo	22
Alto costo de energéticos	23
Problemas con el sistema de concesiones	23

Índice de tablas

DIAGNÓSTICO

Tabla 1. Potencial de recarga de las principales unidades geológicas de la Cuenca de México

Tabla 2. Déficit de aguas subterráneas y volúmenes concesionados para los cuatro principales acuíferos de la Cuenca de México

Tabla 3. Disponibilidad natural media per cápita

CUENCA

Tabla 1. Exportación de agua y desequilibrios en el balance hidrológico de la Cuenca de México

Tabla 2. Potenciales mejorías en la eficiencia del riego en la Cuenca de Tula

TRATAMIENTO

Tabla 1. El método de “lodos activados” vs. Métodos anaerobios

Tabla 2. Potenciales usos para aguas tratadas, por volumen, ubicación y calidad requerida

Tabla 3. Propuestas de plantas de tratamiento de aguas residuales, volúmenes a tratar y usos potenciales de aguas tratadas

Tabla 4. Análisis de ventajas y desventajas de la planta de tratamiento Atotonilco

LLUVIA

Tabla 1. Estrategias para la retención del agua pluvial actualmente expulsada de la Cuenca de México

Tabla 2. Potencial de almacenamiento para potabilización, de vasos, lagos y presas actuales y potenciales

RECARGA

Tabla 1. Potencial de recarga de principales unidades hidrogeológicas del acuitardo superior y el acuífero superior de la Cuenca de México

Tabla 2. Factores que influyen en el proceso de infiltración

Tabla 3. Coeficientes e infiltración en función de la pendiente del terreno

Tabla 4. Coeficientes de infiltración en función de los usos del suelo

Tabla 5. Permeabilidad en función de las láminas de infiltración

Tabla 6. Volumen infiltrable, en función de la conductividad hidráulica

Tabla 7. Métodos que permitirían almacenar en los acuíferos, volúmenes de agua actualmente expulsada de la Cuenca de México

Tabla 8. Evaluación de experiencias de infiltración de aguas pluviales y residuales en el área metropolitana

VEDA

Tabla 1. Concesiones rescatables, para lograr la explotación equilibrada de los acuíferos de la Cuenca de México

OBRAS

Tabla 1. Porcentaje del agua potable en la Cuenca de México que proviene de fuentes sustentables, actual y potencialmente

Tabla 2. Costo por metro cúbico de agua, por fuentes actuales y potenciales

Tabla 3. Obras propuestas por el Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México

Tabla 4. Obras propuestas para lograr la sustentabilidad hídrica en la Cuenca de México

FINANCIAMIENTO

Tabla 1. Inversiones requeridas e ingresos potenciales, para el tratamiento de aguas residuales en la Cuenca de México

Tabla 2. Mecanismos de cobro y financiamiento para ámbitos de responsabilidades en relación con la gestión de ciclos del agua

Tabla 3. Cobro por derechos al agua en bloque, por sector

Tabla 4. Cobro por agua en bloque y tarifas de organismos operadores

Tabla 5. Proporción del agua de uso público doméstico que es dedicado a usos suntuarios

Tabla 6. Costo por día por familia, por niveles de uso, en el D.F. y el Estado de México, según tarifas de 2009

Tabla 7. Tarifas del agua en el Distrito Federal y el Estado de México, por nivel de uso, 2009

Tabla 8. Políticas propuestas para estrategias de cobro, por uso

Tabla 9. Potencial de recaudación a través de aumentos en tarifas para usos suntuarios

Tabla 10. Costo por familia por día, aplicando tarifas para usos suntuarios

II. DIEZ PROPUESTAS PARA LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA

1. CICLOS	27
2. TRATAMIENTO	37
3. LLUVIA	49
4. RECARGA	63
5. PROTECCIÓN	81
6. VEDA	89
7. ZONAS	99
8. OBRAS	109
9. FINANCIAMIENTO	121
10. COLABORACIÓN	141

PREFACIO

El actual estudio surge en base a las inquietudes compartidas entre una diversidad de especialistas e instituciones, cuyo trabajo les ha puesto en contacto con la cada vez más apremiante necesidad de repensar el modelo de gestión del agua en la Cuenca de México.

El Programa de Competitividad y Medio Ambiente (PCyMA) es una iniciativa del Programa de Medio Ambiente de la Agencia para el Desarrollo Internacional USAID /México, instrumentada en colaboración con el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN). Este programa tiene como objetivo aumentar la competitividad de México a través de mejoras en el manejo de sus recursos naturales.

El Programa Cuencas y Ciudades, del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y la Fundación Gonzalo Río Arronte, está orientado a trabajar en cuencas urbanas en toda la república mexicana, con la finalidad de generar modelos de gestión sustentable basados en la valoración de los servicios hidrológicos que se llevan a cabo en zonas proveedoras de agua infiltrada y superficial. Guardianes de los Volcanes, A.C., está participando en este proyecto en la Cuenca de México.

Por parte de la Universidad Autónoma Metropolitana, el Dr. Oscar Monroy Hermsillo, Rector de la UAM Iztapalapa y experto en tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, en coordinación con el ingeniero hidrólogo el Dr. Eugenio Gómez Reyes han tomado liderazgo en la formación del Foro del Agua de dicha universidad. El Dr. Monroy asimismo ha sido electo como Presidente de la Comisión de Cuenca de los Ríos Amecameca y la Compañía, desde la cual está diseñando una propuesta para mejorar y ampliar los sistemas de tratamiento en esta subcuenca.

El Programa de Investigación Sierra Nevada, a través del Centro para la sustentabilidad Incalli Ixcachuicopa (CENTLI), ambos de la UAM, promueve procesos de gestión territorial participativos; y de tecnologías apropiadas, como son la producción de biofertilizantes, métodos de captación de agua pluvial, tecnologías para el micro tratamiento; y el monitoreo ciudadano de procesos de urbanización. Este trabajo encuentra inspiración en el esfuerzo por mejorar la gestión y calidad del agua, fortaleciendo a su vez a las comunidades locales, de la organización internacional Waterkeeper Alliance.

INTRODUCCIÓN

Este informe inicia con un diagnóstico de las características de la cuenca y su sistema actual de manejo. Se provee al lector una breve descripción de los aspectos más relevantes del funcionamiento hidrológico de la Cuenca de México, con énfasis en su naturaleza como cuenca cerrada (endorreica); al impermeable y comprimible acuitardo que cubre el antiguo lecho lacustre; a la forma breve e intensiva de su régimen de lluvias; y, finalmente, se da atención especial al potencial de recarga de sus formaciones geológicas.

Como parte de esta misma sección, se describen aspectos determinantes del actual modelo de gestión del agua en la Cuenca, incluyendo la exportación masiva de agua, la sobre-explotación de sus acuíferos y la importación de agua de otras cuencas. A esto, se agrega la creciente urbanización de sus zonas de recarga.

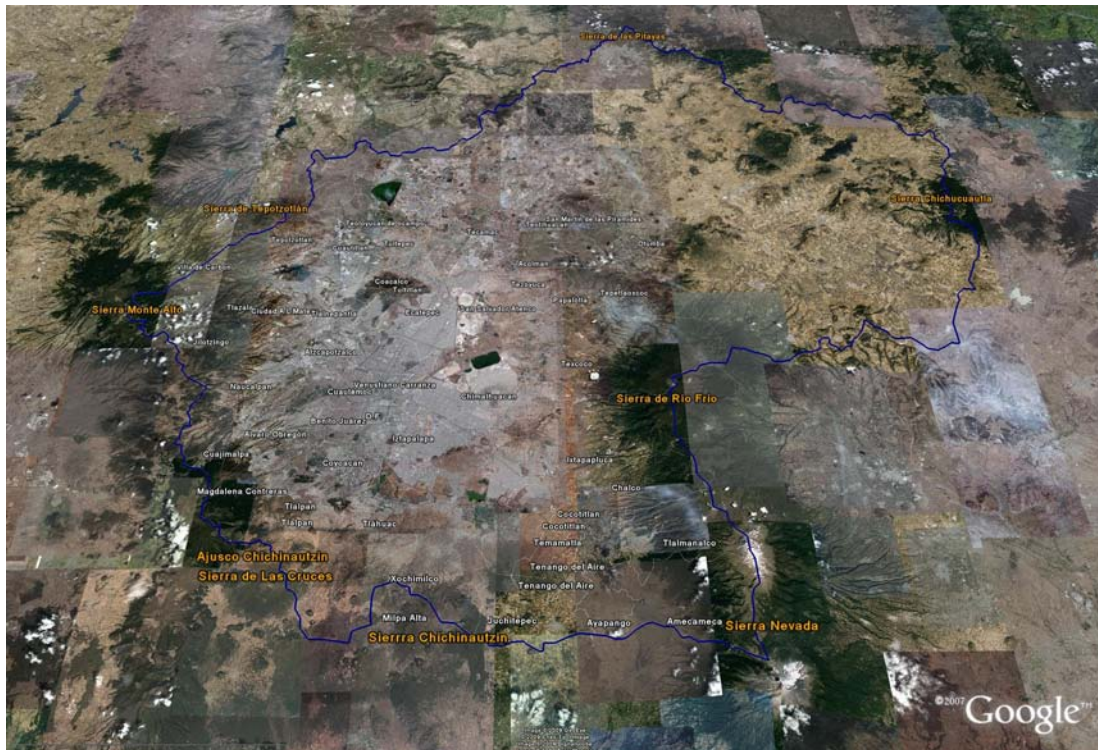
La sección del diagnóstico finaliza con una descripción de los fenómenos indicadores de los desequilibrios manifiestos en el modelo actual, y cómo se acercan a una situación de crisis. Estos incluyen el descenso en los niveles de los pozos; la aparición de grietas en el acuitardo, las cuales ponen en riesgo miles de viviendas y hasta la vida de los habitantes de la cuenca baja; la reaparición de los antiguos lagos; así como los aumentos severos en los costos de los energéticos que consumen el sistema hidráulico actual; y por último examinamos la creciente falta de orden que se presenta en el sistema de concesiones, las cuales debieran garantizar el equilibrio de los acuíferos.

El cuerpo del informe sostiene diez propuestas con miras a lograr la gestión sustentable del agua en la Cuenca de México. La primera se centra en la necesidad de aprovechar las aguas pluviales y residuales de la cuenca, dejando de exportar agua hacia la Cuenca de Tula. La segunda describe como enfrentar la escasez, con la generación de ciclos de tratamiento y reuso de aguas residuales. La tercera describe cómo aprovechar el gran potencial del agua de lluvia. La cuarta explica la necesidad de aprovechar las zonas de recarga que rodean el área metropolitana para aumentar la disponibilidad del agua subterránea. La quinta presenta propuestas legislativas para lograr la protección federal de áreas vitales para el sistema hidrológico de la Cuenca.

La sexta aborda cómo se podría utilizar la Veda de 1954 para rescatar las concesiones excesivas de agua subterránea con respecto a los volúmenes disponibles, y al mismo tiempo remplazarlas con fuentes alternas. La séptima propuesta presenta una serie de estrategias para vincular zonas del área urbana con sus potenciales zonas de recarga.


La octava propone un paquete de obras, diseñadas para disminuir la dependencia en fuentes no sustentables, y provee de un análisis de costos y beneficios de las opciones posibles. La novena presenta una serie de estrategias que permitirían fortalecer el financiamiento del sistema de gestión hídrica.

Finalmente, la décima se enfoca en las instancias de coordinación que están emergiendo, a nivel subcuenca, metropolitana, y de cuenca.



Fuente: Geoimágen de Google Earth, 2009; límites de la Cuenca de México (Conagua); elaborado por CENTLI.

Vista de satélite de la Cuenca de México, con las sierras que la definen como una cuenca endorréica, ó cerrada. Se acordará que una cuenca es en territorio por el cual confluyen todas sus aguas superficiales, y una cuenca endorréica, es un territorio cuyas aguas superficiales no tienen salida natural.



I. LA GESTIÓN ACTUAL DE AGUA EN LA
CUENCA DE MÉXICO

I. LA GESTIÓN ACTUAL DE AGUA EN LA CUENCA DE MÉXICO

Cuenca lacustre

CUENCA CERRADA

La Cuenca de México se conformó tras un largo periodo de actividad volcánica, durante el cual se configuraron la Sierra de Las Cruces al poniente, la Sierra Guadalupe al norponiente y las sierras de Río Frío y Nevada al oriente. Durante esa etapa geológica la Cuenca vertía sus aguas sur de modo natural, por el sur hacia el Pacífico. La aparición de la Formación Chichinautzin cerró el paso natural del agua, transformándola en una cuenca endorreica con una extensión de 9 600 km².

Cuándo se formó la Sierra Chichinautzin al sur de la Cuenca de México, ésta se convirtió en una cuenca cerrada o endorréica. En consecuencia, empezó a retener las aguas que drenaban hacia el sur, dando lugar a la aparición de la zona lacustre.

A partir de entonces, los ríos y manantiales que descendían de las partes altas de sus sierras y cerros, se depositaban en la parte baja de ese vaso cerrado conformando un gran lago, el cual durante la temporada de secas quedaba reducido a cinco lagos de menor tamaño.

Ilustración 1: Apariencia original de la cuenca de México

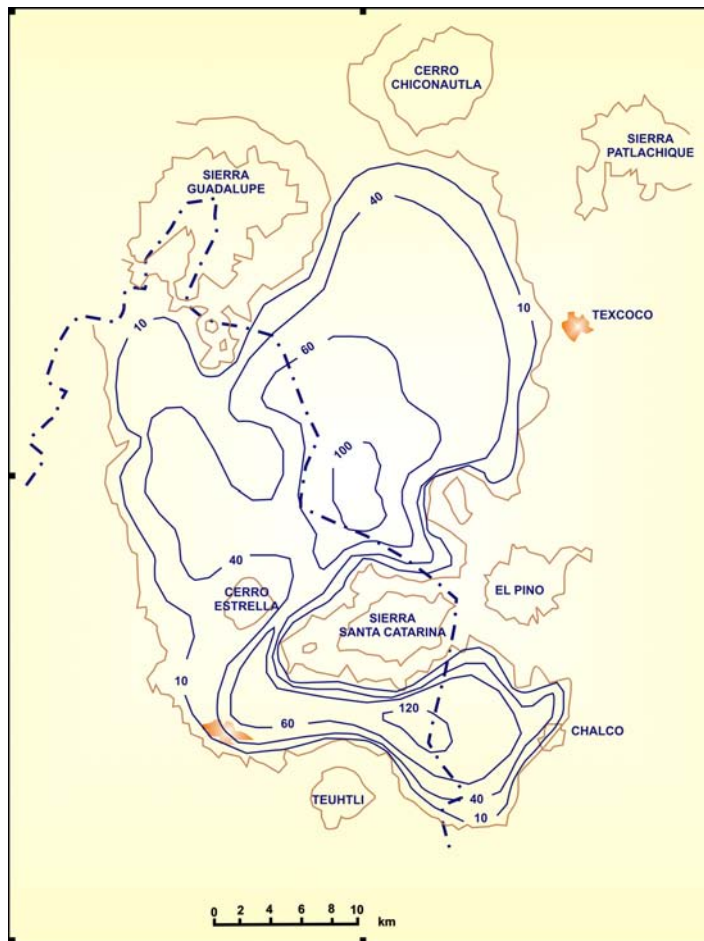


Las arcillas del lecho lacustre

El antiguo lecho lacustre en el fondo de la cuenca sirve como un impermeable “acuitardo”; consiste en una capa de arcillas, de 10 a 130 metros de grosor. Estas arcillas son excepcionalmente comprimibles cuando no se encuentran saturadas de agua.

A lo largo de los años, en el fondo del lago se depositó una gruesa capa de arcilla, compuesta de la materia fina acarreada por las aguas de las lluvias precipitadas en los cerros que circundan la Cuenca. Esta capa se conoce como “acuitardo”, por ser casi impermeable. Tiene un grosor de unos 40 metros, excepto en el sur de la Cuenca, en donde presenta entre 100 y hasta 130 metros de profundidad.

Las arcillas de la Cuenca de México tienen entre 8 y 10 partes de agua por cada porción sólida, lo cual se considera como excepcionalmente poroso. Esta propiedad hace que el acuitardo quede especialmente susceptible a compactarse y agrietarse ante la pérdida de humedad. Una construcción sobre arcillas, que normalmente experimentaría contracciones de 2.5 cm. en otras regiones del mundo, en la Ciudad de México, se compactaría 25 centímetros.



El funcionamiento de los acuíferos

Los acuíferos son formaciones geológicas permeadas con agua de fácil extracción. Como se ve en los diagramas y la tabla siguiente, los depósitos aluviales (color amarillo), compuestos de gravas y arenas volcánicas, que rodean y subyacen el antiguo lecho lacustre (color beige) sirven como la principal unidad hidrogeológica de extracción. Esta zona infiltra el agua pluvial que cae sobre las zonas en donde llega hasta la superficie, además del agua que le llega a través de corrientes subterráneas desde las permeables montañas a su alrededor.

La formación geológica “depósitos aluviales” (en amarillo) sirve como la principal fuente de agua subterránea dentro de la Cuenca. Se recarga directamente en las zonas que circundan el acuitardo, y recibe agua subterránea de las montañas en torno.

Las montañas que rodean la Cuenca, recargan agua lentamente a través de sus poros y mediante las fracturas existentes. Las sierras Chichinautzín y Santa Catarina (color naranja, en los diagramas) presentan la mayor capacidad de infiltración, seguida por las sierras Nevada, de Río Frío, de Las Cruces y Xochitepec (color gris y rosa).

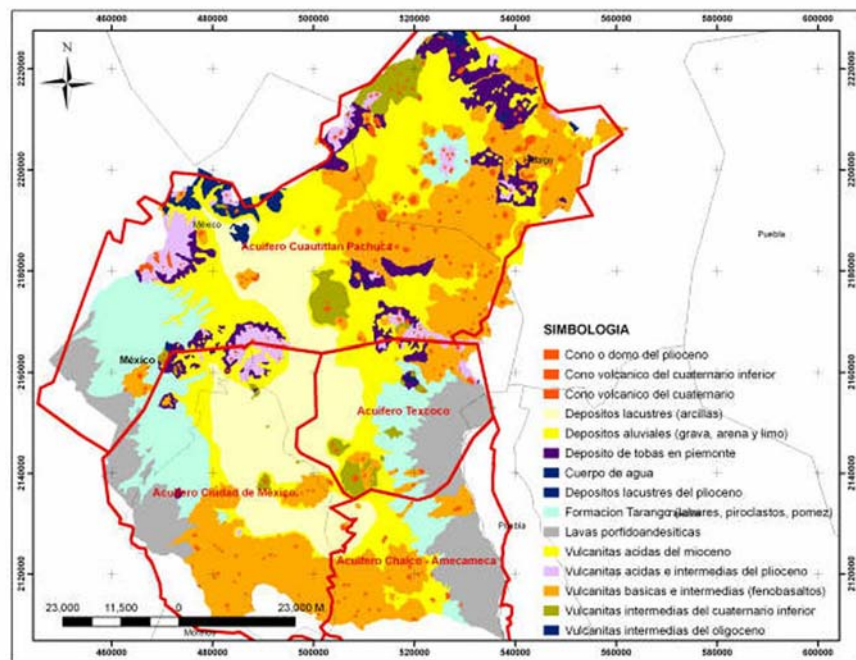
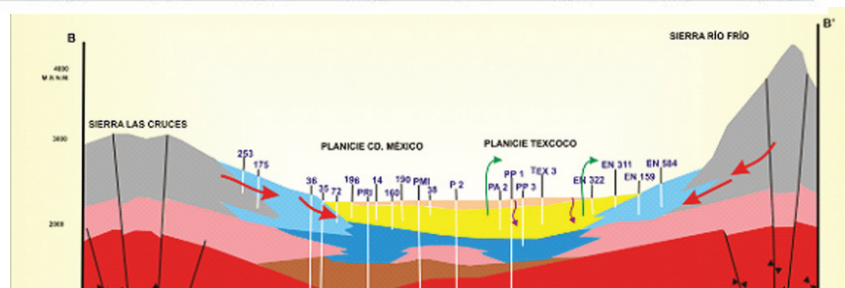


Ilustración 1. Perfil hidrogeológico de los acuíferos y acuitardos medios y superiores de la Cuenca de México.



EL MODELO ACTUAL DE GESTIÓN DEL AGUA

Exportación de agua de la Cuenca

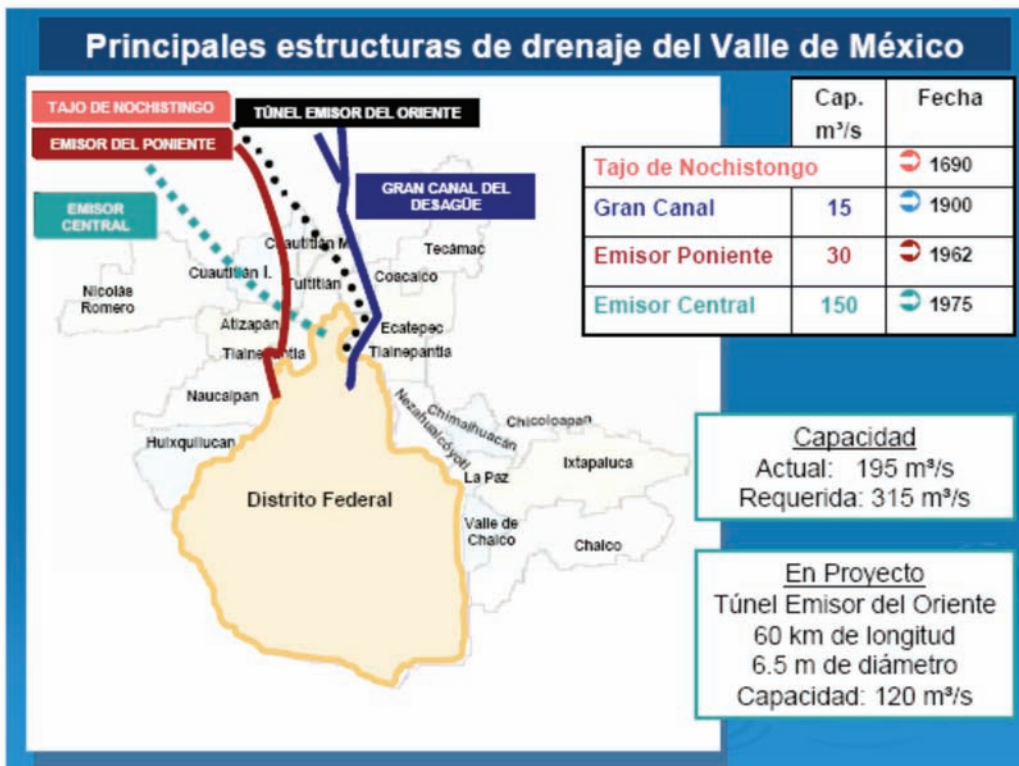
A lo largo de cuatro siglos, ha habido esfuerzos intensivos y constantes para desalojar las aguas lacustres, pluviales y residuales de la Cuenca de México a través de la construcción de salidas artificiales hacia el norte.

Las obras realizadas incluyen el Túnel de Huehuetoca (1607), seguido por el Tajo de Nochistongo (1789). Durante el Porfiriato se construyó el Gran Canal de Desagüe, que desalojaba las aguas vía el Primer Túnel de Tequixquiac (1900), seguido por la ampliación del Gran Canal y la construcción del Segundo Túnel de Tequixquiac (1954)⁴. En años recientes se llevó a cabo la construcción del

Con el crecimiento y hundimiento de la ciudad, se ha requerido de obras hidráulicas cada vez más espectaculares, para seguir desalojando agua de la Cuenca a través de canales y túneles con dirección norte.

Drenaje Profundo (1975), obra maestra que iba a resolver el reto del desagüe de una vez para siempre.

Actualmente, se exporta un promedio de 52 m³/s de agua de la Cuenca de México a la Cuenca de Tula, un volumen que acerca a la sobreexplotación de los acuíferos (41 m³/s), más el agua importada de otras cuencas (19 m³/s).



Fuente: Fideicomiso 1928, Programa de Saneamiento del Valle de México

Sobreexplotación de los acuíferos

En 1870, la extracción de agua subterránea en la Cuenca de México fue del orden de 2 m³/s. En el año 1952, el volumen extraído, 22m³/s, rebasó el volumen recargado, 19 m³/s. En 2007, el volumen de extracción en la Cuenca de México fue 59.5 m³/s, casi tres veces el volumen recargado.

Actualmente, la tasa de explotación, según cifras oficiales, de los cuatro principales acuíferos de la Cuenca, es casi tres veces su tasa de recarga.

Según los dictámenes de disponibilidad publicados en el Diario Oficial de la Federación (31/01/2003), y el Registro Público de Derechos al Agua, los cuatro principales acuíferos de la Cuenca padecen de las siguientes tasas de sobreextracción:

Tabla 1. Déficit de aguas subterráneas y volumen concesionado

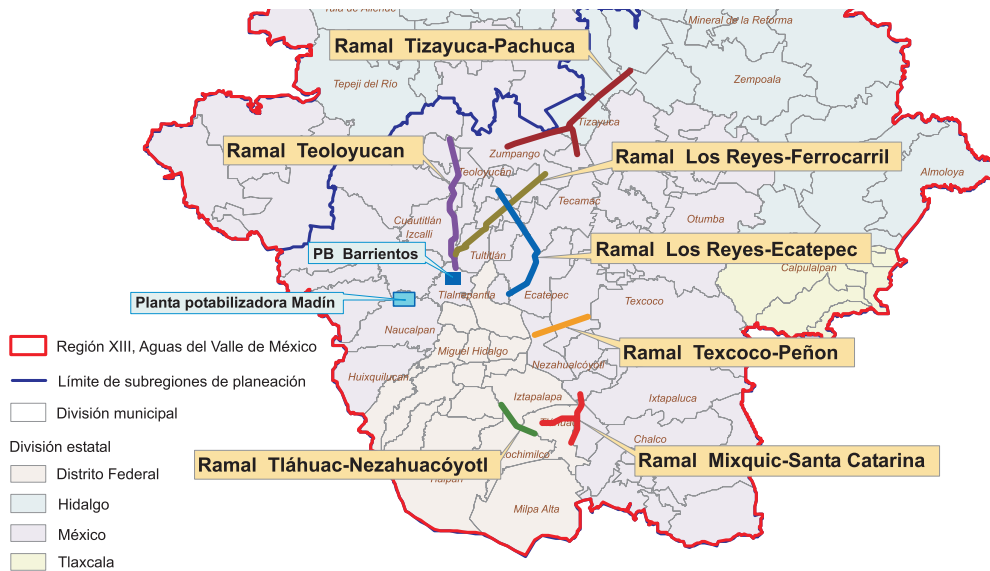
Acuífero	Recarga hm ³ /año	Extracción hm ³ /año DOF 31/1/03	Volumen concesionado y/o registrado REPDA 31/12/07	Relación concesionada/ Recarga 31/12/07	Déficit aguas subterráneas al 31/12/07
Zona Metropolitana de la Cd. De México	279	507	1248	4.47	-969
Chalco-Amecameca	74	128	92	1.24	-18
Texcoco	49	465	189	3.89	-140
Cuautitlán-Pachuca	203	483	337	1.66	-134
Total (hm ³ /año)	6055	1583	1866	3.08	-1261
Total (m ³ /s)	19.1	50	59		40

La tasa de recarga de los cuatro principales acuíferos, según sus dictámenes de disponibilidad, publicadas en el DOF, es de sólo 19.1 m³/s, sin contar la recarga en tres acuíferos menores, lejanos del área urbana.

Pozos subterráneos en la Cuenca del Valle de México

Los pozos de extracción (los puntos rojos) se concentran en las orillas del antiguo lecho lacustre, en donde las arcillas tienen menos espesor y es la zona por donde entran las aguas de recarga. Los pozos se encuentran fuertemente concentrados en el poniente de la ciudad, en la base de la Sierra de Las Cruces, y otra fuerte concentración en la orilla oriente, en el Acuífero de Texcoco. Casi la totalidad de pozos en la Cuenca de México extraen de la unidad hidrogeológica llamada “depósitos aluviales” (zona amarilla), la cual rodea y subyace las arcillas del acuitardo.

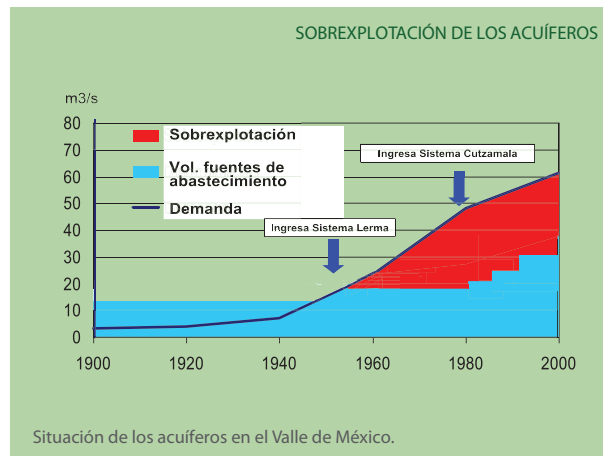
Distribución de pozos por ramales del Plan de Acción Inmediata, 2006



Fuente: Conagua, Oranismo de Cuenca del Valle de México, “Sistema Hidrológico del Valle de México”

Las baterías de pozo del Plan de Acción Inmediata, iniciaron operaciones en 1974, como una medida temporal, para proveer agua hasta el año 1980, cuando se esperaba poder disminuir la sobre explotación de los acuíferos a través de la importación de otras fuentes. Desafortunadamente, la urbanización ha seguido avanzando con un ritmo tal que el Organismo de Cuenca del Valle de México, concede en 2008 que “se ve casi imposible frenar la sobreexplotación de los acuíferos”.

Conagua, Sistema Hidrológico del Valle de México, Organismo de Cuenca, Aguas del Valle de México, 2008, pag. 24



Situación de los acuíferos en el Valle de México.

Importación de agua de cuencas externas

Con el propósito de reducir los niveles de sobreexplotación de los acuíferos de la Cuenca de México, se construyeron dos enormes proyectos para importar agua de las cuencas de Lerma (1951) y Cutzamala (1952).

El Sistema Lerma, construido para llevar 15 m³/s a la Cuenca de México, tuvo que reducir su caudal a 5 m³/s, debido a severos hundimientos derivados del sobrebombeo infligido a los acuíferos de Lerma. Un reciente informe de la Conagua⁵ señala que es probable que los volúmenes importados de Lerma tendrán que reducirse aún más en el futuro, por el mismo motivo.

Los sistemas Cutzamala y Lerma fueron diseñados con el propósito de sustituir el agua procedente de los acuíferos sobreexplotados con agua importada de otras cuencas. Sin embargo, al no tomar medidas para frenar el crecimiento urbano, la importación de agua de otras cuencas no disminuyó la sobreexplotación las tasas de sobreexplotación.

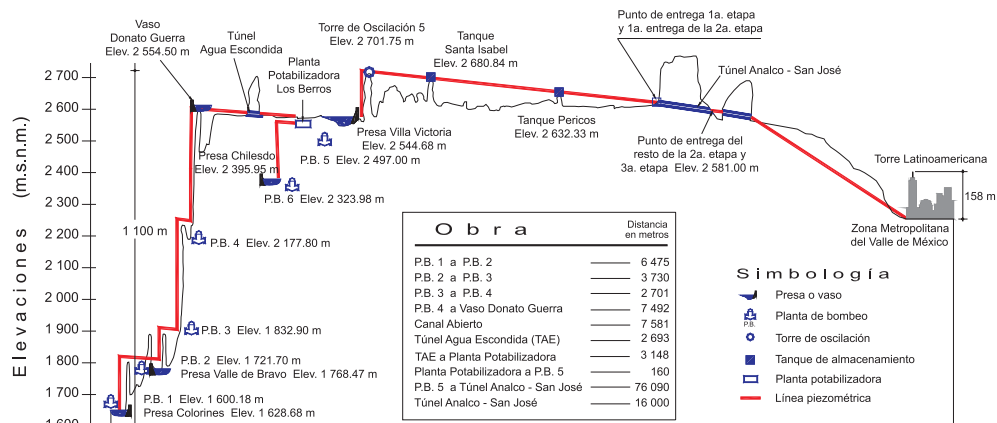
El Sistema Cutzamala, que trae agua desde los estados de México y Michoacán, ha disminuido su capacidad inicial de 20 m³/s a 15 m³/s. Actualmente, se está gestionando una nueva inversión de 3.5 mil millones para recuperar 3 m³/s de la capacidad perdida.

MODELO ACTUAL

“Esto no puede seguir así. Es una monstruosidad traer agua de lejos, subirla a este valle, para sacarla después.”

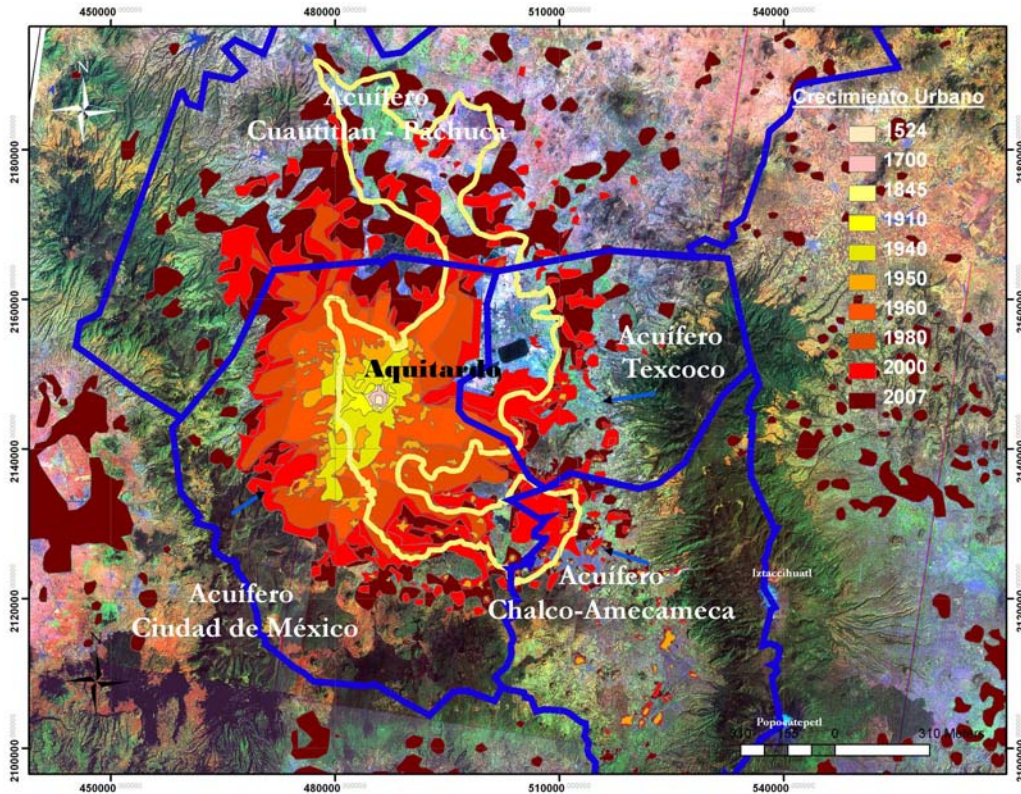
José López Portillo, en su diario personal, al inaugurar el Sistema Cutzamala.
Citado por Manuel Perló, 2006

Perfil del Sistema Cutzamala



Fuente: Conagua, Oranismo de Cuenca del Valle de México, “Sistema Hidrológico del Valle de México”

5 Conagua, Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México, 2007.



En el año 1910, la Ciudad de México tenía una extensión de 27 km²; en el año de 1960, aumento a 382 km²; para el año de 1990 el crecimiento de la mancha urbana alcanzó una extensión de 1209 km², mientras que para el año 2000 esa cifra fue de 1350 km². Con la tendencia observada, se espera que la superficie de la mancha urbana alcance una magnitud de 1475 km² en el año 2010 (DDF, 1997).

Desde los inicios del siglo pasado, la mancha urbana empezó a extenderse más allá del lecho lacustre, para empezar a cubrir las permeables zonas de recarga a su alrededor; primero por la Sierra Las Cruces (desde 1910), para luego extenderse sobre la Sierra Ajusco (desde los 1950), la Sierra Guadalupe y Tepozotlán (1990), y, actualmente por las Sierras Nevada y Río Frío (1990). Al impermeabilizar los suelos agrícolas y forestales en estas décadas, la Cuenca no sólo perdió capacidad de recarga, sino la capacidad de autorregularse con respecto a los picos de lluvia. El agua que antes había recargado los acuíferos, empezó a escurrir libremente e inundar las zonas urbanas cuenca abajo, primero en el poniente, luego en el sur, y más recientemente, en el sureste y oriente.

SEÑALES DE ALARMA

Extinción de los glaciares

Los modelos de cambio climático, prevén la desaparición de los glaciares de las zonas tropicales se encuentran en proceso de extinción en todo el planeta. Se prevé la desaparición de las masas glaciales de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl dentro de 15 años. Los glaciares y sus nieves perpetuas, al almacenar las fuertes precipitaciones cuenca arriba, han servido para prevenir inundaciones, y sus deshielos han abasteciendo a más de 120,000 habitantes del suroriente de la Cuenca (Amecameca, Tlalmanalco, Ayapango, Ecatingo, Atlautla, Ozumba, del Estado de México)



Glaciar, 2006, ecoaventura



Glaciar, 2008, ecoaventura

Inundaciones

La urbanización de las zonas de recarga daña la capacidad de la cuenca para amortiguar los picos de lluvia. El agua que normalmente habría sido infiltrada por las zonas agrícolas ó forestales, avanza violenta-fuerza y basura a los poblados de la cuenca baja. Los eventos meteorológicos extremos y la pérdida de los glaciares, consecuencias del calentamiento global, agravarán dicho problema.



Inundación de Valle de Chalco, junio de 2000, cuando se desbordó el canal de La Compañía, al término de la construcción de 85.000 viviendas, sobre la zona de recarga cuenca arriba, en el municipio de Ixtapaluca.

Estrés hídrico, estrés social

La disponibilidad natural media de agua es un indicador utilizado a nivel internacional para evaluar la relación entre una población y el agua naturalmente accesible en su medio. En la Cuenca de México, la disponibilidad natural media es 85 m³/habitante/año, lo cual está considerado como una situación límite de sustentabilidad humana, por representar sólo el 8.5% de la cantidad clasificada como extremadamente baja (véase cuadro).⁶ La disponibilidad de agua potable por habitante en la cuenca, si sobreexplotación de acuíferos, es de 58 litros por día.

Los habitantes de la Cuenca de México viven una situación de extrema escasez en cuanto a la disponibilidad de agua. Los 15.4 millones de habitantes que viven en colonias populares tienen dotaciones menores a los mínimos recomendados.

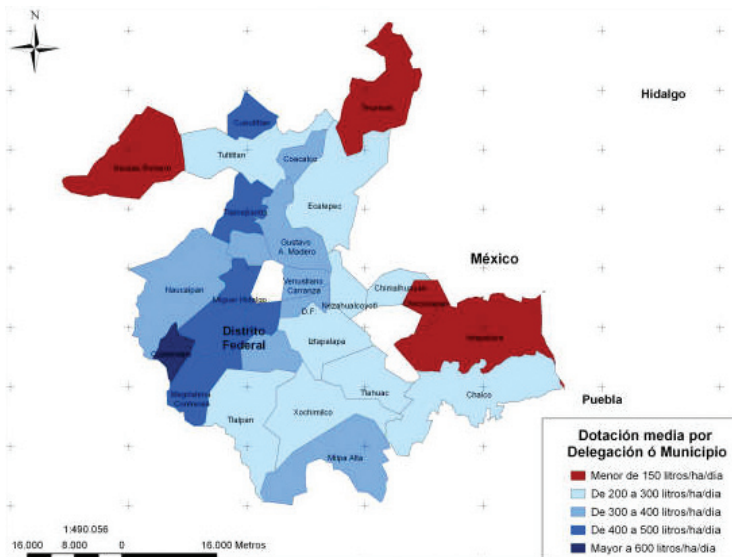
Estrato	Consumo/ Dotación l/habi/día	% población	Disp. natural media (m ³ /hab/año)	Clasificación
Residencial	567	2%	85 m ³ /año	Cuenca de México
Medio alto	399	4%	Menor a 1000	Extremadamente baja
Medio	159	18%	1520 m ³ /año	Cuenca de Tula
Popular	128	77%	1001 a 2000 2001 a 5000	Muy baja Baja
			4547 m ³ /año	México, nacional
			5001 a 10,000	Media
			10,001 a 20,000	Alta
			Más de 20,000	Muy alta

Fuente: Blanca Jimenez, 2006

A pesar de éstas limitantes, seis de cada 100 pobladores de la cuenca no sufren de escasez del recurso. De los seis, dos viven en zonas residenciales y consumen un promedio de 567 litros/hab/día, y los cuatro restantes, de nivel económico medio alto consumen 399 litros/hab/día.

El 77% de la población del D.F., usa menos de 150 litros por habitante por día. Para muchos de ellos, el agua es un recurso escaso y racionado, y en muchos casos, sumamente caro, ya que sólo es posible obtenerla mediante su transporte en pipas.

Fuente: Conagua, 2006



6 Compendio del Agua, Comisión Nacional del Agua, 2004.

Hundimientos y grietas

A lo largo del siglo XX, la ciudad se hundió un total de nueve metros, un promedio de nueve centímetros por año; actualmente, el suroriente de la ciudad está hundiéndose a una tasa de 40 cm/año, debido a la compactación de su grueso acuífero, causada por la sobreexplotación del acuífero subyacente.

En 1947, el Dr. Nabor Carrillo demostró que la pérdida de presión del agua que satura al estrato arcilloso era la causa principal del hundimiento de la Ciudad de México.

Las zonas que presentan mayor hundimiento son las zonas con mayor concentración de pozos, y se caracterizan por poseer las capas de arcilla de mayor grosor.

En las zonas en donde la capa de arcilla es más profunda, la sobreexplotación de los acuíferos determina un hundimientos de 40 cm por año. Recientemente, la aparición repentina de enormes grietas, ha sido causa de daños a viviendas y han cobrado una vida humana.



Hiriart y Marshal, 1967, OPMAC-Ecotin Consultores, 2000.

El 7 julio de 2007, en la colonia Lomas de San Lorenzo en Iztapalapa, una grieta de veinte metros de diámetro y catorce metros de profundidad se abrió entre las calles Vista Hermosa y Guadalupe Victoria, engullendo un automóvil estacionado en el lugar, y llevando a la muerte al joven Alejandro Ramírez Arredondo de 19 años de edad, que se encontraba cerca. Los topos de Tlatelolco tardaron dos días antes de poder encontrar su cuerpo. Al menos 49 familias tuvieron que ser desalojadas debido a los daños provocados a sus viviendas y a la inestabilidad del terreno.



Tal como lo advirtió la investigadora Dra. Marisa Mazari-Hiriart, han empezado a aparecer enormes grietas en las zonas cuya capa de arcilla es más gruesa, poniendo en riesgo viviendas, líneas de agua, la calidad del agua del acuífero subyacente, y en julio 2007, una vida humana.



Hundimiento de planta baja de una casa-habitación en Chalco, Dr. Agustín Breña, UAM-I

Tlahuac, 2003. Dr. Agustín Breña, UAM-I

El retorno del lago



Según afirman los estudios del Dr. Adrián Ortiz Guerrero, del Centro de Geociencias de la UNAM, los hundimientos en el suroriente de la Cuenca están llevando a la reaparición del antiguo Lago de Chalco. La capa de arcillas en esta zona, la más profunda de la Cuenca, tiene un grosor de 300 metros. El Dr. Ortiz ha estado evaluando su comportamiento como resultado de la instalación de los 14 pozos del Sistema Mixquic-Santa Catarina, a un lado del Volcán Xico. Según la extracción de agua subterránea en esta zona ha pasado de 2 m³/s en los años cincuenta, a casi 10 m³/s en la actualidad. El agua en los pozos ha descendido de 17 metros de profundidad que presentaba originalmente, a 50 metros de profundidad en la actualidad, con un descenso presente de 1.5 metros.

El hundimiento ha alterado todo el sistema de drenaje natural en esta porción de la cuenca, de modo que se ha empezado a acumular agua pluvial. Así se empezaron a formar pequeñas lagunas en la planicie del Valle de Chalco a finales de los ochenta; en 1991, éstas se han unido para conformar lo que se está llamando “el nuevo lago de Chalco”, de casi 4 km² de superficie. Se ha instalado bombeo escalonado a lo largo del Canal General, para intentar desalojar las aguas; por otro lado, los canales de los Ríos Amecameca y La Compañía requieren elevarse constantemente, al mismo ritmo de los hundimientos.

Para 2015, explica el Dr. Ortíz, se tendrá un hundimiento de 16 metros, con una extensión de 1200 a 1500 hectáreas, con afectación a los suelos agrícolas, a unas 150 hectáreas de la zona urbana de Valle de Chalco y 25 hectáreas de la zona urbana de Tláhuac.⁴

4 El Universal, 1 mayo 2008, reportado por Josefina Rodríguez Rivera.

Desalojo hídrico costoso y de alto riesgo desde el sur hasta el norte de la Cuenca

La práctica histórica de desalojar las aguas pluviales y residuales de la Cuenca mediante salidas artificiales situadas al norte, hoy en día tiene cada vez menos sentido, dado que el sur de la cuenca es la parte más honda, y continúa hundiéndose a una tasa de 40 cm/año. Desalojar el agua por túneles y canales en el norte implica enormes gastos en infraestructura de bombeo y la rectificación constante de los canales de desalojo.



Fuente: Dirección General de Desarrollo Económico de la Delegación de Tlahuac

Un ejemplo de lo anterior, son las 21 plantas de bombeo requeridas para subir las aguas pluviales y residuales de Chalco, Ixtapaluca, Los Reyes, Chicoloapan, Nezahualcoyotl y Chimalhuacan hasta una altura de 4 a 9 metros para llevarla a los canales de desalojo. El Fideicomiso 1928, financiado con aportes por el pago de derechos por los usuarios del agua en la Cuenca, ha tenido que erogar \$258 millones en plantas de bombeo y \$128 millones para rectificar los canales en la Delegación de Tlahuac⁵ (para encauzar sus aguas hacia los túneles de desalojo en el norte), con el objetivo de evitar las severas inundaciones causadas por el hundimiento y la urbanización de las zonas de recarga. Por otro lado, el Fondo Metropolitano (presupuesto federal 2008) tuvo que invertir \$65 millones en un enorme equipo de bombeo para que los canales de salida pudieran vencer la contra pendiente que se presenta hacia Texcoco.

En las zonas de salida, continúan los problemas. El Gran Canal, que originalmente desalojaba 80 m³/s de aguas residuales, debido a la contra pendiente, ahora sólo tiene una capacidad de 15 m³/s. El Emisor Central, diseñado para desalojar por gravedad 170 m³/s de aguas. Por su parte, el Emisor Poniente mantiene una capacidad de 30 m³/s.

El Fondo Metropolitano, en 2008, aportó \$200 millones para dar mantenimiento al Emisor Central. En el mismo año, la Comisión Nacional del Agua ejerció una primera partida de \$1,000 millones, para iniciar la construcción del Emisor Oriente, un túnel de 6.5 metros de diámetro y 60 km de longitud, con una capacidad de 120 m³/s, cuyo costo final está estimado en \$10 mil millones. La propuesta salida del Emisor Oriente, se encuentra 20 metros por debajo de la planta de recepción de El Salto, lo cual requeriría del bombeo de volúmenes masivos de agua (está diseñado para una carga de 160 m³/s), a esta altura, en caso de eventos extremos.

5 “Plan Rector para solucionar el problema de sancamiento de lagunas, canales y drenaje para el manejo de escurrimientos pluviales en la Zona Sur-Oriente de la Delegación Tlahuac.” Fideicomiso 1928.

Alto costo de energéticos

En el año 2007, según datos de la Conagua, el costo total en energéticos para el bombeo de agua potable en el área metropolitana de la Cuenca de México fue \$7.4 mil millones (\$20 millones/día)⁶, representando un costo más de 10 veces mayor al de 1993, por la misma cantidad de agua. Si continuara la misma tendencia de aumento, en el año 2021, el costo en energéticos por familia en la Cuenca será \$17,082 por año, para una dotación de 200 litros/habitante/día.

Costo anual 2007	Fuente	Costo energéticos/m3 2007	Costo/m3 1993	Aumento en costo 1993-2007	Volumen importada ó extraída
\$5,418,705,079	Agua subterránea	\$2.59/m3	\$0.21/m3	1233%	66.0 m3/s
1,535,733,472	Cutzamala	\$3.22/m3	\$0.31/m3	1038%	15.1 m3/s
423,843,840	Lerma	\$2.80/m3	n.d.	n.d.	4.8 m3/s
\$7,378,282,391	Total	\$2.72/m3	\$0.25/m3	1088%	85.9 m3/s

Problemas con el sistema de concesiones

La Ley de Aguas Nacionales establece el sistema de concesiones⁶ como herramienta principal para lograr el equilibrio hidrológico.⁷ La autoridad del agua tiene el mandato que existan volúmenes suficientes para cubrir las cosecciones otorgadas.

El sistema de concesiones no está cumpliendo con el objetivo de controlar el uso en función de la disponibilidad del agua.

En el caso del agua subterránea, las disponibilidades de los acuíferos, deben ser publicados en el Diario Oficial cada tres años.⁸ Sin embargo, según el Registro Público de Derechos al Agua, los volúmenes de agua concesionados con relación a los cuatro principales acuíferos de la Cuenca (59 m3/s), son tres veces mayores a la disponibilidad total (19 m3/s).

Abundan irregularidades por parte de los usuarios de las de concesiones, incluyendo la presentación de información falsa en la solicitud de la concesión; la utilización de medidores inhabilitados; el uso múltiple de una sola concesión para justificar varios proyectos; el mantenimiento de concesiones “fantasma”; la extracción de volúmenes mayores a los concesionados; y la excavación de pozos sin contar con concesiones. Desafortunadamente, la Conagua cuenta con poco presupuesto y personal para realizar visitas de inspección; en los casos en

6 Los permisos a particulares se consideran “concesiones” y son transmisibles; los permisos a gobiernos se llaman “asignaciones” y no son transmisibles.

7 Artículo 14 Bis 6 II; Art. 22, Ley de Aguas Nacionales.

8 Los dictámenes de disponibilidad tienen que ser publicados en el Diario Oficial de la Federación cada tres años; sólo ha sido un dictamen para cada uno de los acuíferos en la Cuenca de México, publicado en el DOF en 2003.

donde logran imponer una sanción, la parte afectada revierte la decisión, cuando la autoridad no logró cumplir con los plazos fijados por la Ley del Procedimiento Administrativo.

En 2008, decenas de miles de concesiones del agua han dejado de tener efecto⁹. Sin embargo, los concesionarios prefieren pagar una multa ó impugnar una sanción, antes que tramitar la prórroga de su concesión¹⁰

**Concesiones de agua a Geo Edificaciones, S.A. de C.V.,
para uso agrícola en el municipio de Ixtapaluca, Estado de
México. Con anotaciones marginales**

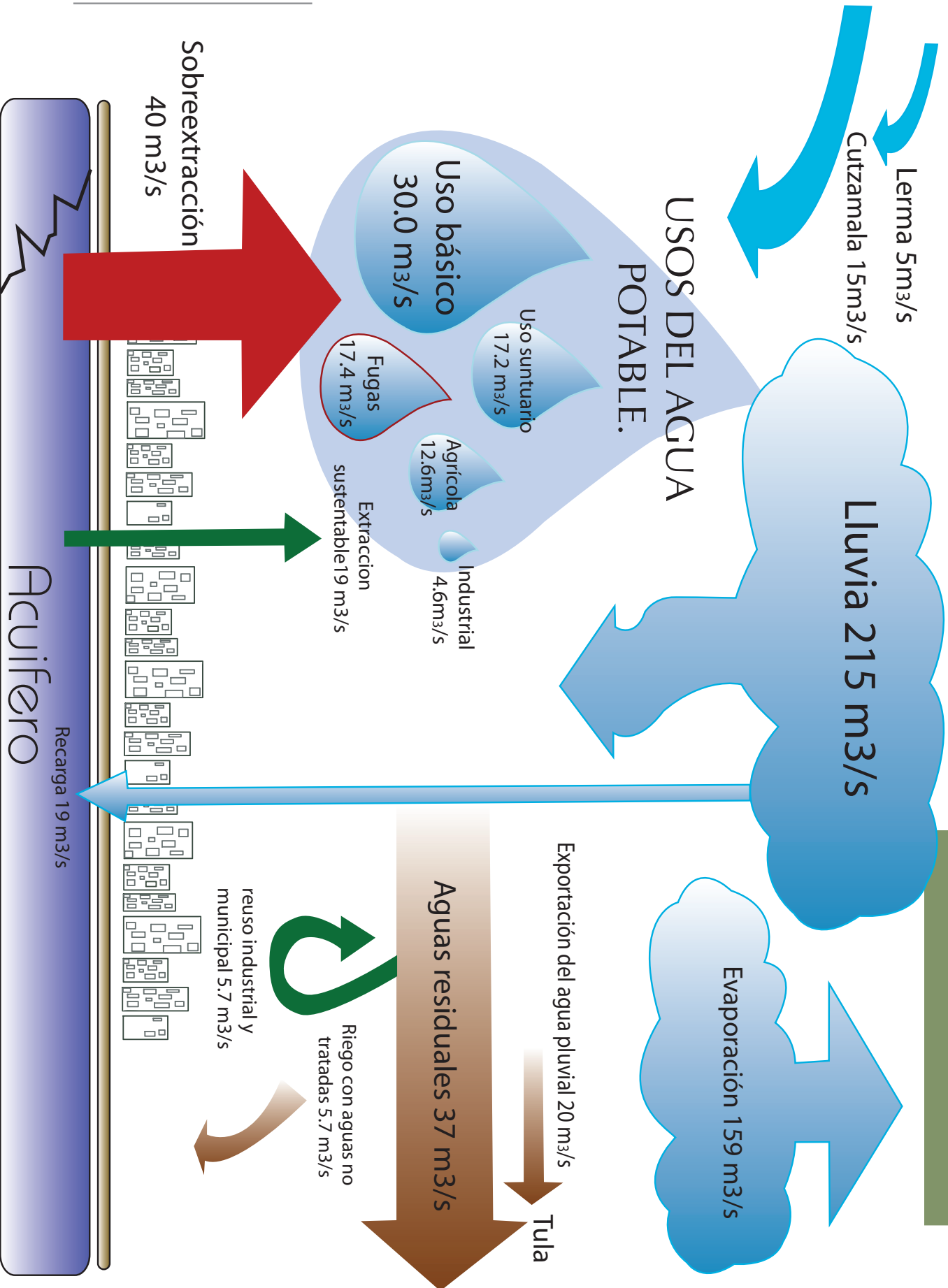
GEO EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.	<u>5MEX100186/26AMGR94</u>	AGRICOLA	3/29/1995
GEO EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.	<u>5MEX100187/26AMGR94</u>	AGRICOLA	3/29/1995
GEO EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.	<u>5MEX100188/26AMGR94</u>	AGRICOLA	3/29/1995
GEO EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.	<u>5MEX100189/26AMGR94</u>	AGRICOLA	3/29/1995
GEO EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.	<u>5MEX100190/26AMGR94</u>	AGRICOLA	3/29/1995

Geo Edificaciones, S.A. de C.V. registró las primeras concesiones en el Acuífero Chalco-Amecameca, para un volumen suficiente para mantener una zona de riego de casi 200 hectáreas, o justificar la construcción de 10,634 viviendas para 47,853 habitantes. Por ser agrícolas, Casas GEO ha podido mantener estas concesiones sin costo¹¹


⁹

¹⁰ Observaciones vertidas por el Lic. Juan Manuel Flores Femat en el Curso sobre “Legislación y Desarrollo Rural”, ya citado anteriormente.

¹¹ En revisiones de geoimágenes (foto aérea 1:50,000, 2000; imagen satélital 2006 y 2007; investigaciones de campo 2005-2008), no aparecen zonas de riego al interior de los límites del Acuífero Chalco-Amecameca, excepto por las Unidades de Riego concesionadas.



SEÑALES DE ALARMA

A photograph of a forest floor. The ground is covered with dark soil, numerous tree roots of various sizes, and a layer of fallen, brown, and yellowish leaves. Some green plants are visible in the background. The lighting is natural, suggesting an overcast day.

1. APROVECHAR EL AGUA DE LA CUENCA
EN LA CUENCA



1. APROVECHAR EL AGUA DE LA CUENCA EN LA CUENCA

El modelo de gestión de agua en la Cuenca de México, basado principalmente en la sobreexplotación de sus acuíferos y la importación de otras cuencas, está llegando a sus límites. Además de inspirar cambios en los patrones de uso, esta encrucijada está permitiendo una revaloración del agua con la cual cuenta la cuenca.

La reciente propuesta de tratar las aguas residuales de la Cuenca de México, enviarlas a la Cuenca de Tula para ser aprovechadas e infiltradas vía riego, para luego extraerlas y reimportarlas para su potabilización, representa un primer paso hacia el cierre de ciclos hidrológicos. Sin embargo, se sugiere considerar si no sería más costeable aprovechar las aguas pluviales y residuales de la Cuenca de México en la propia cuenca, propiciando, a su vez, un proceso similar en la Cuenca de Tula.

De un modelo basado en la extracción-uso-desecho del agua, a la gestión de los ciclos hidrológicos

LOS LÍMITES DEL MODELO LINEAL DE MANEJO DEL AGUA\

Actualmente, en la Cuenca de México se está topando con los límites de un modelo lineal de gestión del agua. Según este modelo, el agua es un bien a extraer ó importar, para utilizar y, finalmente, “desechar”. El enfoque de dicho modelo lineal está centrado en la construcción de pozos, tuberías, plantas de bombeo y túneles.

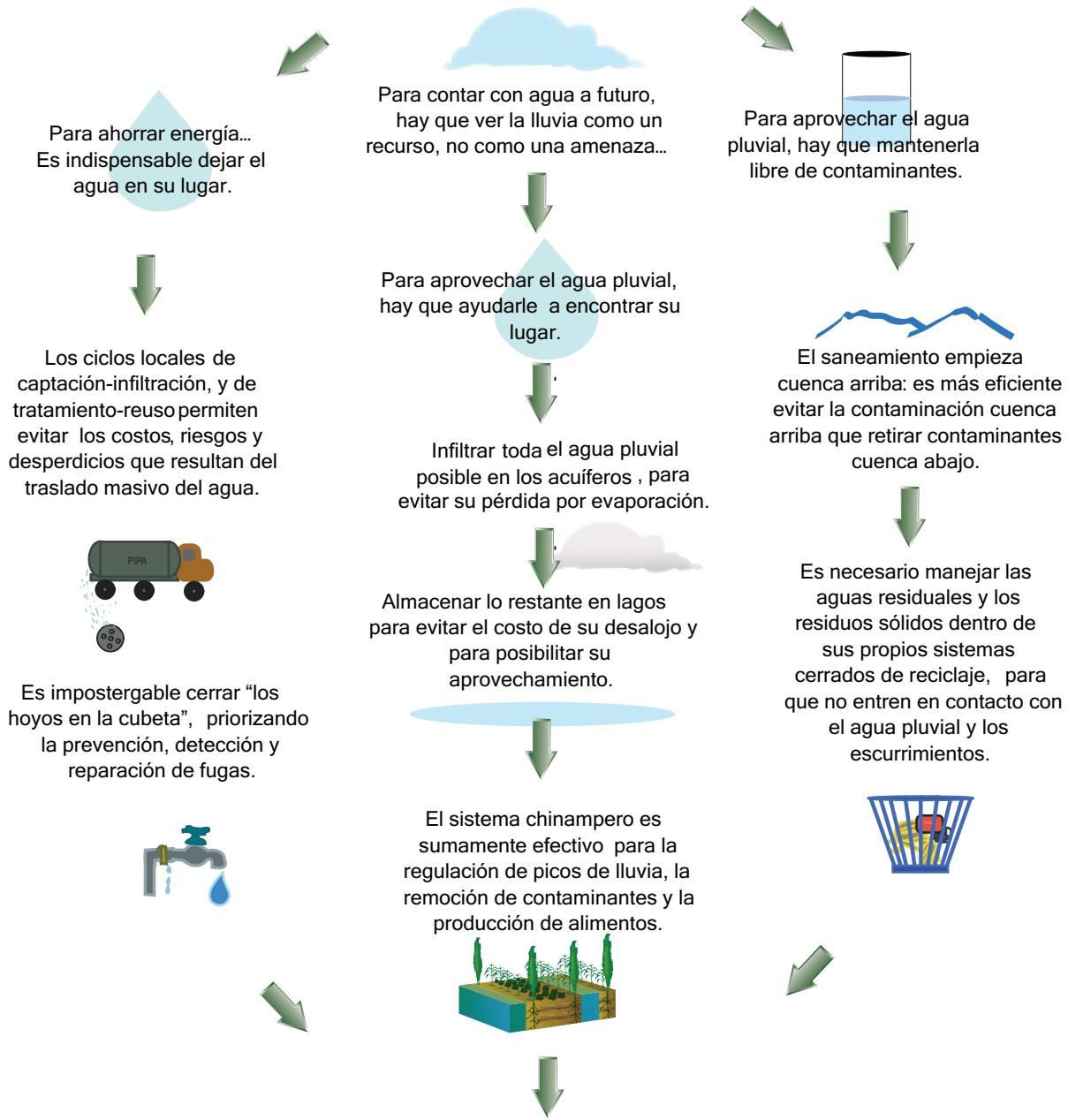
Este modelo llegó a su auge en la Cuenca de México con la construcción de los sistemas Cutzamala (1982, 1985, 1993) y Lerma (1951, 1975) y el Drenaje Profundo (1967). Dicha época se caracterizó por la rápida expansión económica y la disponibilidad de energía abundante y barata, bajo una visión en la cual predominaba una fe en la capacidad de la tecnología para vencer todo tipo de límites naturales.

En los 1990, este modelo lineal entró en crisis. El costo financiero, social, y ambiental de las colosales obras hidráulicas, aunado a la emergente complejidad política, minaban la viabilidad de la siguiente generación de grandes proyectos, lo que dio como resultado la cancelación de las macroplantas de tratamiento propuestas, así como de la cuarta etapa del sistema de Cutzamala.



Los principios de un modelo basado en la gestión de los ciclos hidrológicos

Hay que cerrar los ciclos hídricos...
para ahorrar energía y para contar
con agua a futuro.



La gestión integral de cuenca se construye desde
cada una de las subcuencas y sus microcuencas.

PRINCIPIOS PARA LA GESTIÓN DE LOS CICLOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DE MÉXICO

- LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA SE CONSTRUYE DESDE LAS SUBCUENCAS Y SUS MICROCUENCAS.
- LA VEGETACIÓN EN CUENCA ALTA GARANTIZA LA INFILTRACIÓN Y PREVIENE LAS INUNDACIONES Y EL AZOLVE CUENCA ABAJO.
- EL SANEAMIENTO EMPIEZA CUENCA ARRIBA: ES MÁS EFICIENTE EVITAR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA CUENCA ARRIBA QUE RETIRAR LOS CONTAMINANTES A GRANDES VOLÚMENES DE AGUA CUENCA ABAJO.
- HAY QUE MANEJAR POR SEPARADO EL AGUA PLUVIAL DE LAS AGUAS RESIDUALES.
- HAY QUE INFILTRAR TODA EL AGUA PLUVIAL POSIBLE EN LOS ACUÍFEROS PARA EVITAR SU PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN; HAY QUE ALMACENAR LOS EXCEDENTES EN LAGOS Y LAGUNAS, PARA EVITAR EL COSTO DEL DESALOJO.
- LOS CICLOS LOCALES DE CAPTACIÓN-INFILTRACIÓN, TRATAMIENTO-REUSO PERMITEN BAJAR LOS COSTOS, RIESGOS Y DESPERDICIOS DEL TRASLADO MASIVO DEL AGUA.
- HAY QUE BUSCAR SOLUCIONES QUE IMPLIQUEN EL MENOR CONSUMO DE ENERGÉTICOS POSIBLE.

Relación entre las Cuencas de México y Tula

La Cuenca de México ha exportado agua a la Cuenca de Tula desde la inauguración del Túnel de Huehuetoca, en 1607. A lo largo de estos cuatro siglos, los volúmenes exportados han aumentado dramáticamente, debido a aumentos sustanciales en la explotación de los acuíferos y la pavimentación de las zonas de recarga.

Actualmente, el volumen de agua exportada desde la Cuenca de México hacia la de Tula ha alcanzado 52 m³/s, es decir 1.6 mil millones m³/año, lo que significa el volumen suficiente para proveer 150 litros de agua por día a una población de 30 millones de habitantes.

Como resultado de este “subsidio” hídrico, la tasa de recarga artificial de los acuíferos de la Cuenca de Tula es casi 15 veces mayor que su tasa de recarga natural. Como consecuencia, el nivel de su manto freático ha subido 50 metros en las décadas recientes, para encontrarse actualmente al ras del suelo en la cuenca baja. En esta parte de la cuenca las tierras agrícolas están saturadas, el agua brota de la superficie con una fuerza artesiana de 100 a 600 litros/segundo;¹⁷ y la evaporación de esta agua está empezando a salinizar las tierras.¹⁸

17 Jiménez, Blanca E., “El Agua en el Valle de México”, *Paramo*, 2006.

18 Conagua, “Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de los Acuíferos del Valle de México”, 2007.

En contraste, la Cuenca de México vive una situación de estrés hídrico extremo. La disponibilidad media per capita en la Cuenca de Tula (1620 m³/año) es 19 veces mayor que la del Valle de México (85 m³/año).¹⁹

LA RETENCIÓN DEL AGUA EXPORTADA: CLAVE PARA EL EQUILIBRIO HÍDRICO EN LA CUENCA DE MÉXICO

Como se ve en la tabla siguiente, la Cuenca de México requiere del agua que actualmente exporta hacia la Cuenca de Tula, para enfrentar la crisis de sus acuíferos y para disminuir su dependencia de fuentes externas de agua.

Tabla 1. Exportación de agua y desequilibrios en el balance hidrológico de la Cuenca de México

Concepto	(m ³ /s)
Aguas residuales exportadas ¹	32
Agua de lluvia exportada por la red	20
Total: Agua exportada a la Cuenca de Tula	52
Desequilibrios en balance hidrológico de Cuenca de México	-61
Sobreexplotación de los acuíferos	-41
Agua importada de Cutzamala	-15
Agua importada de Lerma	-5

1 (43 m³/s descargadas a la red, menos 11 m³/s reutilizadas en el norte de la Cuenca)

El aprovechamiento de las aguas residuales en la Cuenca de Tula

En la segunda mitad del siglo XX, los agricultores de la Cuenca de Tula se dedicaron a un intensivo proceso de construcción de canales para poder aprovechar en el riego los crecientes volúmenes de aguas servidas expulsados de la Cuenca de México.

Actualmente, los 1741 km. de canales (20% de los cuales son de tierra) proveen agua de manera permanente a 84,500 has. Más de 50 mil agricultores, muchos de los cuales son indígenas, utilizan esta agua para la siembra de cultivos que no son de consumo humano directo, principalmente alfalfa y maíz, y en menor medida, frijol, haba, papa, trigo, cebada, nabo forrajero, pastos y praderas.²⁰

19 Compendio del Agua, Conagua, 2004.

20 Según la Conagua, las presas de la Cuenca de Tula proveen agua a l 6% de las zonas de riego que están sembradas con cultivos “restringidos” que requieren de agua limpia ó tratada, entre los que se incluyen aceituna, nopal, calabaza, chile verde, brócoli, cilantro y tomate. Los cultivos regados con aguas residuales son: alfalfa (42%); maíz (39%); frijol, haba, papa y trigo (7%); pastos y praderas (3%); cebada y nabo forrajero (2%). Conagua, “Manejo de Aguas Residuales para el Combate a la Pobreza en las Grandes Ciudades”, 2006.

Foto 1. La llegada a la Cuenca de Tula de las aguas exportadas de la Cuenca de México



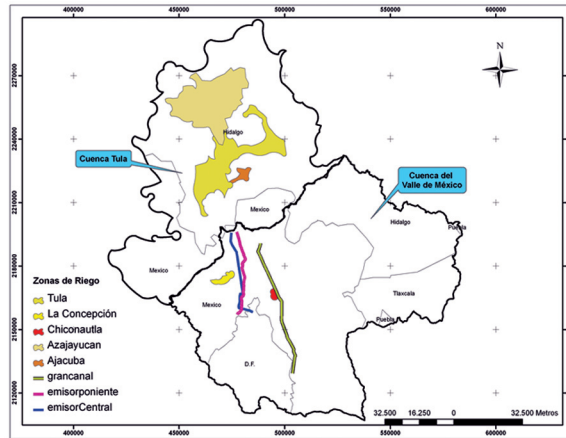
Fuente de foto: Conagua, 2008.

Las aguas residuales de la Cuenca de México son utilizadas para el riego de 84,500 has de cultivo en la Cuenca de Tula, y de 31,500 has en la propia cuenca, logrando, a su vez, la recarga de acuíferos en ambas cuencas.

De esta manera, las aguas residuales y la materia orgánica que contienen, han convertido la árida y salitrosa Cuenca de Tula, en un vergel con manantiales, pozos artesianos y suelos fértiles de hasta un metro de profundidad. Según un estudio reciente de la Conagua, las aguas residuales de la Cuenca de México están aportando anualmente 44 mil toneladas de nitrógeno y 17 mil toneladas de fósforo a las tierras agrícolas de las zonas de riego de la Cuenca de Tula.²¹

²¹ Conagua, "Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México", 5 noviembre 2007.

Mapa 1. Utilización de aguas residuales de la Cuenca de Tula para zonas de riego en las Cuencas de México y Tula



Conagua, 2008

Se vislumbra un cambio en la relación entre las cuencas de México y Tula

Frente a la actual abundancia de agua en la Cuenca de Tula, y la sorprendentemente buena calidad del agua en su acuífero,²² la Coordinación de Proyectos de Saneamiento del Valle de México de la Conagua (basada en estudios del Instituto de Ingeniería de la UNAM) ha determinado que se podrían extraer 10 m³/s de los acuíferos del Valle de Mezquital (Tula) de manera sustentable, de los cuales 7.5 m³/s serían aprovechables, después de someterlos al proceso de potabilización por membranas²³. De esta cantidad, la Conagua se propone utilizar 2.5 m³/s en Hidalgo, y reimportar 5 m³/s para los sistemas de agua potable en la Cuenca de México, principalmente el noroeste del Valle de Cuautitlán²⁴, el restante se enviará al Macrocircuito.

A la vez que se propone la reimportación, la Cuenca de México está disminuyendo los volúmenes de aguas residuales que se están enviando a la Cuenca de Tula (de 36 m³/s en 1991, a 32 m³/s en 2001), gracias a los avances en el reuso del agua en la industria, la agricultura y en los municipios, dentro de la Cuenca.²⁵

22 La recarga incidental (ó sea, artificial, no intencional) de la Cuenca de Tula se ha logrado a través de la biodegradación de las aguas residuales de la Cuenca de México por parte de los microorganismos en los suelos bajo riego, además de la filtración física por parte de los suelos y formaciones geológicas.

23 Se perdería 25% del volumen en el proceso de potabilización con la utilización de membranas.

24 Cuautitlán-Izcalli, Tepotzotlán, Teoloyucan, Huehuetoca, Coyotepec, Jalpillas, Santo Tomás.

25 Conagua, "Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos...", 2007. Este fenómeno ha sido acompañado, sin embargo, por un aumento en las aguas pluviales expulsadas, debido principalmente a la urbanización de las zonas de recarga.

Oportunidad: Con riego eficiente, Tula podría abastecerse con sus propios recursos hídricos

De los 52 m³/s de agua que la Cuenca de Tula recibe de la Cuenca de México, sólo 23 m³/s son aprovechados.²⁶ Los 29 m³/s restantes fluyen al Río Pánuco, el cual después de recorrer 513 km, desemboca finalmente en el Golfo de México. Durante la temporada de lluvias, el desperdicio del agua exportada es aún mayor, dado que la Cuenca de México envía un promedio de 71 m³/s en dicha época, de los cuales 48 m³/s no son aprovechados.²⁷

Actualmente, cada metro cuadrado de cultivo en las zonas de riego de la Cuenca de Tula recibe un promedio de 1.78 m³ de agua (lámina neta). Con el riego tecnificado (Véase Tabla 2), se podría ahorrar más del 60% del agua actualmente utilizada, disminuyendo el consumo actual de 23 m³/s a sólo 14 m³/s.²⁸ Este volumen sería suficiente y permitiría la utilización del agua (limpia) de las presas y acuíferos propios de la cuenca en mención, al tiempo que sería posible el diseño de sistemas para trasladar agua de la cuenca baja, en donde los suelos están saturados, a la cuenca alta, en donde el nivel freático todavía sufre algún grado de abatimiento.²⁹

Tabla 2. Posibles incrementos en la eficiencia con distintos métodos de riego, en relación con el riego por gravedad

SISTEMA DE RIEGO	Incremento de la eficiencia respecto al actual riego por gravedad
Sistemas de baja presión	
Entubado con compuertas Y válvula de intermitencia	120%
Por aspersión	
Simple	130%
Mecanizada: Pivote central	159%
Microrriego	
Goteo	183%
Microaspersión	176%

Fuente: Adaptación de tabla generada por el Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma de Chapingo, 2008.

26 Los datos utilizados en esta sección provienen de la CNA, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Informe Estadístico, México, D. F. julio 2005, y SEMARNAT, CNA, Resúmenes estadísticos de Producción Agrícola, Año agrícola 2003-2004, citados por "Manejo de las Aguas Residuales para el Combate a la Pobreza en las Grandes Ciudades: El Caso de la Ciudad de México", presentado en el Foro Mundial del Agua, 17 marzo 2006.

27 Memoria del Proyecto: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco de Tula, Hidalgo, 6 de mayo 2008.

28 Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma de Chapingo.

29 Según el Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México, Conagua, 2007, en los siete meses de secas la Cuenca de Tula sólo requiere 10 m³/s de agua, para los siguientes usos: 2.8 m³/s para riego a través de los canales Viejo Requena, Requena y Tlamaco; 0.7 m³/s para la termoeléctrica; y 6.5 m³/s para reposición de la presa Endhó y riego de zonas bajas.

Otras señales de la transición hacia un modelo basado en ciclos cerrados

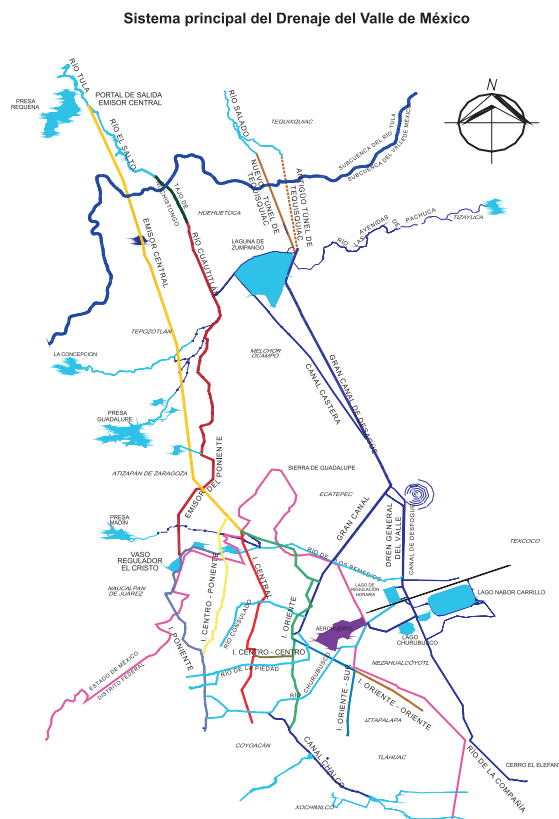
De manera tentativa, en los años recientes, están surgiendo iniciativas para restaurar los ciclos hidrológicos en la Cuenca. En 2004, se añade una sección a la Ley de Aguas Nacionales, reconociendo que el agua es un recurso “vital, vulnerable y finito...”³⁰

En 2008, la Asamblea Legislativa del Distrito Federal aprobó una ley que promueve la infiltración de agua pluvial, y la Conagua emitió normas sobre la calidad del agua requerida para la recarga de los acuíferos. En este mismo año, el Fideicomiso 1928 financió un aumento en las capacidades de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, para el reuso e infiltración de aguas tratadas en el sur de la Cuenca.

De la misma manera, en 2008 se inició el saneamiento de la cuenca de la Presa Guadalupe, y sentó a su vez las bases para la potabilización de su agua (2 m³/s). El Programa para la Sustentabilidad Hídrica en la Cuenca del Valle de México prevé, además, el tratamiento de las aguas del Vaso El Cristo (4 m³/s), y la potabilización del agua del Vaso Zumpango (2.5 m³/s) y de la Presa Madín (0.5 m³/s).

Inercias persistentes

Ilustración 1. Principales estructuras de drenaje del Valle de México



Fuente: Fideicomiso 1528 Programa de Saneamiento del Valle de México,

30 Artículo 14 Bis 5, Ley de Aguas Nacionales, sección adicionada DOF 29/4/2004.

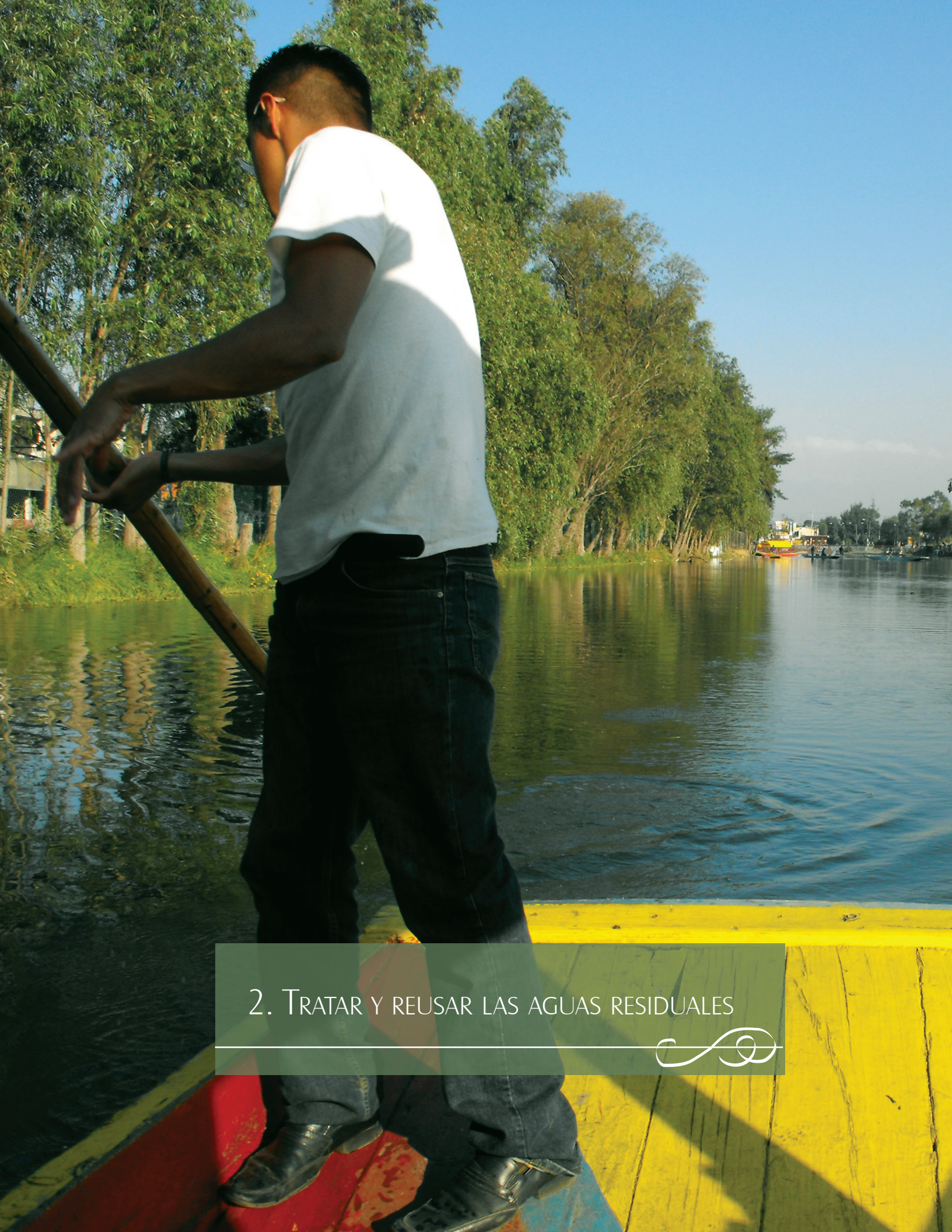
En medio del ambiente de incertidumbre y precaución que prevalecía antes de lograr la exitosa rehabilitación del Emisor Central en el invierno de 2008-2009, se proponía invertir \$12 mil millones en la construcción de un “Emisor Oriente”. Este túnel, con una extensión de 62 km y un diámetro de 6 metros, representaría otra salida más por el norte de la cuenca, y tendría el propósito de prevenir inundaciones en caso de eventos extremos.

En los siguientes capítulos, se examinarán otras estrategias para el manejo pluvial y la prevención de inundaciones, las cuales tendrían ventajas adicionales, como son, el almacenamiento de agua para su potabilización posterior, la recarga de acuíferos, la recuperación de productivas zonas chinamperas y reservas ecológicas. Estas estrategias, además, ahorrarían los costos y riesgos asociados con el bombeo contra el pendiente a lo largo de la cuenca, que sería necesario para hacer llegar los picos de lluvia a la entrada del túnel.

REFLEXIONES FINALES

En 2009, los responsables del sistema hídrico en la cuenca están tomando decisiones que determinarán el modelo de gestión en la cuenca durante los próximos veinte años. La extrema escasez hídrica que sufre la cuenca, abre el camino para plantear alternativas a los grandes proyectos que mantendrían la política de desalojo de las aguas pluviales y residuales. Es interesante considerar, además, que la crisis hídrica de la Cuenca de México no está llegando sola, sino que viene acompañada por las crisis de los sistemas financieros, el calentamiento global y el encarecimiento de los energéticos.

La reciente propuesta de enviar aguas tratadas a la Cuenca de Tula, para su reimportación y potabilización representa una importante apertura frente la posibilidad de cerrar ciclos hidrológicos. Ahora falta un paso más, lo cual sería considerar la opción de tratar, infiltrar y aprovechar



2. TRATAR Y REUSAR LAS AGUAS RESIDUALES



2. TRATAR Y REUSAR LAS AGUAS RESIDUALES

Frente la creciente escasez de agua limpia, las aguas residuales representan un recurso cada vez más apreciado. Están surgiendo métodos de tratamiento de costos accesibles, y su biomasa está siendo reconocido como una fuente renovable de energía. Además, hay avances tecnológicos significativos para su almacenamiento en acuíferos y potabilización. En este capítulo se inicia un proceso de visualizar los posibles usos para las aguas residuales actualmente expulsadas, y propone un sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales de tamaño medio, a lo largo de la periferia al norte, oriente y sur del área metropolitana.

Apreciando las aguas residuales

Durante los últimos siglos, las aguas residuales han sido despreciadas, y se ha buscado alejarlas lo más posible. Pero ahora, frente la creciente escasez de agua limpia, este humilde y abundante recurso empieza a ser revalorado. De hecho, están surgiendo iniciativas en zonas urbanas en Hidalgo y Querétaro, para tratar y aprovechar las aguas residuales de la Cuenca de México. Los primeros en apreciar y aprovechar este recurso, serán los que sientan precedentes para su futuro uso.¹

El aprovechamiento de las aguas residuales requiere, como primer paso, procurar su separación de las aguas pluviales, hasta lograr su tratamiento. Una vez tratadas, pueden ser utilizadas directamente para fines industriales ó agrícolas, en sustitución de agua subterránea ó importada, “de primer uso”. También, pueden ser reutilizados por el sector público-doméstico. En este caso, requiere de un proceso de tratamiento más exigente, después del cual las aguas tratadas son almacenadas, preferentemente en un acuífero, para luego ser extraídas y potabilizadas.

Un obstáculo a la creación de los ciclos de reuso, ha sido el costo y complejidad de las plantas de tratamiento. Afortunadamente, las técnicas de tratamiento anaerobio, a diferencia de las técnicas aerobias actualmente utilizadas, prometen ayudar a superar este cuello de botella.

“LA PROBABLE DISMINUCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA DE LAS FUENTES ACTUALES ACENTÚA LA NECESIDAD Y URGENCIA DE IMPLEMENTAR EL PROGRAMA DE SANEAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS TRATADAS...”

Programa de Saneamiento y Recuperación de los Acuíferos del Valle de México, Conagua, 2007

¹ A nivel internacional, se está empezando a utilizar el término “aguas recuperadas” (“reclaimed water”), para referirse a las aguas residuales tratadas. (UNESCO, 2005.)

Los ciclos de reuso son claves para poder vivir bien con el agua disponible; la misma agua puede ser utilizada varias veces dentro de un ciclo, como es el caso de las aguas tratadas utilizadas para riego agrícola, que terminan recargando los acuíferos. Cada litro reutilizado reemplaza la necesidad de importar agua ó sobreexplotar los acuíferos.

La gestión de los ciclos de reuso requiere de una fuerte participación por parte de los usuarios, empezando con la valoración de este recurso despreciado, el desarrollo de estrategias para evitar su contaminación, y la identificación de oportunidades para su reuso.²

ESTADO ACTUAL DEL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LA CUENCA DE MÉXICO

El tratamiento y reciclaje del agua fue parte de las prácticas de los habitantes originales de la cuenca hasta el periodo de La Colonia. Desde entonces, fue hasta en el año 1956, en el contexto de la crisis del hundimiento del Centro Histórico por la sobreexplotación de los acuíferos, que se construyó la planta de tratamiento de Chapultepec, la cual hasta la fecha provee agua para los lagos y la jardinería de este parque.³

Actualmente, el área metropolitana genera 40 m³/s de aguas residuales. Hay capacidad instalada para el tratamiento de 10 m³/s, se logra tratar solo 5.2 m³/s, y una parte de las aguas son regresadas a la tubería y canales de desagüe. Los usos del agua tratada actualmente son⁴:

- Llenado de canales y lagos en Xochimilco, Tláhuac, Chapultepec y Bosques de Aragón: PTAR Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxiatalmalco, San Lorenzo, Bosques de Aragón;
- Riego agrícola metropolitano: PTAR San Pedro Actopan, San Andrés Mixquic, La Lupita, San Nicolás Tetelco, Cerro de la Estrella;
- Riego de áreas verdes, camellones, parques y jardines: PTAR: Coyoacán, Reclusorio Sur, PEMEX-Picacho, Tlatelolco, Iztacalco, Campo Militar, Cd. Deportiva, Parrés, Chapultepec;
- Reuso industrial: PTAR Acueducto de Guadalupe, Santa Bárbara.⁵

En particular, la PTAR Cerro de la Estrella, siendo la más grande de la ciudad, ha realizado un importante papel en el saneamiento desde finales de los años 1950, cuando empezó a enviar aguas tratadas a las zonas chinamperas-lacustres de Xochimilco para reemplazar el agua de manantiales desecados.

2 No solo es importante contener las aguas residuales, sino es vital asegurar la disposición final segura de los residuos sólidos y limitar ó prohibir el empleo de agroquímicos, para así no contaminar el ciclo del agua.

3 Ezcurra 1996.

4 Mazari-Hiriart, 2008.

5 Monroy-Hermosillo, 2000.

Tabla 1. Potenciales usos para aguas tratadas, por volumen, ubicación y calidad requerida

Medio de reuso	Vol. (m ³ /s)	Ubicación	Calidad requerida
Riego agrícola	23.0	Suelos agrícolas sobre zonas de recarga al norte, oriente y sur de la zona urbana	Alta a media
Lagunas de infiltración	7.5	Sobre las zonas de recarga en la periferia urbana al norte, oriente y sur de la zona urbana	Alta
Reuso municipal e industrial	7.5	Plantas locales en toda la zona metropolitana	Alta a media
Expandir zonas de chinampas y Lago Texcoco	2.0	Xochimilco, Tláhuac, Texcoco	Media
Pozos para la inyección de aguas tratadas	1.0	Al norte, oriente y sur del Cerro Santa Catarina	Muy alta
TOTAL	41		

PROPUESTAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS TRATADAS Fuente: Elaboración propia

PROPUESTAS DE USO

Es importante visualizar los usos potenciales de las aguas tratadas, para así determinar el tamaño, tipo y ubicación de las plantas de tratamiento requeridas. A continuación, se describen potenciales usos de aguas tratadas para los volúmenes disponibles:

Riego agrícola: 23 m³/s

Actualmente, las zonas de riego en la cuenca ocupan un total de 17.6 m³/s, de los cuales 12.6 m³/s provienen de los acuíferos, y 5.0 m³/s son aguas residuales no tratadas. Se propone reemplazar ambas fuentes con aguas residuales tratadas. Además, existe la demanda y el potencial para aprovechar otros 5.4 m³/s para 10,400 has. de nuevas zonas de riego, en el sur y el oriente de la cuenca.

Lagunas de infiltración: 7.5 m³/s

Se propone fortalecer la recarga de los acuíferos con lagunas de infiltración, ubicadas sobre las zonas de recarga, en la vecindad de las plantas de tratamiento (vea capítulo “Recarga”)

Reuso municipal e industrial: 7.5 m³/s⁶

Se prevé que el volumen de agua reutilizada aumentará de los 5.5 m³/s actuales, a 7.5 m³/s, en parte porque el precio del agua en bloque cobrado para el uso industrial, sirve como incentivo.

⁶ Dado que el aprovechamiento de aguas tratadas no requiere de concesiones ni el pago de derechos a la Comisión Nacional del Agua, es difícil determinar con exactitud los volúmenes reciclados para uso industrial. Las Comisiones de Cuenca podrían apoyar en el levantamiento de este registro.

Expansión de zonas chinamperas, lacustres 2.0 m³/s

Se requerirán de estos volúmenes de aguas tratadas para mantener los niveles en las zonas lacustres-chinamperas que se proponen recuperar en Xochimilco, Tláhuac y Texcoco. (Vea capítulo “Lluvia”)

Pozos de inyección: 1 m³/s

Por su alto costo, esta tecnología sería utilizada como medida de emergencia, en combinación con la reubicación de pozos de extracción, para proteger las zonas amenazadas por el agrietamiento del acuitardo.

LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) EL FOMENTO DE CICLOS DE REUSO EN LA CUENCA

Una barrera al logro de mayores niveles de tratamiento de aguas residuales, ha sido la dependencia en tecnologías de tratamiento aerobio costosas y complejas, cuyas exigencias técnicas y energéticas han sido tan altos que el 50% de la capacidad instalada en la Cuenca ha quedado en desuso.

La transición a métodos de tratamiento anaerobio (biodigestión en la ausencia de oxígeno) implicaría: menores costos de construcción y operación; la generación neta de energía; menos residuos sólidos; y el financiamiento parcial del tratamiento vía la venta de bonos de carbono. Enseguida presentaremos el modo de funcionamiento de ambos tratamientos, el aerobio y el anaerobio.

COMO FUNCIONA EL TRATAMIENTO AEROBIO, DE LODOS ACTIVADOS

El método de lodos activados es el método aerobio más común en México, Estados Unidos y Europa. Ha predominado en los países de latitudes no tropicales, por su funcionalidad bajo condiciones de extremo frío, y por la (hasta recientemente) abundancia de energéticos de bajo costo, que prevalecía en el siglo XX.

Los “lodos activados” centrales a este proceso de tratamiento, son una asociación de bacterias que trabajan en la presencia de oxígeno, para “digerir” la materia orgánica en las aguas residuales.

Para garantizar el acceso al oxígeno, es necesario agitar e inyectar aire constantemente a las aguas residuales bajo tratamiento para mantenerlas en contacto con el oxígeno. El empleo de enormes motores y compresoras para este efecto hace que las plantas de lodos activados sean tan costosas para construir, operar y mantener.

DURANTE EL PERIODO DE LLUVIAS, LA PROPUESTA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “EL SALTO” EN ATOTONILCO, GENERARÍA 1135 TONELADAS AL DÍA DE LODOS, LOS CUALES REQUERIRÍAN SER TRANSPORTADOS PARA RECIBIR UNA DISPOSICIÓN FINAL SEGURA.

(Conagua, Atotonilco, 2008)

Este proceso de digestión genera dos principales bi-productos, ambos siendo problemáticos: nuevos microorganismos (llamados “lodos de purga”), y bióxido de carbono (CO₂), el cual es un gas no combustible, con efectos de invernadero. Los lodos de purga son inestables, y por lo tanto, requieren de un tratamiento (generalmente anaerobio) previo a su disposición, en el cual 60% de los lodos son convertidos en biogás (metano y CO₂). Los lodos restantes (40%) tienen que ser depositados en un relleno sanitario.

Debido a un fuerte proceso de transferencia tecnológica durante las últimas décadas, actualmente, el 44% de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México utilizan el método de lodos activados.

EL TRATAMIENTO ANAEROBIO, UNA TECNOLOGÍA APROPIADA PARA MÉXICO

En México, la India, China, Brasil, Colombia y otros países de clima moderado, se está encontrando que las plantas de tratamiento anaerobio cuestan menos para construir, operar y mantener; además, generan menos lodo y representan una fuente de energía sustentable generan energéticos; y producen menos lodos.

En el tratamiento anaerobio, alrededor de 70% de la materia orgánica es transformada en biogás (gas metano y CO₂). Las aguas bajo tratamiento están almacenadas en tanques esbeltos y profundos (ó altos), sin agitación, para no entrar en contacto con el aire. Por lo tanto, estas plantas ocupan menos espacio y requieren de poca maquinaria y energía; pueden ser subterráneas, y pueden llevar canchas deportivas u otra infraestructura en su superficie. Los pocos lodos generados por el proceso anaerobio ya están estabilizados, y pueden ser utilizados para el mejoramiento de suelos.

Tabla 2. El método de “lodos activados” vs. métodos anaerobios

Insumo ó producto	Métodos anaerobios	Lodos activados (aerobio)
Metano (biocombustible) generado	82	20
Kwh generado	128	63
Kwh consumido	6	44
Kwh neto generado	122	14
Lodos generados	9 K	29 K
Costo de construcción por m ³ /s capacidad (en millones de pesos)	134 ¹	328 ²
Costo por m ³ tratado ³	1.03	2.17

Fuente: Adaptado de Dr. Monroy, 2008

- 1 Estimación basada en costo de construcción de PTAR Bucaramanga, a US\$5 millones para 0.7 m³/s, utilizando 15 pesos por U.S. dólar, como tipo de cambio, y agregando 25% para costos indirectos, supervisión, administración e imprevistos.
- 2 Estimación del Programa de Saneamiento (Conagua, 2007), como costo de plantas chicas; el costo por m³/s de plantas grandes (de 9 a 23 m³/s) es \$265 millones. Las estimaciones incluyen indirectos, ingeniería, supervisión de la construcción, administración de contratos e imprevistos. No incluye IVA.
- 3 Plantas Portales y Paseos de Chalco, 2007.

Adaptación de PTAR existentes a métodos anaerobios

Las unidades habitacionales que han proliferado en la periferia de la zona metropolitana, comúnmente cuentan con PTAR aerobios, de 35 a 120 lps de capacidad. Gran parte de éstas están parcial ó totalmente en desuso, principalmente el costo de su operación y mantenimiento.

Para los fines del actual estudio, el Dr. Oscar Monroy Hermosillo propone que estas PTAR sean habilitadas para incorporar el tratamiento anaerobio, antes de su proceso de tratamiento con lodos activados. De esta manera, podrían

disminuir sus costos a un nivel económicamente sustentable. Esta adaptación no requeriría de terreno adicional, porque los dos procesos pueden ser realizados en el espacio actualmente ocupado por el proceso aerobio.

Con estas adaptaciones, una planta “tipo” de 35 lps, generaría 2.2 veces menos lodos (47 m³/día en vez de 105 m³/s); requerirá 2.3 veces menos electricidad; y generaría 278 m³/día de biogás. El costo de inversión sería \$60 mil por lps (litro por segundo) de capacidad de las plantas a habilitar.



Filtros anaerobios y cloración. PTAR Los Volcanes, en Chalco, Estado de México.



Campanas y canaletas de rebose de un reactor anaerobio UASB

Otros métodos de tratamiento, LAGUNAS DE OXIDACIÓN

Las lagunas de oxidación son excavaciones de poca profundidad en donde bacterias, algas y protozoos, en contacto con el aire, eliminan en forma natural, los sólidos suspendidos y la materia orgánica, incluyendo patógenos. Los nutrientes así generados pasan a formar parte de un ecosistema de plantas y bacteria en el fondo del lago, y las aguas superficiales, ahora libres de entre 70 y 85% de su demanda química ó biológica de oxígeno, cumplen con las normas para ser liberadas a los ríos, o utilizadas para riego o infiltración.

Representa un método de tratamiento sumamente efectivo, de bajo costo y fácil man-

tenimiento, dado que el único cuidado que requieren es el control de insectos y de plantas acuáticas invasoras, los cuales se controlan a través del manejo integrado de plagas (MIP), introduciendo, por ejemplo, peces mosquitos ó creando habitat para golondrinas u otros depredadores de insectos. Las lagunas de oxidación bien diseñadas raramente requieren ser desazolvadas.

Esta forma de tratamiento es apropiada para las zonas de suelos de conservación del Distrito Federal y los municipios semi-rurales del área metropolitana. Su agua puede ser utilizada con fines agrícolas. Cuando se encuentran sobre zonas de recarga, permitirán la recarga natural del acuífero subyacente.

HUMEDALES

Las plantas de tratamiento con humedales permiten el flujo de aguas residuales con una profundidad menor a 60 cm, entre las raíces de plantas, entre las cuales se forman películas de bacteria que filtran y absorben los contaminantes, a la vez que permiten la oxigenación del agua. La vegetación superior controla la formación de algas, porque no permite la penetración de la luz solar.

Hay dos tipos de sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales. En el primero, llamado “flujo libre”, agua pretatada circula entre los tallos y raíces de la vegetación. En este sistema, se puede sembrar ciertas zonas y dejar otras abiertas, para crear habitats para aves acuáticas.

En el sistema de flujo subsuperficial, el agua circula entre raíces sembradas en camas de grava sin llegar hasta la superficie. Proporciona un tratamiento secundario ó avanzado. Este método ocupa menos espacio, se evitan problemas de mosquitos, y ofrece mayor protección contra el frío.

Los humedales pueden lograr 80% reducción en la de altos niveles de demanda biológica del oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógenos, metales y patógenos; aunque tienen poca capacidad de eliminar el fósforo.

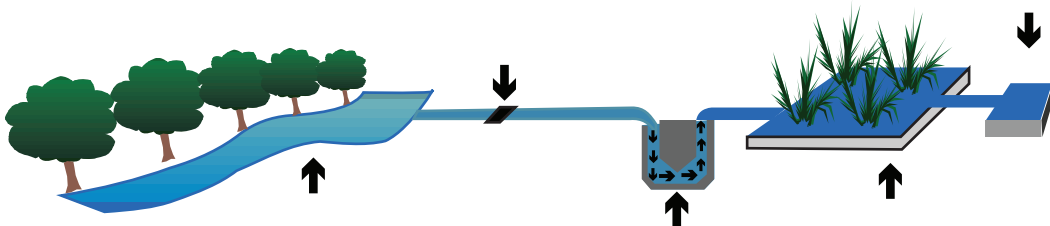


Imagen 1. Humedal, Delia C. Espinoza

PARTICIPACIÓN EN LA CREACIÓN DE CICLOS DE TRATAMIENTO Y REUSO

El organismo operador de la PTAR tiene un papel vital en la promoción de ciclos de reciclaje. Por un lado, está en posición para identificar nuevos volúmenes a captar y tratar, y puede detectar la presencia de contaminantes de manejo difícil, y generar estrategias para su eliminación en fuente⁷. Por el otro lado, el organismo de la PTAR puede buscar usuarios para las aguas tratada que está generando, y generar estrategias para financiar el proceso de tratamiento.

Otros actores claves para lograr sistemas cerrados de tratamiento y reuso, incluyen comunidades y asociaciones de vecinos que desean rescatar sus ríos, empresas industriales

⁷ Estos incluyen el fósforo, los nitrógenos, el cloro y los patógenos, además de metales pesados.

que buscan fuentes de agua a menor costo; agricultores necesitados de agua para riego; y habitantes y autoridades que buscan opciones para frenar los hundimientos causados por la sobreexplotación de los acuíferos. Las Comisiones de Cuenca, descritas en el capítulo “Colaboración”, representan espacios privilegiados para generar estas formas de colaboración, entre estos actores.

EXPERIENCIA MODELO: CERRO DE LA ESTRELLA

LA PLANTA DE TRATAMIENTO CERRO DE LA ESTRELLA, EN LA DELEGACIÓN IZTAPALAPA, ES LA MÁS GRANDE DE LA CUENCA ACTUALMENTE. INICIÓ OPERACIONES EN LOS AÑOS 1950, PARA SUMINISTRAR AGUAS TRATADAS A LA ZONA CHINAMPERA EN XOCHIMILCO, CUANDO LOS MANANTIALES QUE LA ALIMENTABA SE HABÍAN DESECADO. DA TRATAMIENTO A LAS AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES DE LAS DELEGACIONES ÁLVARO OBREGÓN Y CONTRERAS.

EN 2007-8, CON UNA INVERSIÓN DE \$141 MILLONES DEL FIDEICOMISO 1928, SE LOGRÓ AMPLIAR SU CAPACIDAD DE 2 M³/S A 3 M³/S. DE ESTO, 1.6 M³/S SON DESTINADOS A LA ZONA CHINAMPERA DE XOCHIMILCO-TLÁHUAC, 1.2 M³/S PARA RIEGO EN TLÁHUAC-MIXQUIC, Y 200 LPS SON ENVIADOS A LAS ZONAS INDUSTRIALES DE IZTAPALAPA Y ZARAGOZA.

ACTUALMENTE EL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO ESTÁ PREPARANDO PARA RETOMAR EN 2009, UNA ESTRATEGIA PROBADA A NIVEL PILOTO EN LOS 1990, EN LA CUAL SE LOGRÓ INYECTAR 20 LPS DE AGUA TRATADA (1.127 M³ EN TOTAL), VÍA EL POZO SANTA CATARINA.

EL FOMENTO DE CICLOS DOMÉSTICOS Y COMUNITARIOS DE REUSO

Aunque sean poco visibles, los sistemas informales de reciclaje del agua a nivel doméstico han sido vitales para el 77% de los habitantes quienes, debido principalmente a inequidades en el sistema de distribución, cuentan con menos de 150 litros por día. Comúnmente, por ejemplo, en estas colonias, el agua de la regadera es captada para el lavado de ropa, después del cual, sirve para el excusado.

Suponiendo que estos 15.4 millones de habitantes ahorran unos 50 litros por persona por día con estrategias de reuso, en su conjunto se están evitando el consumo de 9 m³/s, lo cual representa casi el doble del agua importada por el Sistema Lerma.

EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DE UN “MEGACICLO” DE TRATAMIENTO Y REUSO: PTAR ATOTONILCO (EL SALTO)

Actualmente, se ha propuesto la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales a la salida de la Cuenca. El costo de construcción de esta planta, posiblemente la más grande del mundo, es estimado en \$7,359 millones; su costo final, incluyendo el pago

de intereses a 20 años, sería entre \$15,800 millones (a 6% interés) o \$19,480 millones (a 8% interés).

Esta planta sería contratada a largo plazo (20 años), por licitación internacional, bajo el esquema “Pago por Servicio”, ó “Diseño-Construcción-Propiedad-Operación”. El contrato garantizaría a la empresa ganadora el acceso a un mínimo de 23 m³/s de agua en temporada de secas, y 28 m³/s durante los cinco meses de lluvias.

Se prevé que esta planta, posiblemente la más grande del mundo, utilizaría tecnologías aerobias. Para esto requeriría de 166 millones de kw-hr/año de energía eléctrica⁸, y generaría 334,680 toneladas de lodos al año (917 ton. al día),⁹ de las cuales aproximadamente la mitad serían inorgánicos, requiriendo de su disposición final en un relleno sanitario. La otra mitad serían lodos orgánicos.

Los lodos de purga recibirían un tratamiento anaerobio para generar biogas, cuya captación, manejo y venta sería contratada a otra empresa. La electricidad así generada sería casi suficiente para cubrir las necesidades energéticas del tratamiento aerobio.¹⁰

La captación del metano de la planta permitiría la venta de bonos de carbono. Aunque la Conagua consideró la posibilidad de mantener los derechos sobre el metano, y el valor de sus posibles futuros bonos, se decidió trasladar estos derechos a la empresa contratada. Con los valores actuales de los bonos, se podría prever ingresos adicionales de \$137 a \$274 millones anualmente por este concepto.

El Programa de Saneamiento propone, adicionalmente, que la PTAR Atotonilco maneje los lodos de las PTAR Nextlalpan y Zumpango (los cuales serían transportados por el Emisor Oriente), debido a que estas plantas no contarían con el espacio requerido para manejar sus propios lodos, por ubicarse en zonas urbanas.

Su costo anual de operación y mantenimiento será entre \$542 y \$632 millones, más \$40 millones al año para bombear el agua desde el punto de salida del Emisor Oriente 20 metros hacia arriba para alcanzar la plantilla de la PTAR. Esta suma ya incluye el ahorro generado por la generación de energía eléctrica a través del biogás producido.

Se prevé que el costo de la construcción, intereses, operación, mantenimiento y bombeo será entre \$1.67 y \$2.10 por metro cúbico facturable. El Programa explica que el 50% de este

8 Se requeriría de una inversión de \$452 millones, un costo de capital de \$53 millones/año, \$30 millones en costos anuales de operación y mantenimiento, para un saldo a favor de \$75 millones/año para la empresa contratada, según precios actuales de electricidad. (Conagua, Atotonilco, 2008).

9 Durante el periodo de lluvias, generaría 1135 toneladas de lodos al día de lodos, con un volumen total de 4980 m³, de los cuales 515 toneladas serían lodos inorgánicos, y 620 toneladas serían lodos orgánicos. El resto del año, la planta generaría 609 toneladas de lodos al día (2670 m³), de los cuales 310 toneladas serían lodos inorgánicos, y 299 toneladas serían lodos orgánicos.

10 El valor bruto del biogas sería \$158 millones por año, del cual se dedicaría \$53 millones/año para pagar el capital e intereses sobre la inversión en la gasoelectrica (\$1060 millones, en 20 años), y \$30 millones para cubrir sus costos de operación y mantenimiento (\$30 millones/año), para un beneficio neto de \$75 millones. El costo de la energía eléctrica consumida en el tratamiento aerobio es \$146 millones.

costo será cubierto por el Gobierno Federal, y el otro 50% por los “10 millones de usuarios del Distrito Federal”

En fin, la propuesta de esta PTAR demuestra que existe un creciente consenso con la necesidad de empezar a crear ciclos de tratamiento y reuso. Sin embargo, antes de comprometer \$24,217 millones (más costos financieros)¹¹ a este “macrociclo” que expulsaría 40 m³/s de agua de la Cuenca, y regresaría 5 m³/s, valdrá la pena explorar si no sería más económico y sustentable generar ciclos subregionales al interior de la Cuenca.

Ventajas del tratamiento descentralizado, al interior de la Cuenca
Se corregiría el déficit de agua en la Cuenca de México y el superávit en la Cuenca de Tula.
Se contarían con volúmenes de agua para ampliar la producción agrícola y para recargar los acuíferos de la Cuenca de México.
La construcción de las PTAR, por etapas, con recursos disponibles, evitaría el pago de intereses.
Al tratar las aguas cerca de sus puntos de uso y reuso, se evitarían los costos, riesgos y pérdidas que resultarían del traslado masivo del recurso.
Un modelo basado en PTARs subregionales, permitirá que cada PTAR se adecue a la calidad del agua a tratar y las opciones de reuso de su zona.
Las PTARs locales podrían identificar las fuentes de residuos no biodegradables, e instrumentar estrategias para su eliminación.
El biogas generado y la venta de bonos de carbono se mantendrían bajo el dominio público, y ayudarían a financiar los procesos de tratamiento.
Se podría construir PTARs para lograr el tratamiento de las 41 m ³ /s de aguas residuales en toda la cuenca, por el mismo costo de la PTAR Atotonilco.

¹¹ \$7,091 millones para PTAR Atotonilco; \$1,815 millones para su gasoeléctrica; \$3,311 millones para reimportar y potabilizar los 5 m³/s de las aguas tratadas e infiltradas; y \$12,000 millones para el Emisor Oriente y sus plantas de bombeo, propuesto para proveer 50% del agua a tratar. De Conagua, “Atotonilco”, 2008.

Tabla 3. Análisis de ventajas y desventajas de PTAR Atotonilco

Ventajas De la PTAR Atotonilco	Desventajas de la PTAR Atotonilco
Se crearía un ciclo de tratamiento y reuso entre Valle de México y Valle de Tula (Mezquital).	El beneficio (la importación de 5 m ³ /s de agua del Acuífero Tula) no es justificado por los \$24 mil millones que costaría el “megaciclo” México-Tula-México: Emisor Oriente 10 MDP*, plantas de bombeo 2 MDP, PTAR Atotonilco 7 MDP, Gasoeléctrica 1.8 MDP, Potabilización 3.3 MDP.
	Se generaría un compromiso contractual, a largo plazo, de expulsar un mínimo de 23-28 m ³ /s de la Cuenca de México, cuando este recurso hídrico es requerido para estabilizar sus acuíferos.
	Una empresa privada tendría el usufructo del biogás y los bonos de carbono generados.
El tratamiento a gran escala permitiría disminuir ciertos costos por volumen tratado.	El Valle de México enviaría 23-28 m ³ /s de agua, y recibiría tan solo 5 m ³ /s.
	Se tendría que invertir más de \$8 mil millones adicionales en la tecnificación del riego para evitar la recontaminación de las aguas tratadas en el Valle de Mezquital.
	Se requeriría de la inversión de \$600 millones adicionales para evitar la mezcla de aguas tratadas con aguas residuales en los canales del Valle de Mezquital.
La contratación de una empresa privada bajo el esquema de prestación de servicios, permite construir la PTAR ahora, y pagar su costo a lo largo de 20 años.	En la temporada de lluvias, pasarían volúmenes de agua mayores a la capacidad de tratamiento, volviendo a contaminar el Valle del Mezquital.
	La salida del Emisor Oriente estaría ubicada a 20 metros por debajo de la PTAR Atotonilco, requiriendo el bombeo de los volúmenes de salida (23 m ³ /s a 150 m ³ /s), con un costo anual adicional de \$40 millones.
	Los agricultores del Mezquital verían disminuidos los nutrientes que actualmente reciben de las aguas residuales no tratadas.
	La PTAR generaría un promedio de 917 toneladas de lodos estabilizados al día, 1135 toneladas en temporada de lluvias, las cuales requerirían de disposición final segura.
	Aunque el contrato será privado, el gobierno federal (vía Fonadin) cubriría el 49% del financiamiento.

* En este informe, se utilizará “MDP” en tablas para referirse a millones de pesos

A close-up photograph of a forest floor. The ground is covered with a dense layer of yellowish-green moss. Several small, bright green plants with rounded, slightly lobed leaves are scattered throughout. Some of these plants have a prominent white vein running down the center of their leaves. The background is slightly blurred, showing more of the forest floor with some dry, brown leaves and twigs.

3. APROVECHAR EL AGUA PLUVIAL



3. APROVECHAR EL AGUA PLUVIAL

El agua de lluvia representa un vasto recurso desaprovechado. Si se lograra el saneamiento de los cauces, se podría retener el agua pluvial para aprovecharla en sustitución de agua subterránea, y para aumentar la recarga de los acuíferos. De esta manera se disminuirían los riesgos y los costos asociados con el traslado masivo del agua de los picos de lluvia, a causa del bombeo en contrapendiente desde el sur -en donde hay mayor precipitación-, hasta las salidas en el norte de la Cuenca.

Frente a las crisis de escasez del agua, el agotamiento de los acuíferos y la vulnerabilidad de fuentes externas, el agua de lluvia representa un recurso accesible, abundante y casi puro. Sin embargo, este recurso, literalmente “caído del cielo”, continúa siendo poco apreciado en la exploración de alternativas. Además, el volumen de agua pluvial que no es absorbido ha crecido enormemente con la urbanización de la Cuenca, a tal grado que, actualmente se expulsa más agua pluvial de la Cuenca de la que se logra recargar en sus principales acuíferos¹:

La gestión del agua pluvial en el interior de la cuenca requiere contar con un sistema amplio para captar las intensas lluvias que suelen presentarse en entre mayo y octubre, en cualquier dirección de la cuenca, principalmente en el sur. Los extensos lagos fueron los mejores reguladores, por su capacidad de distribuir los repentinos volúmenes de lluvia hacia una amplia superficie.

Las chinampas construidas por los habitantes originales del sur de la Cuenca permitían la convivencia con estos ritmos hídricos naturales. Cuando cambió la relación con la cuenca lacustre, y se empezó a drenar los lagos y expulsar las lluvias, el impacto de los picos de lluvia se hizo cada vez más fuerte, y se inició un círculo vicioso que ha seguido hasta la fecha. En la actual búsqueda de una gestión equilibrada, la recuperación de las zonas lacustres y chinamperas resulta vital, no sólo para almacenar las aguas pluviales, sino para amortiguar el impacto de las lluvias intensas.

Este capítulo examinará las tareas de gestión hídrica requeridas para aprovechar las aguas pluviales, y se realizarán propuestas para la recuperación de los 622 Mm³/año de agua actualmente expulsados, con la captación y almacenamiento de 337 Mm³/año en lagos y vasos para su potabilización y uso directo, 62 Mm³/año en las chinampas y zonas ecológicas, y 186 Mm³/año en los acuíferos.

¹ Evaluación de las obras del “Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México”, Gómez Reyes, E. y Monroy, O.(2008)

Cuidado de la cuenca alta

Foto 1. “Tinajas ciegas” en el Valle de Tezontle, Delegación de Tlalpan, D. F.



El Comité de Conservación del Suelo y del Agua de la comunidad de la Delegación Magdalena Contreras, D.F., con apoyo técnico de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, excavó un millón de tinajas ciegas (50 cm x 2m x 1m), apoyado en curvas topográficas, en el Ajusco, de la Sierra Chichinautzín.

Foto: Luis Felipe Sánchez Díaz.

Foto 2 Presa de gavión en Barranca Chica, Delegación Cujimalpa, D. F.

Entre 1984 y 1998, se construyeron 548 presas de gavión, en los cauces principales del sur y poniente del D.F.: Río San Buenaventura, Arroyo Barranca Chica, Río Magdalena, escurrimientos del Volcán Ajusco, y otros. (Foto: Luis Felipe Sánchez Díaz, 1989)³



De todas las áreas de la Cuenca, la cuenca alta es la más vulnerable: sus suelos son frágiles, sus pendientes fuertes y sus lluvias son intensas. Cuando se pierde la vegetación, debido a la tala, incendios forestales, plagas ó sobrepastoreo, las lluvias no logran infiltrarse, sino que bajan torrencialmente arrasando los suelos, causando erosión en cuenca alta, e inundaciones y azolve de la infraestructura hidráulica en cuenca baja.²

Por lo tanto, un trabajo de protección en esta zona incluye labores para reducir la pendiente, con terraceo y represas; y fomentar la formación de suelos y la regeneración de la cobertura vegetal, principalmente a través de la siembra de árboles y otras especies nativas perennes.

² Desde la perspectiva de la gestión de ciclos hidrológicos para la provisión de agua a zonas urbanas, en la Cuenca de México, el objetivo principal del trabajo en la cuenca alta es la prevención contra azolve e inundaciones; el impacto por los aumentos en el agua recargada será local, reflejado en la recuperación de manantiales, ó a largo plazo, dado que tarda décadas ó siglos que el agua recargada en la cuenca alta descienda hasta la zona de pozos de la Cuenca de México. (Custodio y Llamas, 1983)

³ (Aarón Mastache, Reforma 26/3/98)

Saneamiento

El agua pluvial se convierte en agua residual (o “aguas negras”), al entrar en contacto con aguas contaminadas. Por lo tanto, se aprovechamiento requiere entubar las aguas residuales desde su punto de contaminación hasta su punto de tratamiento, así como confinar los residuos sólidos no reciclables.

Estas tareas han sido desatendidas a lo largo del proceso de urbanización de la Cuenca, lo que ha resultado en la muerte de los ríos y la contaminación de los acuíferos. En este sentido, una cuenca cerrada como la de México, sirve como un microcosmo del mundo: ya no hay lugares a donde echar lo “sucio”, sin que vuelva a aparecer en el agua. Por lo tanto, para tener acceso a agua limpia en el futuro, se requiere invertir en el saneamiento de la Cuenca ahora.

Afortunadamente, hay avances en este sentido. Los cauces tributarios de la zona de chinampas cuentan con importantes avances en cuanto al saneamiento. Los escurrimientos de las microcuencas de Nativitas, Santa Cruz y el Teuhtli reciben tratamiento antes de desembocar en la zona lacustre-chinampera, y los pueblos de Santa María Nativitas, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco manejan sus aguas pluviales por un sistema totalmente separado de sus sistemas de aguas residuales.

En 2008, el Fondo Metropolitano dedicó recursos al saneamiento de la subcuenca del Río Magdalena, y a la zona de captación de la Presa Guadalupe Por otro lado, el Programa de Saneamiento ha definido obras para el saneamiento del norte de la Cuenca.⁴

LAS VENTAJAS DE MANEJAR POR SEPARADO

LAS AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS

Si se lograra entubar las aguas residuales desde su punto de contaminación, hasta su punto de tratamiento:

- SE PODRÍA APROVECHAR Ó INFILTRAR EL AGUA DE LLUVIA, LOS DESHIELOS Y LOS ESCURRIMIENTOS CON UN MÍNIMO DE TRATAMIENTO.
- LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO Y LA INFRAESTRUCTURA DE DESAGÜE NO TENDRÍAN QUE CONTAR CON CAPACIDADES EXTRAORDINARIAS PARA EL MANEJO DE PICOS DE LLUVIA.
- SE ELIMINARÍAN LOS RIESGOS A LA SALUD EN LA EVENTUALIDAD DE UNA INUNDACIÓN.
- SE PODRÍA RECUPERAR LA BELLEZA Y LA VIDA ACUÁTICA DE LOS MANANTIALES, ARROYOS, RÍOS Y LAGOS DE LA CUENCA.

⁴ El Programa describe las obras requeridas para no mezclar aguas tratadas con aguas residuales/pluviales; con un ajuste menor, se podrían retomar estas propuestas para lograr el manejo por separado (entubamiento, principalmente) de aguas residuales, dejando correr libremente las aguas pluviales y las tratadas.

Almacenamiento

Aunado al saneamiento, el otro reto importante para aprovechar el agua pluvial es lograr su almacenamiento. Esto requiere, por un lado, contar con la infraestructura para captar el agua de los “picos de lluvia” de modo oportuno en cuanto a espacio y tiempo. Además es necesario evitar que el agua almacenada se evapore ó que se contamine.

En este sentido, uno de los mejores lugares para almacenar el agua pluvial es en los acuíferos.

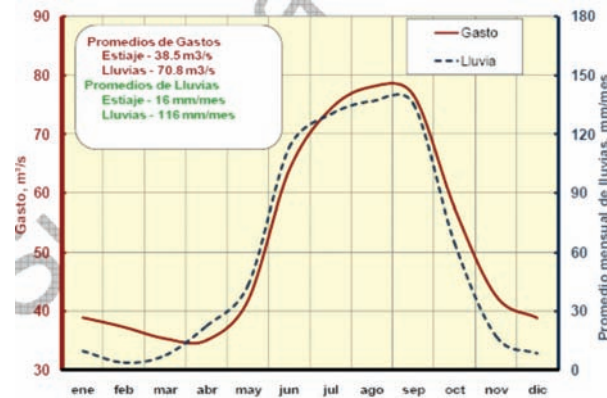
A continuación, se describen estrategias para lograr la retención y aprovechamiento del agua pluvial en la Cuenca.

Tabla 1. Estrategias para la retención de los 629 Mm3/año de agua pluvial actualmente expulsada de la Cuenca.

Estrategia para el aprovechamiento	Volumen a retener (Mm3/año)	Volumen a retener (m3/s)	Volumen aprovechable para sistemas de agua potable (m3/s)
Lagos, vasos y presas	337	10.7	8.8
Recuperación de las zonas chinamperas	124	4.0	0
Lagunas de infiltración	124	4.0	3.2
Pozos de infiltración	31	1.0	0.9
Terraceo, represas, reforestación ⁵	6	0.2	0.2
Total	629	20.0	13.1

5 Volumen adicional infiltrable, al aumentar en 10% la infiltración del total de la precipitación recibida en unas 5483 hectáreas, lo que significa el 1% del área de la Cuenca por arriba de los 2400 msnm.

Ilustración 1. Precipitación promedio, con volúmenes exportados a la Cuenca de Tula



La precipitación mensual llega a su punto máximo en agosto. Durante los siete meses de secas, se utilizaría el agua almacenada durante los cinco meses de lluvias. Gráfica de Conagua, “Programa de Saneamiento”, 2007.

ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN LAGOS, VASOS Y PRESAS

Ante la creciente crisis de acuíferos en las grandes ciudades a nivel mundial, las reservas de agua pluvial juegan un papel cada vez más estratégico. En el caso del área metropolitana de la Cuenca de México, la ciudad todavía cuenta con los vestigios de sus orígenes lacustres, como punto de partida para desarrollar esta alternativa.

El Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos (Conagua, 2007) ha dado un importante paso en esta dirección, al proponer el tratamiento y potabilización de las aguas pluviales almacenadas en las presas Guadalupe y Madín⁵ y el Vaso Zumpango. Afortunadamente, en años recientes ha habido avances realizados en cuanto a tecnologías de potabilización, más accesibles. El actual estudio retoma esas propuestas, y propone que se amplíen para incluir la recuperación de otro de los grandes lagos originales de la Cuenca: el Lago Chalco, ó Xico.

Tabla 2. Lagos, vasos y presas, con potencial para almacenamiento de agua pluvial para potabilización

Cuerpo de almacenamiento	Capacidad (Mm ³)	Volumen efectivo (Mm ³ /año) después de evaporación	M ³ /s a potabilizar
Vaso Zumpango	100	171	4.6 ¹
Lago Xico	106	182	5.1
Presa Guadalupe	76	131	2.9
Lago San Gregorio	32	55	1.5
Presa Madín	11	19	0.5
Volumenes potenciales	451	558	13.6

Lago Xico

El “Foro del Agua” de la Universidad Autónoma Metropolitana propone que se recuperen las zonas lacustres y chinamperas del sur de la cuenca. En este sentido, se propone formar una enorme reserva de agua pluvial, con una extensión de 1,325 hectáreas, y una capacidad de almacenamiento de 106 millones de metros cúbicos de agua, en la zona en donde el Lago de Xico está volviendo a formarse.

⁵ Un volumen de 0.5 m³/s de Presa Madín ya está siendo potabilizada; se propone aumentar su capacidad a 0.5 m³/s.



Faltan estudios técnicos para determinar la mejor manera de formar el lago, así como las medidas pertinentes para proteger las zonas urbanas aledañas.⁶ Se podría considerar la intensificación del bombeo bajo su superficie, replicando la técnica diseñada por el Dr. Nabor Carrillo para la formación de los lagos artificiales en Texcoco a una fracción de lo que hubiera costado el trabajo de dragado.⁷ En ese caso, con arcillas muy similares a las que forman el lecho del Lago de Xico, se logró provocar dinámicas de hundimiento con relativa precisión.⁸

Se buscaría obtener una profundidad promedio de ocho metros, para maximizar el volumen almacenado, y minimizar la superficie expuesta a la evaporación. Este proyecto implicaría el saneamiento de las subcuencas tributarias del Canal Amecameca, Canal Nacional y Canal de La Compañía, así como la instalación de una planta de tratamiento y una potabilizadora.

La creación de este lago, junto con la recuperación de las zonas chinamperas de Tláhuac y Xochimilco (véase la próxima sección), permitiría dejar de invertir energía y recursos en el bombeo de las aguas pluviales contra pendientes cada vez mayores. Además, al reemplazar el agua de pozo con agua pluvial potabilizada, se esperaría poder detener la actual dinámica de hundimiento (40 cm/año), que afecta a Iztapalapa, Tláhuac, Valle de Chalco, Chalco y Xochimilco.

6 Se daría consideración especial a las 175 hectáreas de zona urbana (involucrando unas 15,000 familias), que está en peligro de quedarse inundada por la expansión no planeada de este lago. Sin embargo, es posible que, con ó sin el proyecto, el avance del lago hará necesaria la reubicación de hasta 15,000 familias.

7 Entrevista al Arq. Pedro Moctezuma Díaz-Infante, 24 marzo 2009.

8 Los resultados de las extensivas pruebas realizadas para preparar el establecimiento de los lagos se presentan en: Marsal, Raul J., "Desarrollo de un lago por la consolidación de arcillas blandas, inducida con bombeo", en: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Nabor Carrillo: El Hundimiento de la Ciudad de México: Proyecto Texcoco, 1969.

Vaso Zumpango



Google Earth 2009

Con una extensión de 18 km, el Vaso de Zumpango es uno de los cinco lagos originales de la Cuenca. Cuenta con un decreto estatal como “Santuario del Agua”, aunque, por el momento, está considerado en “serio peligro de extinción”. Los altos niveles de nitrógeno y fósforo vertidos en las aguas residuales que alimentan el Vaso, han dado lugar a una proliferación excesiva de plantas acuáticas, las cuales han eliminando el oxígeno disuelto en sus aguas (eutroficación).

Este estudio retoma la propuesta del Programa de Saneamiento (Conagua, 2007) para recuperar el Vaso Zumpango, al sugerir que casi la totalidad del agua que lo alimenta sea pluvial, proveniente de su propia cuenca, y que prácticamente la totalidad sea potabilizada para uso público urbano.⁹ Para este fin, la Conagua propone una planta de tratamiento terciario (para remoción de fósforo, nitrógeno y carbono orgánico); además, recomienda realizar un estudio de los azolves en el Vaso, para garantizar que no haya compuestos tóxicos acumulados.

Se propone recuperar la capacidad original de 100 Mm³, a través de la restauración de sus bordes. Así el Vaso tendría una capacidad efectiva de 157 Mm³¹⁰ ya que por el deterioro de sus bordes y el azolve, actualmente solo almacena 40 Mm³. Pierde un volumen considerable (40 Mm³/año, según la Conagua) por evaporación e infiltración; de hecho, se ubica sobre una importante zona de recarga.

El Programa de Saneamiento (Conagua, 2008) propone que este vaso reciba aguas pluviales de la Presa Guadalupe y aguas residuales del Vaso El Cristo. El actual estudio propone adecuar esa propuesta, de tal modo que el Vaso Zumpango almacenará exclusivamente aguas pluviales, captadas en el Gran Canal, para ser potabilizadas y distribuidas en la zona norte y oriente del área metropolitana, un total de 3.5 m³/s.

El Lago Zumpango recibiría las aguas pluviales del poniente del área metropolitana, y por lo tanto, requeriría del saneamiento de las aguas procedentes de la Sierra de Las Cruces, entre otros.

⁹ El Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos propone restaurar el Vaso de Zumpango, como centro turístico y piscícola, abastecido con aguas pluviales y tratadas, y que sirva como fuente de agua para riego, para uso municipal y público-doméstico.

¹⁰ La capacidad efectiva incluye los volúmenes utilizados durante los cinco meses de lluvia. Para calcularla, se divide el volumen real del almacén (lago, cisterna, etc.), entre siete, para determinar el flujo por mes a entregar, se multiplica por cinco, y se suma al volumen real del almacén.

Presas Guadalupe y Madín

Durante el último medio siglo, se ha desarrollado una estrategia de retención del agua pluvial en el norponiente de la Cuenca, con la construcción de 36 presas localizadas entre los cañones de la Sierra Guadalupe. El objetivo ha sido retener los grandes volúmenes de agua generados por los picos de lluvia, para su desalojo posterior a través del Emisor Poniente, el Emisor Central ó el Gran Canal.



Google Earth 2009

La Presa de Guadalupe almacena un promedio de 91 Mm³ (aunque la cifra es mucho menor en años secos), de ese total provee unos 60 Mm³/año (2.9 m³/s) para riego agrícola a campos ubicados a lo largo del Emisor Poniente, y 30 Mm³/año para mantener el nivel del Vaso de Zumpango.

El Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos propone que el agua de la presa sea potabilizada para sustituir la explotación de pozos municipales del área metropolitana. El agua tratada de la PTAR del Vaso El Cristo sustituiría el agua que la presa actualmente aporta para riego.

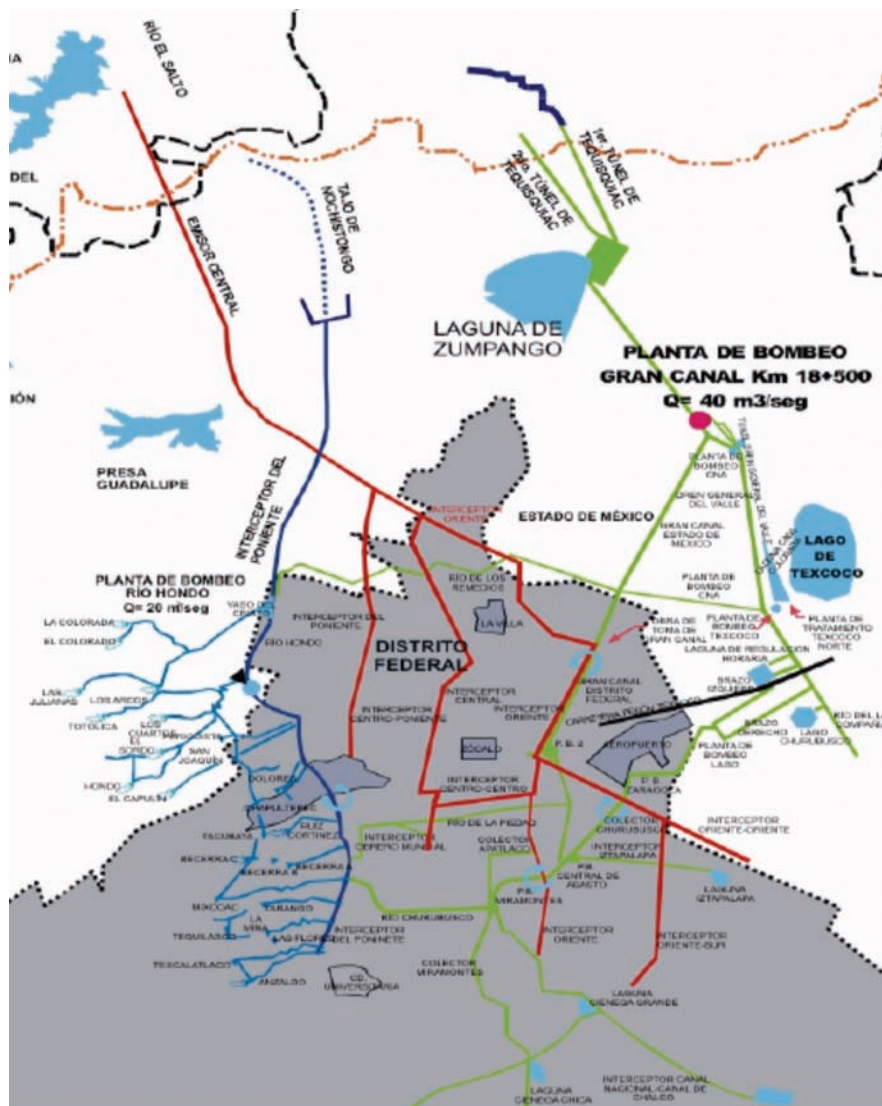
El Organismo de Cuenca del Valle de México, con financiamiento del Fondo Metropolitano, está iniciando trabajos para ampliar la capacidad de potabilización del agua de la Presa Madín, para proveer 0.5 m³/s de agua a los municipios y delegaciones situados al norte de la Cuenca, en sustitución de pozos subterráneos.

Vale la pena notar que los pozos ubicados en la zona de presas, zona considerada como de media a alta permeabilidad, son los únicos que han mostrado un aumento en su nivel estático a lo largo de los últimos 40 años, lo que indica el potencial de este recurso para recuperar el equilibrio de los acuíferos.

Laguna San Gregorio

Esta laguna colinda con el lado poniente de la actual zona chinampera, representa uno de los últimos vestigios del antiguo Lago Xochimilco. Esta zona se inunda en la temporada de lluvias debido a la subsidencia¹¹, lo que la ha protegido contra la urbanización. Requiere de la construcción de bordes, y atención al hundimiento provocado por la sobreextracción de sus aguas subterráneas. Podría recibir aguas pluviales a través del Canal Nacional, cuyos tributarios tendrían que ser saneados.

Ilustración 2. Sistema de drenaje y cuerpos reguladores, en 2008



Fuente: Buenrosto, 2008

11

Vaso El Cristo

Este cuerpo regulador tiene una extensión de 130 hectáreas. Debido a la acumulación de azolves, su profundidad actual es de solo tres metros, y su capacidad de almacenamiento es de 4 Mm³. Es utilizado exclusivamente para el manejo temporal de los picos de lluvia provenientes de las zonas urbanas que drenan hacia el Río Chico Los Remedios y el Río Hondo, hasta su descargar en el Túnel Emisor Poniente y Río de los Remedios. La mayor parte del tiempo, este Vaso se mantiene vacío. Se recomienda analizar la calidad de sus azolves, para determinar si podrían ser utilizados para proyectos de recuperación y mejoramiento de suelos, y permitir una vez desazolvado, recuperar la capacidad original del Vaso.

La Presa de San Lucas

Esta presa captaba 20 Ips de los ríos San Lucas y Santiago, para el llenado complementario del sistema lacustre Xochimilco-Tláhuac con agua pluvial. Debido al bloqueo actual de su salida, el agua se acumula peligrosamente, para ser vertida en el Gran Canal. Falta lograr su rehabilitación.

ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN ACUÍFEROS

El actual estudio propone almacenar casi la mitad del agua pluvial para potabilización en los acuíferos, en donde estaría protegida contra la evaporación y la contaminación, siempre que el manejo de residuos en la superficie sea el adecuado. El próximo capítulo “Recarga” describe medidas que permitirían ciclos relativamente cortos de infiltración y aprovechamiento.

APROVECHAMIENTO AGRÍCOLA Y ECOLÓGICO DEL AGUA PLUVIAL

El agua pluvial es requerida en la Cuenca de México no sólo para el uso de agua potable, sino para la producción agrícola y el rescate ecológico. En este sentido, se propone que 62 Mm³/año sean dedicados al rescate y desarrollo de las zonas chinamperas desecadas en Xochimilco y Tláhuac, y para incrementar la zona acuática en Xochimilco.



Zona de Chinampas desecadas en Xochimilco y Tláhuac, Google Earth 2009

Expansión de las zonas de chinampas de Xochimilco y Tláhuac

Las chinampas representan un sistema de gestión del agua tan apropiado para la Cuenca de México, que han perdurado por más de siete siglos. Asimilan y amortiguan las alzas y bajas en el nivel del agua. Las raíces de las plantas acuáticas digieren contaminantes y reciclan nutrientes. Sirven como sustento para una gran diversidad de flora y fauna. Proveen de entre 3 y 4 cosechas de alimentos al año, por lo que son considerados uno de los sistemas agrícolas más productivos del mundo.

En Xochimilco y Tláhuac, existen unas 2500 has. de zonas de chinampas actualmente desecadas. Se propone recuperar esta zona con el dragado de sus canales, y la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Estas zonas podrían ser alimentadas por agua pluvial, una vez que se haya reorientado el sistema de drenaje para poder dejar de bombear; durante el resto del año, se podría mantener los niveles con aguas tratadas. Esta zona serviría para regular picos de lluvia en las zonas urbanas y microcuencas a su alrededor.

Experiencia modelo: Rehabilitación de zonas chinamperas en la Delegación de Tláhuac



Con \$26.3 millones derivados del Programa de Recuperación del Suelo de Conservación en el D.F., la Delegación de Tláhuac en 2008 logró el desazolve y rehabilitación de chinampas y canales en Tláhuac, Tetelco, Mixquic, y Tulyehualco. Con la ventaja agregada de que al emplear a miembros de las comunidades locales, estas inversiones han servido como importantes herramientas de desarrollo rural.



Zona de regulación y recuperación ecológica Lago Texcoco

Gracias a la visión e iniciativa del Dr. Nabor Carrillo, 10,000 hectáreas pertenecientes al lecho del antiguo Lago de Texcoco fueron decretadas zona federal, para el desarrollo de un proyecto de rescate hidráulico y ambiental de gran impacto. Se buscaba, entre otras cosas, prevenir las inundaciones que podrían resultar de los picos de lluvia sobre el vasto e impermeable lecho del antiguo lago en mención, el cual, debido al hundimiento de la ciudad, quedaba tres metros arriba de ella.

Mediante la sobreexplotación intensiva e intencional del acuífero salobre que subyace el lecho (el agua fue vendida a la industria cáustica)¹² se lograron formar cinco lagos de seis metros de profundidad cada uno, con una capacidad total de almacenamiento de 36 Mm³. Estos lagos almacenan aguas pluviales, y son complementados a lo largo del año con aguas residuales del Gran Canal.

Lo salobre de la zona representa un factor limitante para la potabilización del agua almacenada. Sin embargo, sirve como un vaso regulador para el sistema hidrológico metropolitano, a pesar de la necesidad del bombeo para vencer su altitud en relación con el resto de la ciudad. De hecho, en 2008, el Fondo Metropolitano asignó \$65 millones para reforzar las plantas de bombeo que permiten el paso de las aguas pluviales y residuales del sur y oriente de la ciudad por ahí, a través del Gran Canal.



Lagos artificiales creados a través del hundimiento intencional vía bombeo en la zona federal del lago de Texcoco, Google Earth 2009

12 Entrevista con el Arq. Pedro Moctezuma Díaz-Infante, 24 marzo 2009.

CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL PARA USO COMUNITARIO Y DOMÉSTICO

La captación de agua pluvial para uso in situ representa la manera más eficaz de lograr su aprovechamiento. Se requiere de la construcción de cisternas subterráneas sobre las cuales se puedan erigir edificios, patios ó áreas deportivas. Al no estar expuesta a la luz del sol, el agua mantiene su calidad.

Aunque esta estrategia pareciera ser cara a primera vista (la captación de 8.9 millones de m³ implicaría una inversión de \$3.6 mil millones), es importante notar que provee agua al usuario de manera directa, eliminando los desperdicios, costos de operación y mantenimiento implícitos en las estrategias basadas en la sobreexplotación, la importación y el desalojo.

Cisternas escolares

La captación de agua pluvial en escuelas representa un paso altamente visible e impactante para enfrentar la escasez y avanzar hacia una nueva cultura del agua. El volumen de agua que se puede captar en los techos de una escuela, es suficiente para cumplir con las necesidades de sus estudiantes, en dos turnos, durante todo el año.

Cisternas familiares

La construcción de cisternas para agua pluvial a nivel doméstico, es una estrategia especialmente relevante para zonas rurales que carecen del recurso hídrico durante el estiaje, y en zonas de nueva urbanización que dependen de pipas por su agua.

Estas cisternas pueden ser construidas de manera económica utilizando el ferrocemento. Con el almacenamiento a nivel familiar, se responsabiliza cada unidad doméstica por el uso eficiente de su reserva de agua.¹³

En el caso de las cisternas semi-rurales, el gobierno municipal podría realizar las excavaciones, y las familias podrían aportar la mano de obra para su construcción. El costo de las cisternas en unidades habitacionales formaría parte del costo total del inmueble.



El H. Ayuntamiento de Amecameca 2000-2003, con la asesoría del Ing. Jesús Arias de Xochicalli, A.C., gestionó dos millones de pesos para cubrir el costo de material, excavación y asesoría técnica vía talleres para la auto-construcción de 400 cisternas de ferrocemento de 20,000 litros cada una.

¹³ Hacemos notar que, mientras que las cisternas familiares en el surponiente de la ciudad juegan un papel importante en el acaparamiento del agua de la red de distribución, las zonas que proponemos para desarrollar programas de cisternas de agua pluvial son periféricas y sufren de escasez crónica, por lo tanto, no representarían un riesgo de distorsión de los patrones de distribución de agua potable.



4. RECARGAR LOS ACUÍFEROS



4. RECARGAR LOS ACUÍFEROS

La recarga intencional representa una importante estrategia para la gestión integral del agua en la Cuenca de México, porque permite almacenar el agua sin pérdidas por evaporación, sirve para disminuir las tasas de sobreexplotación y generalmente sirve para mejorar la calidad de las aguas recargadas. Afortunadamente, existen condiciones geológicas favorables para la recarga intencional en la cuenca, especialmente en las permeables suelos agrícolas y cerros en el perímetro del área metropolitana. Posibles proyectos incluyen lagunas de infiltración, pozos de absorción e infiltración vía riego agrícola, siempre garantizando la calidad del agua infiltrada.

Actualmente, el 77% del agua utilizada en la Cuenca de México proviene de fuentes subterráneas, y dos de cada tres metros cúbicos extraídos, provienen de la sobreexplotación.¹ El hundimiento y el agrietamiento de la capa protectora de sus acuíferos son señales de la necesidad de reducir los volúmenes extraídos.

La Cuenca de México cuenta con condiciones favorables para realizar proyectos de recarga intencional,² como parte de una estrategia de gestión integral de sus acuíferos. Hacia este fin, este capítulo abre con una explicación de cómo funcionan las formaciones geológicas que almacenan agua subterránea en la Cuenca de México, seguido por una revisión de los factores en la superficie que intervienen en los procesos de infiltración. Luego, se presenta una serie de proyectos que permitirían almacenar volúmenes significativos de agua en los acuíferos de la Cuenca.

CÓMO FUNCIONAN LOS ACUÍFEROS Y LAS ZONAS DE RECARGA EN LA CUENCA DE MÉXICO

Esta sección se propone explicar el funcionamiento del sistema de almacenamiento natural del agua subterránea en la Cuenca de México, como base para el desarrollo de un sistema de gestión equilibrada que incluiría estrategias de recarga intencional.

En su historia geológica, desde la formación de la Sierra Chichinautzin, la Cuenca ha sido regida por grandes lagos a lo largo de dos distintas épocas. Cada lago milenario dejó una capa gruesa de arcillas en su fondo. En medio de estas dos capas, existe un relleno de materia suelta por donde el agua fluye libremente. La capa más profunda es conocida como el acuitardo medio, y sirve como un piso prácticamente impenetrable.

Las arcillas en la superficie, conocidas como el acuitardo superior, tienen un grosor de 10 metros en sus orillas, y hasta 130 metros en el sur de la Cuenca, alrededor de la Sierra Santa Catarina. Esta capa sirve ahora para proteger el agua que la subyace de evaporación y de contaminación, pero no permite la entrada de agua de recarga.

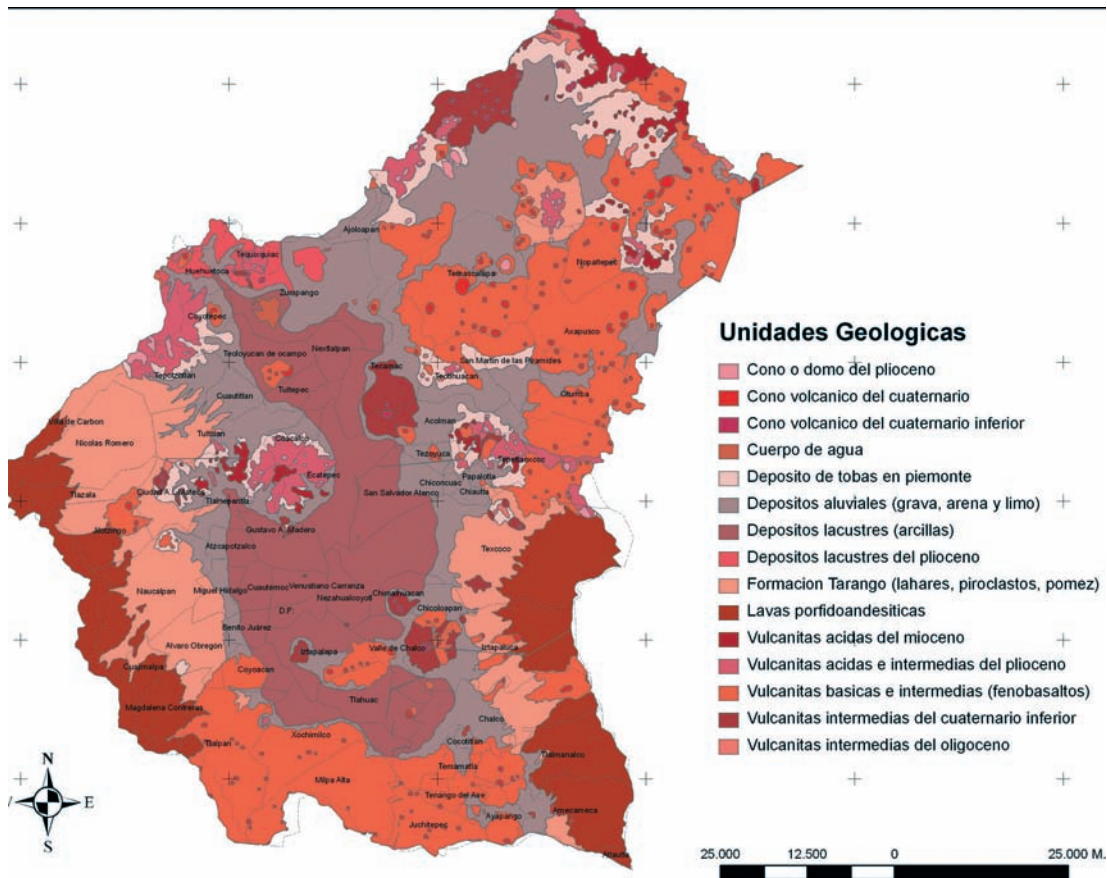
¹ Aquí se Registro Público de Derechos al Agua, Diciembre 2007.

² Gale, Ian, ed., "Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas", UNESCO, 2005.

El relleno en medio, conocido como depósitos aluviales, tiene un espesor de hasta unos 300 metros, y llega hasta la superficie alrededor del antiguo lecho lacustre. Este relleno es recargada directamente, en donde llega a la superficie, y a través de la mezcla de materia pétreo acumulada al pie de las montañas (Formación Tarango), y por las fisuras y fracturas en las sierras que le rodean (principalmente vulcanitas). Dado que tanto las vulcanitas y la Formación Tarango, como los depósitos aluviales permiten la entrada, circulación y extracción del agua, y están interconectados entre sí, se consideran que forman, en su conjunto, una unidad geológica, llamada “acuífero superior”. Este acuífero es la principal fuente de agua subterránea para los habitantes de la Cuenca de México.³

Los siguientes mapas y tabla describen estas formaciones, las cuales son de especial interés para el diseño de estrategias para la recarga intencional.

Ubicación de municipios y delegaciones en relación con las unidades geológicas de la Cuenca de México.



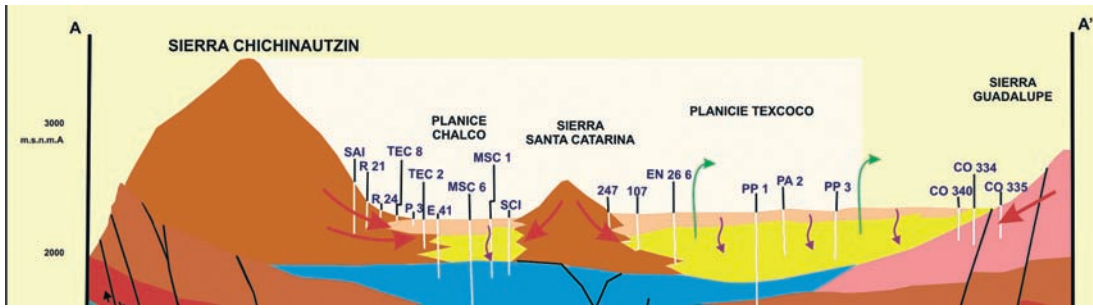
3 Cabe mencionar que, según Ariel (2004), las baterías de pozos Gran Canal y Ramal Ecatepec 2ª Etapa están explotando el acuífero medio.

Tabla 1. Unidades hidrogeológicas del acuitardo superior y el acuífero superior, con sus características y potencial para la recarga.⁴

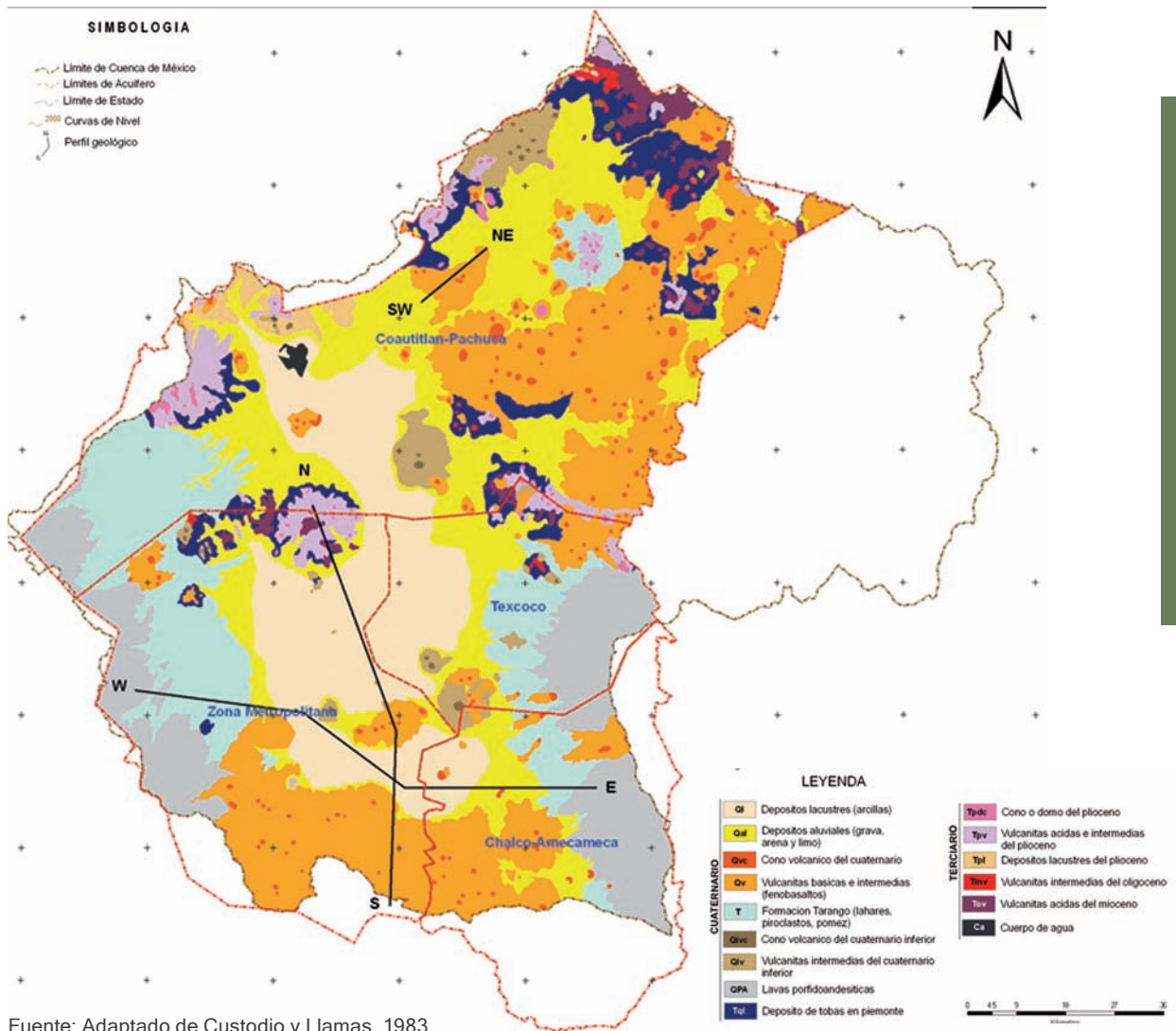
Clasificación hidrogeológica	Litología	Características	Potencial p/recarga (Porosidad eficaz) Tasa de extracción
Acuitardo superior	Arcilla lacustre.	Antiguo lecho lacustre. Profundidad entre 5-40 metros. En proceso de compactación y agrietamiento por desecación. La infiltración puede tardar 100 años.	Baja (3%)
Acuífero superior: principal-fuente de agua subterránea en la Cuenca	Depósitos aluviales (del Cuaternario): aflora en los suelos agrícolas de la planicie y subyace la capa de arcilla ocupada por la zona urbana.	Compuesto de arenas y gravas, intercaladas con lavas y piedras arrojadas por las emisiones volcánicas. Flujo simple entre materiales granulares. Gran parte de los pozos metropolitanos extraen de esta unidad, la cual sufre de un severo abatimiento, excepto en la zona de las presas. El agua recargada en esta zona puede ser recuperada con relativa rapidez, con poca mineralización.	Alta (22%) Tasa de extracción: 30-60 lps Recarga local
	Vulcanitas del Cuaternario sierras Chichinautzin, Santa Catarina, y cerros como Chapultepec	Compuesto de piroclastos y lavas; permeabilidad por fracturas. Los pozos extraen del pie de monte bajo y la planicie aluvial. El agua recargada puede ser recuperada rápidamente, sin mineralización.	Muy alta (35%) Tasa de extracción: 50-140 lps Recarga local
	Formación Tarango Pie de monte de las sierras Nevada y Las Cruces	Depósitos en pendiente compuestos de pómez, lahares, cenizas, suelos, gravas, arena, al pie de las sierras. Flujo simple, entre materiales granulares. El agua recargada puede ser recuperada con relativa rapidez, con poca mineralización.	Alta (18%) Tasa de extracción: 12-30 lps Recarga local
	Rocas ígneas del Cuaternario sierras Nevada, Río Frío, Las Cruces	Transmiten agua hacia la planicie a través de fracturas. El agua recargada sólo es recuperada en décadas ó siglos, con altos contenidos de minerales.	Muy alta (35%) Recarga regional
	Vulcanitas del Plioceno Sierra de Xochitepec y la base de Sierra de Guadalupe	Porosidad por fracturas. El agua recargada sólo es recuperada años después, con moderada mineralización.	Alta (30%) Recarga subregional
	Acuitardo medio	Depósitos lacustres del Plioceno	Arcillas intercaladas con lavas; Espesor máx. 300 m; Por compresión, son más impermeables que arcillas superficiales.

4 Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983.

Mapa 1. Corte transversal sur-norte de las capas del acuífero superior.



Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983.



Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983

RECARGA

Los colores en el recorte transversal y el mapa superficial (arriba), corresponden a los colores en la tabla descriptiva (izquierda)

UNIDADES GEOLÓGICAS CON POTENCIAL DE RECARGA

A continuación, se describen las características, problemáticas y potencial de las tres principales unidades geológicas involucradas en la recarga de la Cuenca.

Depósitos Aluviales

Esta unidad subyace a las arcillas de la antigua zona lacustre, y aflora en los límites de lo que fue el lago, extendiéndose hacia el norte, poniente y oriente, hasta llegar a las sierras que circundan la Cuenca. Estas son las tierras agrícolas, planas, profundas, fértiles y permeables (suelos tipo regosol y andosol), que han sido productoras de granos para las zonas urbanas durante siglos.

Estas zonas son sumamente aptas para proyectos de recarga a través de lagunas ó pozos de infiltración con aguas pluviales ó tratadas. Su tasa de infiltración es 5 cm por hora⁵, y pueden infiltrar hasta 200 metros de agua al año. El impacto de la recarga en los niveles freáticos locales es inmediato. Todas las superficies con sistemas de riego en la Cuenca se encuentran sobre esta unidad. A través del riego se logra infiltrar hasta 25% del agua empleada.

Estas zonas de recarga se encuentran altamente amenazadas debido a los acelerados procesos de expansión urbana.

Vulcanitas del Cuaternario

Esta zona, compuesta de sierras y cerros, es sumamente permeable. Sus barrancas son aptas para represas, y en donde el pendiente lo permite, se puede infiltrar grandes volúmenes a través de pozos de absorción ó lagunas de infiltración, siempre asegurando que el agua no salga por fisuras, inundando colonias cuenca abajo.

La pendiente de este afloramiento oscila entre 4º y 10º. Es sumamente apta para ensayar lagunas y pozos de infiltración de aguas pluviales ó tratadas, siempre que sea segura la ausencia de fracturas que permitan la pérdida de agua cuenca abajo. El agua así recargada impactaría en el nivel freático de manera casi inmediata, y podría ser aprovechada a muy corto plazo.

Proyectos actuales en esta zona: En la Sierra Santa Catarina, la Delegación Tláhuac y la Universidad Autónoma Metropolitana están realizando proyectos para la captación e infiltración de agua pluvial. La planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella ha estado desarrollando técnicas para la infiltración de aguas tratadas en esta zona por varios años.

⁵ Sánchez-Díaz, Luis Felipe. "Infiltración-Recarga Potencial y Catálogo de los Proyectos Prioritarios para la Sustentabilidad Hídrica de la Subcuenca Hidrológica del Río de la Compañía", proyecto de investigación realizado para el actual estudio. Septiembre, 2008.

En la Sierra del Ajusco, existe un sistema de cárcamos que está infiltrando agua pluvial. En el área natural protegida Ayaqueme (Temamatla, Tenango del Aire), se propone la infiltración de aguas pluviales del Río Amecameca, cerca de los pozos de extracción que proveen agua a los habitantes de ocho municipios de la región.

La cantidad y calidad del agua recargada en esta zona está amenazada por los procesos intensivos de urbanización en la Delegación de Tláhuac y, en el municipio de Juchitepec, por el uso extensivo de agroquímicos y la práctica nociva de depositar aguas residuales no tratadas en grietas en el territorio del municipio de Juchitepec.

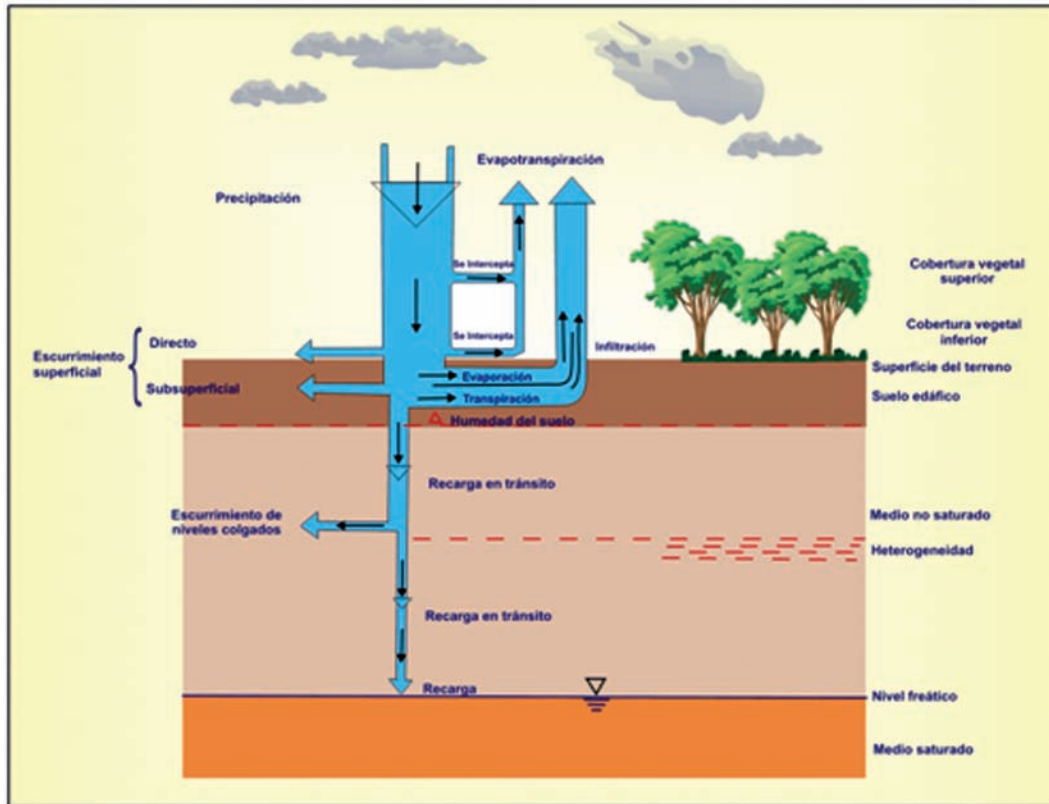
Formación Tarango

Estas zonas se encuentran en los pie de monte de las sierras al oriente y poniente de la Cuenca. Se componen de una gran variedad de material granular, el cual permite el flujo libre del agua, hacia los Depósitos Aluviales de la cuenca baja que circundan y subyacen la zona urbana. Debido a su pendiente (entre 4 y 10°), estas suelos son de vocación forestal, aunque sus bosques han sido muy dañados.

Estas zonas son aptas para la captación e infiltración de picos de lluvia a través de lagunas de infiltración ubicadas antes de las zonas urbanas cuenca abajo. En la Sierra de Las Cruces, la zona correspondiente a la Formación Tarango ha sido urbanizada; y está en proceso de urbanización en municipios del oriente como Ixtapaluca y Chalco.

El proceso de infiltración

Diagrama del comportamiento del agua pluvial al infiltrarse



Fuente: Adaptado de Custodia-Jimena, 1998.

Mientras que las formaciones geológicas realizan un papel determinante en la capacidad de almacenamiento del agua y la facilidad de su extracción, varios factores relacionados con la superficie intervienen en los procesos de infiltración. Un factor es la “capacidad de campo”, la cual se refiere al contenido de humedad que queda retenido en el suelo contra las fuerzas de gravedad.⁶ El agua que infiltra el suelo ocupa todos o parte de los poros del terreno y, si supera la capacidad de campo, tiende a descender vertical y lentamente. El agua que se queda en la capacidad de campo está disponible para ser transpirada por las plantas en la zona de raíces, o para ser evaporada por la energía solar sobre la superficie del terreno.

Tabla 2. Los factores que influyen en el proceso de infiltración

Características del terreno o del medio permeable	Condiciones de superficie	Tipo y densidad de vegetación que cubre al suelo; compactación del suelo; pendiente del terreno.
	Características del terreno	Textura y estructura del suelo; cantidad de arcilla; calor específico
	Condiciones ambientales	Humedad del suelo; temperatura del medio y del suelo.

⁶ Custodio-Gimena y Llamas-Madurga, 1983.

A continuación, se presentará información describiendo el impacto de los factores que intervienen en la capacidad de infiltración.

Tabla 2. Coeficientes de infiltración en función de la pendiente del terreno

Pendiente (grados)	Coefficiente de infiltración	Potencial para la infiltración-recarga
< 2	0.30	Muy alta
2 a 4	0.20	Alta
8 a 12	0.08	Moderada
12 a 13	0.05	Moderada
14 a 16	0.03	Baja
> 20	0.01	Baja

Fuente: Modificada de Schosinsky y Losilla, 2000.

Tabla 3. Coeficientes de infiltración en función de los usos del suelo

Usos del suelo	Coefficiente de infiltración	Potencial para la infiltración-recarga
Agrícola	0.10	Moderada
Bosque	0.20	Muy alta
Pastizal	0.18	Alta
Urbana	0.00	Baja
Sin vegetación	0.05	Baja

Fuente: Modificada de Schosinsky y Losilla, 2000.

Tabla 4. Permeabilidad en función de las láminas de infiltración.

Permeabilidad	Valores (cm/hora)
Muy lenta	< 0.15
Lenta	0.15 – 0.50
Lenta a moderada	0.50 - 2.00
Moderada	2.00 – 5.00
Moderada a rápida	5.00 - 10.00
Rápida	5.00 - 15.00
Muy rápida	15.00 – 25.00
Extremadamente rápida	> 25.00

Fuente: Modificada de Schosinsky y Losilla, 2000.

Tabla 5. Volumen drenable o infiltración del suelo, en función de la conductividad hidráulica.

Permeabilidad / Porosidad Eficaz	Tipo de suelo	Valores (cm/hora)	Volumen (%)
Muy lenta		< 0.15	< 2.00
Lenta		0.15 - 0.50	2.00 - 4.00
Lenta a moderada	Solochack, Cambisol	0.50 - 2.00	4.00 - 8.50
Moderada	Feozem	2.00 - 5.00	8.50 - 12.00
Moderada a rápida	Regosol, Andosol	5.00 - 10.00	12.00 - 17.60
Rápida		5.00 -15.00	17.60 -18.30
Muy rápida		15.00 - 25.00	18.30 - 22.00
Extremadamente rápida		> 25.00	> 22.00

Fuente: Modificada de Schosinsky y Losilla, 2000.

Factores relevantes al diseño de proyectos para la recarga intencional de acuíferos en la Cuenca de México

1. El acuífero superior tiene mayor potencial para esfuerzos de recarga intencional, dado que es más accesible, y el costo del bombeo para su extracción posterior sería menor. Actualmente, el nivel piezométrico del acuífero superior está descendiendo entre uno y dos metros al año.
2. Como consecuencia de más de un siglo de sobreexplotación, la capa protectora del acuífero se está agrietando, lo cual pone en riesgo la calidad del agua en el acuífero, y la integridad de viviendas en su superficie.
3. Se podría esperar resultados positivos de la recarga intencional en relativamente poco tiempo, principalmente cuando sean ubicadas en las planas zonas de recarga que rodean la impermeable zona urbana.
4. Cualquier daño a la calidad del agua del acuífero sería prácticamente irreversible.

Proyectos para la recarga de acuíferos

A continuación se describen el tipo de proyecto que podría servir para aumentar la recarga de los acuíferos de la Cuenca, si se aprovechara los volúmenes actualmente expulsados.

Tabla 6. Métodos que permitirían almacenar en los acuíferos, los volúmenes de agua actualmente expulsados de la Cuenca de México

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de infiltración	Volumen a utilizar (m ³ /s)	% Potencialmente recargable	Volumen Recargable
Aguas residuales disponibles para tratar e infiltrar ¹	31.5		13.5
Riego agrícola. ² Sustitución de pozos agrícolas por aguas tratadas	23.0	25%	5.8
Lagunas de infiltración	7.5	75%	5.6
Pozos para la inyección de aguas tratadas	2.0	98%	2.0
Aguas pluviales disponibles para procesos de recarga	9.3		7.2
Lagunas de infiltración	7.1	75%	5.3
Pozos para infiltración de aguas pluviales	2.0	90%	1.8
Terraceo, represas y reforestación ³	0.2	20%	0.1
Total	46		20.7

- 1 Según la Conagua (2007), en esta década, el volumen de aguas residuales disponibles empezó a disminuir por primera vez en la historia de la Cuenca, debido principalmente a estrategias de reuso. El actual estudio supone que esta tendencia continuará, de tal modo que para el año 2015, en vez de los 32 m³/s actuales, la disponibilidad será de 26 m³/s, por las siguientes reducciones: 3 m³/s en el rescate de concesiones industriales en desuso por causa del reciclaje; y 3 m³/s que se dedicarán a reponer volúmenes perdidos por evaporación en los vasos al norte de la Cuenca, y en lagos y chinampas en el sur.
- 2 Este volumen estaría dedicado a riego como sigue: 12.6 m³/s para sustituir pozos agrícolas; 5 m³/s para sustituir aguas de riego no tratadas; y 5.4 m³/s para abrir nuevas zonas de riego.
- 3 Véase Propuesta 3, en donde se explican los métodos, avances y alcances de esta medida.

RECARGA CON AGUAS TRATADAS

Las aguas tratadas representan una fuente predecible para la gestión de la recarga de acuíferos. Los retos para el éxito de estas estrategias depende de la capacidad técnica de garantizar la calidad del agua a ser manejada, y la capacidad social de lograr la aceptación por parte del público.

Recarga mediante riego agrícola

Gracias a los permeables suelos de la cuenca, el riego agrícola representa una excelente manera para lograr la recarga. De hecho, el “nuevo” acuífero de Tula, es un claro ejemplo de la efectividad de esta estrategia.

Sustitución de agua subterránea, con aguas tratadas, para usos agrícolas

La Cuenca de México cuenta con cinco zonas de riego con agua subterránea, distribuidas en el perímetro de la zona metropolitana en los municipios del Estado de México: Zumpango, Tecamac y Ecatepec en el norte; y Texcoco⁷ e Ixtapaluca, en el oriente. En total, estas zonas comprenden 34,170 hectáreas.⁸ Sin embargo, en décadas recientes, estas tierras, y sus pozos, han dado lugar a fuertes procesos de urbanización.

Este trabajo propone el fortalecimiento de las funciones ambientales de estas tierras, de modo que logren conformar un dinámico “cinturón verde” eco-productivo, reciclador de aguas tratadas y residuos orgánicos, y generador de alimentos y empleos.

Sustitución de aguas no tratadas, con aguas tratadas

Los Distritos de Riego Chiconautla 083 y La Concepción 073, y varias otras zonas en la Cuenca están utilizando para riego, 5.0 m³/s de aguas residuales no tratadas.⁹ El Programa para el Saneamiento ha previsto una serie de plantas de tratamiento en el norte de la Cuenca, con el objetivo de lograr que los agricultores de esa zona cuenten con aguas tratadas. Faltará incluir plantas adicionales en el oriente y sur de la cuenca, para el mismo fin.

7 Conagua, Estadísticas del Agua en México, 2008. Aunque los Distritos de Riego de Zumpango, Tecamac, Texcoco e Ixtapaluca aparecen en el “Mapa del Estado de México”, de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2006, y sus poligonales aparecen en el mapa de Conagua 2008, no forman parte de la lista de Distritos de Riego presentada en “Estadísticas del Agua en México”, 2008 de Conagua.

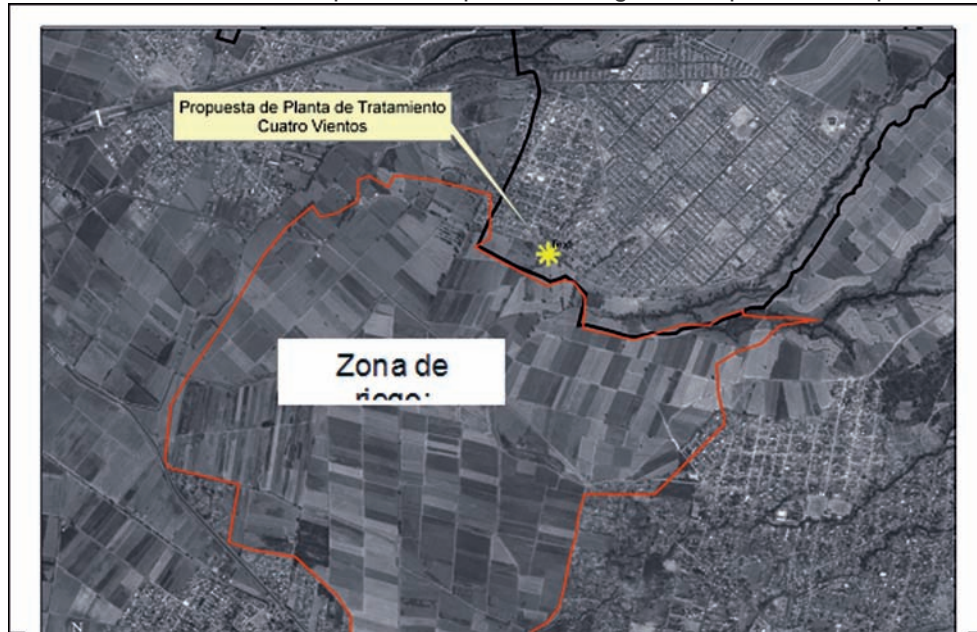
8 CNA, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Informe Estadístico, México, D.F., julio 2005.

9 CNA, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Informe Estadístico, México, D.F., Julio 2005.

NUEVAS ZONAS DE RIEGO

Zonas de riego asociadas con unidades habitacionales

En los municipios de Chicoloapan, Chimalhuacan, Texcoco, Atenco, Ecatepec, Acolman, Chiautla, Papalotla, Ixtapaluca y Chalco, se ha dado un fenómeno de urbanización dispersa, con la construcción de grandes bloques de miles de viviendas, en medio de tierras de cultivo. Este patrón de urbanización, estilo tablero de ajedrez, se ha estado extendiendo sobre los depósitos aluviales vitales e indispensables para la recarga de los pozos metropolitanos.



Se propone garantizar la recarga a futuro a través de decretos de protección y servidumbres ambientales para conservar los usos agrícolas de estos suelos, sin afectar su propiedad, tal como está previsto por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental,¹⁰ y que sean dotados con infraestructura de riego. El agua para riego provendría de las plantas de tratamiento de las unidades habitacionales vecinas, las cuales actualmente vierten sus descargas hacia los canales de desagüe, por medio de los cuales dichas aguas son expulsadas de la Cuenca.¹¹

Participación de los agricultores

Esta estrategia requiere iniciativa e innovación por parte de los agricultores, quienes cambiarían el agua de pozo por aguas tratadas, ó, en su caso, pasarían de una agricultura de

10 ARTÍCULO 23 de la LGEEPA: ...(L)a planeación del desarrollo urbano...considerará los siguientes criterios: II.- En la determinación de los usos del suelo, se buscará lograr una diversidad y eficiencia de los mismos y se evitará el desarrollo de esquemas segregados o unifuncionales, así como las tendencias a la suburbanización extensiva; III.- En la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población, se fomentará la mezcla de los usos habitacionales con los productivos... y se evitará que se afecten áreas con alto valor ambiental; V.- Se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de conservación ecológica en torno a los asentamientos humanos.

11 La Propuesta 7 describe como se podría rehabilitar y bajar los costos de operación de estas PTAR.

temporal a una de riego. En ambos casos, sería importante diseñar, en coordinación con los agricultores, programas de apoyo para realizar la transición, la cual tendría que incluir la adopción de métodos de cultivo no contaminantes del acuífero.

Lagunas de infiltración con aguas tratadas

Las lagunas de infiltración representan la manera más eficaz para recargar los acuíferos con aguas tratadas. Esta técnica, la cual aprovecha la capacidad de los suelos y las formaciones geológicas para tratar y filtrar el agua, está siendo utilizada con éxito en varios continentes.

Los suelos de las zonas de recarga de la Cuenca permitirían la recarga de unos 100 m/año, para suelos limosos, y 300 m/año, para arenas medianas limpias. Las tasas de evaporación de las superficies expuestas son de unos 3.3 cm/mes durante la temporada de lluvias, y hasta de unos 18 cm/mes, durante los meses más calurosos y secos.¹²

Las lagunas de infiltración se construirían en asociación con las plantas de tratamiento, para recibir las aguas tratadas que no podrían ser utilizadas para el riego, por la falta de tierras disponibles para este efecto, ó por reducciones temporales de los volúmenes requeridos.

Una laguna de una hectárea en una zona de recarga típica en la Cuenca, con suelos rego-sol ó andosol, podría infiltrar 2 Mm³/año; dicho de otra manera, se necesitan 15.8 hectáreas para infiltrar 1 m³/s. Por lo tanto, para infiltrar 7.5 m³/s de aguas tratadas, se requieren de 118 hectáreas en lagunas de regulación. Lo óptimo sería construir cinco lagunas para cada planta, para permitir un proceso de rotación, en donde uno de los lagos siempre tendría la posibilidad de pasar por un proceso de desecación con el objeto de eliminar algas. Si se ha generado una capa impermeable de depósitos en el fondo del lago, es posible desintegrarla con el uso del arado.

Recarga vía inyección de aguas tratadas¹³

Existe el potencial para recargar acuíferos urbanos mediante la inyección de aguas tratadas. Este tipo de estrategia es sumamente costosa, tanto por las inversiones iniciales requeridas, como en gastos de operación, e implica mayor grado de riesgo de contaminación del acuífero. Sin embargo, representa una alternativa para ayudar a frenar la crisis de los acuíferos en el sur de la Cuenca.

Según Monroy (2008), los pozos de inyección deben de ubicarse a una distancia de al menos 600 metros de los pozos de extracción. El agua inyectada debe permanecer un mínimo de un año en el acuífero antes de su extracción. Son necesarios pozos de monitoreo y revisiones sistemáticas que aseguren la eficacia del tratamiento.

¹² UNESCO, 2005.

¹³ Monroy, Oscar. "La digestión anaerobia como parte medular de la sustentabilidad." Ponencia presentada ante el XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales: La sustentabilidad en las grandes ciudades. 24 abril 2008.

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para inyección deben incluir múltiples barreras independientes para detener microorganismos y contaminantes químicos; continuo monitoreo tóxico y epidemiológico, así como evaluaciones de confiabilidad y riesgo

El costo de construcción de plantas de tratamiento y potabilización anaerobio, sería de unos \$506 millones por m³/s de capacidad.

El 3 de junio 2008, fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-CNA-2003, “Requisitos para la recarga artificial de acuíferos” el cual establece los requisitos para la Recarga Artificial de Acuíferos, mientras que el anteproyecto de NOM-015-CNA-2005 establece los requisitos para la Disposición de Aguas al Suelo y Subsuelo. Por parte del D.F., la norma NADF-003-AGUA-2002, reglamenta la calidad requerida para las aguas tratadas para ser inyectadas en el acuífero “Zona Metropolitana de la Ciudad de México”.

RECARGA CON AGUA PLUVIAL



Laguna de absorción, Santa Catarina Delegación Tlahuac

En 1994, en la Delegación de Tláhuac se construyeron lagunas de infiltración de aguas tratadas, de 4 hectáreas cada una. En uno de los caso, no se previó que fracturas en la formación geológica permitiría que el agua saliera en una colonia cuenca abajo. Actualmente, la Delegación de Tláhuac está impermeabilizando el fondo para captar agua pluvial para riego.

El reto para la gestión de la recarga con agua pluvial es el manejo de los volúmenes repentinos, los cuales requieren ser almacenados temporalmente, dado que los procesos de infiltración son más tardados.

Lagunas de infiltración con aguas pluviales

La captación de picos de lluvia a través de lagunas de infiltración representa la estrategia con mayor potencial, y menos costo, para aumentar la recarga de los acuíferos que alimentan los pozos de la zona metropolitana.

La desviación e infiltración de picos de lluvia antes de su llegada a la zona urbana en la cuenca baja, convertiría los volúmenes de agua que ahora representan un riesgo para la ciudad, en un recurso valioso.

En experiencias internacionales, las lagunas de infiltración son creadas en tierras agrícolas sobre zonas de alta permeabilidad, de manera temporal, rotativa y voluntaria, en zonas de alta permeabilidad. Comúnmente, las tierras que son convertidas en lagunas de infiltración

(vía costales de arena puestos a su alrededor) son beneficiados por la materia orgánica depositada ahí por las lluvias. Estas lagunas, de una a diez hectáreas cada una, con un metro de profundidad, se ubicarían cerca de cauces de escurrimientos permanentes ó intermitentes, y recibirían su agua por un sistema de compuertas.

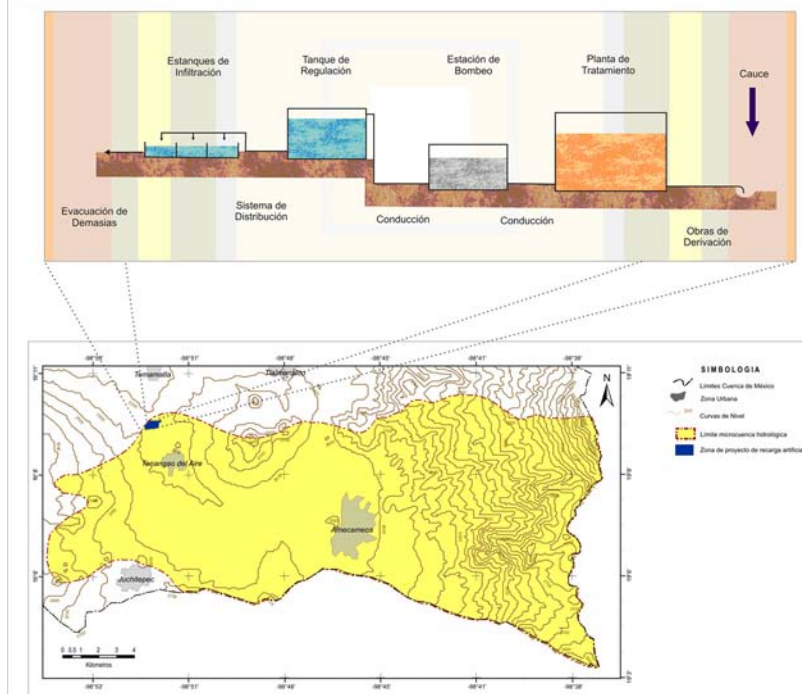
Dependiendo del tipo de suelo, el agua vertida sobre la laguna de regulación tardaría de uno a dos días en infiltrarse (tasa de infiltración 2.5 a 5 cm/hora). En total, la infiltración de 6 m³/s (189 Mm³/año) de agua pluvial en zonas de recarga en la cuenca media y baja, demandaría 473 hectáreas dedicadas a las lagunas de infiltración, cada a ser llenada 40 veces al año.¹⁴

Como ejemplo, 5 m³/s de agua originada por un pico de lluvia llenaría en una hora una laguna de infiltración, con una extensión de dos hectáreas y una profundidad de un metro. En 24 horas, esta agua habría sido absorbida por el acuífero subyacente, y la laguna estará lista para recibir el próximo volumen de agua.

RECARGA CON ESCURRIMIENTOS

En el área natural protegida Ayaqueme en los municipios de Temamatla y Tenango del Aire, existen condiciones óptimas para un proyecto piloto de recarga de escurrimientos. El Ayaqueme consiste en un afloramiento de basaltos, sumamente permeables, ubicado por el cauce del Río Amecameca, cerca de la zona de pozos que alimenta 11 municipios del suro-riente del Estado de México. A continuación se presenta el diseño básico del proyecto.

Modelo conceptual del proyecto de recarga artificial con agua de escurrimiento.



14 "Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas", UNESCO, 2005.

POZOS DE ABSORCIÓN EN ZONAS URBANAS

A mediados del siglo pasado, cuando se inició la etapa actual de acelerada urbanización, hubo varios intentos, muchos exitosos, de infiltrar agua pluvial en zonas de recarga en el área urbana, como medida para prevenir inundaciones y recuperar los niveles de agua en



los pozos, especialmente en el sur y poniente de la ciudad. Sin embargo, estas estrategias fueron abandonadas en los años 70, cuando la urbanización cuenca arriba contaminó las aguas de lluvia, y las tasas de sobreexplotación de los acuíferos llegaron a niveles tan altos que ya no fue perceptible el impacto de estos intentos de recarga.

Perforación de un pozo de absorción en Iztapalapa.
Foto: Dr. Luis Felipe Sánchez-Díaz

A partir de los años 90, ante la creciente crisis de agua, esta estrategia ha sido retomada en el sur y oriente del área metropolitana. Estas experiencias recientes merecen ser evaluadas, para así generar programas estratégicos de mayor escala.

Las limitantes para los pozos de absorción de aguas pluviales en el área metropolitana son:

- Es necesario penetrar el acuitardo para llegar a las zonas de recarga;
- Los costos de mantenimiento son altos, por la acumulación de “basura”, azolve, ó algas;
- Puede haber taponamiento permanente de los poros de infiltración, por aceites u otras sustancias, así reduciendo la vida útil de los pozos;
- El agua pluvial a infiltrar puede contaminarse, con aditivos a la gasolina, aguas residuales, etc.;
- Existe la posibilidad de la erosión de la capa de arcilla cercana a los pozos de absorción. (En este respecto se menciona que, a nivel internacional, hay un aprovechamiento creciente del agua pluvial captada en los techos de inmuebles urbanos, la cual tiende a ser de mayor calidad.)

Tabla 3. Evaluación de experiencias de infiltración de agua pluvial en el Área Metropolitana de la Cuenca de México

Método	Resultados
Desviación Río Magdalena a basaltos de San Angel (CHCVM-SRH: 1944-60)	Infiltración de 73.5 Mm3 (4.6 Mm3/año)
Desviación Río Eslava hacia sumideros en basaltos del Xitle (CHCVM-SRH: 1953-54)	Alimentación de manantiales de Peña Pobre y Fuentes Brotantes
Infiltración de 6 lps, mediante 15-20 pozos de absorción de aguas pluviales y escurrimientos (CHCVM-SRH: 1953-57)	Recuperación de nivel en piezómetros ubicados a 50 m.
Recarga en 3 pozos de absorción, con agua de presa Mixcoac (CHCVM-SRH: 1956-75)	Excelente infiltración debido a inyección a presión; recuperación de los niveles en pozos cercanos
56 pozos de absorción, con profundidad de 35 m, en basaltos del Pedregal para drenaje pluvial de 260 has. (1970)	Unos funcionan hasta la fecha; otros fueron de tamaño insuficiente p/área drenada, otros se azolvieron
Pozos de absorción bajo áreas verdes de unidades habitacionales (Odpas Ixtapaluca: 1992-2008)	Se infiltra 60 lps de agua pluvial por cada pozo
126 pozos de absorción (Deleg. Iztapalapa: 2001-8)	Por evaluar
55 pozos de absorción (SACM/Deleg. Tlalpan 2004-6)	Infiltración 100 lps x pozo
Pozo de absorción para aguas pluviales (IEPSA-Médica Sur: 2005)	Tasa de infiltración 16.08 lps
Construcción de 75 de 500 pozos de absorción programados (GDF/Secretaría del Medio Ambiente: 2007-12)	Se proyecta inyectar al final del periodo, un caudal pico de 2.5 m3/s
3 pozos de absorción, con 10 cárcamos p/captación agua pluvial (GDF/Deleg Xochimilco: 2008)	Por evaluar

Fuente: Luis Felipe Sánchez-Díaz, "Recarga natural, inducida y artificial en la Cuenca de México (Definiciones y Ejemplos), realizado para el actual estudio.2008.

Glosario de términos relacionados con la recarga de acuíferos

Unidad hidrogeológica: Un conjunto de formaciones geológicas interconectadas, entre las cuales el comportamiento del agua es relativamente homogénea.

Acuífero: Unidad hidrogeológica, compuesta de una ó más formaciones geológicas, que permite el almacenamiento, circulación y extracción de agua.

Acuitardo: Unidad hidrogeológica que muy difícilmente permite la entrada, circulación ó extracción de agua.

Manto acuífero: El nivel debajo del cual los espacios entre la materia pétreo están saturadas con agua.

Recarga natural: La infiltración de agua pluvial, escurrimientos ó deshielos, a través del suelo, que llegue hasta el manto acuífero.

Recarga intencional: El empleo de métodos para almacenar agua en los acuíferos para su posterior recuperación, también conocido como “recarga artificial”, “recarga gestionada” y “almacenamiento subterránea”.

Lagunas de infiltración: Terrenos excavados ó con bordes, ubicados sobre zonas de recarga, para lograr la recarga intencional de acuíferos con agua pluvial, residual tratada ó escurrimientos.

Pozos de absorción: Método para infiltrar, por gravedad y acción capilaria.

Pozos de inyección: Método para la infiltración acelerada de aguas tratadas, utilizando presión.

EL ACUÍFERO COMO UNA UNIDAD ADMINISTRATIVA

Los “acuíferos” tal como han sido definidos por la Comisión Nacional del Agua, son más bien unidades de administración, y sirven principalmente para el manejo de concesiones de aguas subterráneas. Sus límites frecuentemente son determinados por criterios de gestión (por ejemplo, límites estatales) más que por criterios geológicos. Además, los “acuíferos” de la Conagua consisten de recortes verticales que incluyen todos los estratos que subyacen sus límites superficiales, aún si no están interconectados, ó si incluyen formaciones sin la capacidad para almacenar agua.



5. PROTECCIÓN DE LAS ZONAS ESTRATÉGICAS
DE RECARGA



5. PROTECCIÓN DE ZONAS ESTRATÉGICAS DE RECARGA

Las estrategias de recarga intencional, implican aprovechar la capacidad de infiltración de los permeables suelos agrícolas que rodean el área metropolitana, por su acceso directo al acuífero que provee la mayoría del agua utilizada por la ciudad.

Estas zonas necesitan ser protegidas contra su inminente urbanización. Esto requerirá realizar adaptaciones a las leyes, para establecer una definición de “zonas de recarga” junto con los criterios para su delimitación, a su vez, reconociendo la función de recarga de suelos no forestales. Finalmente, será importante que los manifiestos de impacto ambiental, pongan restricciones contra actividades que podrían afectar la cantidad ó calidad de agua infiltrada por zonas de recarga.

Desde los años 1950, la mancha urbana empezó a expandirse sobre las zonas de recarga de la Cuenca de México. Al mismo tiempo, el número de habitantes en la cuenca rebasaron su capacidad de proveer sus necesidades de agua. En el último medio siglo, tanto el crecimiento poblacional como la expansión urbana sobre zonas de recarga, han seguido avanzando sin controles efectivos, llevando a una crisis de escasez y sobreexplotación en la actual década, que pone en riesgo la futura viabilidad de la cuenca.

Afortunadamente, como se ha visto en los capítulos anteriores, se podrá lograr la gestión sustentable de los acuíferos, disminuyendo la demanda, por un lado, y aumentando la oferta, vía la recarga intencional, por el otro. Sin embargo, tanto la recarga natural como la intencional, dependen de garantizar que las zonas de recarga que rodean el área urbana no se urbanicen.

En este momento, faltan instrumentos legales para delimitar y proteger las zonas de recarga de su posible impermeabilización; y para restringir las actividades a desarrollar en su superficie, de modo que no afecten la cantidad ó calidad del agua infiltrada. Falta asimismo, asegurar que el cuidado de las zonas de recarga sea un factor determinante en la asignación de usos del suelo.

La creación de estos instrumentos requerirá de una serie de adaptaciones a la Ley de Aguas Nacionales, la cual procura “regular...la preservación de la cantidad y calidad [del agua] para lograr su desarrollo integral sustentable”¹; la Ley General de Equilibrio Ecológico, la cual “establece las bases para... el aprovechamiento sustentable...del agua..., y la prevención ... de la contaminación del...agua”²; y la Ley General de Asentamientos Humanos, que “fija las nor-

1 Artículo 1, de la Ley de Aguas Nacionales, publicado el 1 diciembre 1992.

2 Artículo 1, inciso V y VI, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicado DOF 28 enero 1988.

mas... para planear y regular el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos.”³

1. Definición y delimitación de las “zonas estratégicas de recarga”

El concepto “zona de recarga” no cuenta con definición legal. Se propone que la Ley de Aguas Nacionales defina este concepto, especificando como “estratégicas” las zonas de recarga que abastecen acuíferos que están siendo sobreexplotados por los centros urbanos, como sigue:

Artículo 3. Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

Zona estratégica de recarga de acuíferos. Aquella superficie que permite la percolación natural ó intencional de aguas de lluvia, escurrimientos, ó aguas residuales tratadas, las cuales llegan a ser almacenadas en un acuífero sujeto a un decreto de veda u otra forma de reglamentación, debido a su condición de sobreexplotación.

Se requerirá de estudios técnicos para delimitar y fundamentar los decretos de protección.⁴ (En el capítulo “Zonas” del actual estudio, se proponen criterios y territorios con particular aptitud para servir como zonas estratégicas de recarga para el área metropolitana de la Cuenca de México).

1.1. RECONOCIMIENTO DEL PAPEL DE LAS ZONAS DE RECARGA NO FORESTALES EN LA REALIZACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES HÍDRICOS.

En años recientes, se ha logrado concientizar a la población sobre el papel fundamental de los bosques en la regulación hidrológica de las cuencas. Como se ha visto en capítulos anteriores, las zonas forestales, ubicadas principalmente en cuenca media y alta, realizan un papel vital en la prevención de inundaciones y del azolve; en la conservación de ecosistemas; y en la infiltración de agua que llegará a las zonas de explotación en cuenca baja décadas después. Este reconocimiento está sirviendo para que los bosques sean valorados no sólo por la madera que generan, sino por su papel en la gestión del agua en las cuencas.⁵

Ahora, será importante expandir esta conciencia para que se valore el papel de las zonas de recarga que no sean de usos forestales. En el caso de la Cuenca de México, las zonas de recarga con mayor potencial para generar ciclos cortos de almacenamiento y reuso, son precisamente, las zonas de recarga ubicadas en suelos agrícolas en cuenca baja. Sin embargo, la ley no reconoce el papel de estos suelos no forestales en la recarga y, en consecuencia,

³ Artículo 1, inciso II, de la Ley General de Asentamientos Humanos, publicado DOF 21 julio 1993

⁴ Se menciona aquí que la Ley de Aguas Nacionales sólo tiene competencia sobre usos del agua; la LGEEPA y la LGAH tienen competencia sobre usos del suelo.

⁵ El establecimiento del Fondo Forestal Mexicano por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Art. 142, 143), sienta las bases para su financiamiento parcial por parte de los usuarios del agua en bloque, como está especificado por la Ley Federal de Derechos (Art. 223): “De los ingresos que se obtengan por la recaudación de los derechos por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales por usuarios distintos de los municipales y organismos operadores de los mismos, 300 millones de pesos tendrán destino específico para el Fondo Forestal Mexicano para el desarrollo y operación de Programas de Pago por Servicios Ambientales.”

estas zonas no cuentan con protección, ni pueden ser sujetos de pagos por servicios ambientales, aún cuando son utilizadas para lagunas de infiltración.

Por lo tanto, la propuesta es realizar la siguiente adición (en negritas y con subrayado en el concepto que se ampliaría) a la Ley de Aguas Nacionales:

Artículo 3, XLIX. “Servicios Ambientales”: Los beneficios de interés social que se generan o se derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes...; para la aplicación de este concepto en esta Ley se consideran primordialmente los recursos hídricos y su vínculo con los forestales y **con las zonas estratégicas de recarga de los acuíferos.**

2. Decretos de protección para zonas estratégicas de recarga⁶, forestales ó no forestales.

Actualmente, los factores justificantes para la emisión de decretos de protección se enfocan a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad (I, II, III, IV y V, del Art. 45 de la LGEEPA), a la prevención ó mitigación de desastres (VI) y a la preservación del patrimonio cultural (VII), exclusivamente. Se propone cumplir con las intenciones de la Ley de Aguas Nacionales⁷ y de la LGEEPA⁸, las cuales buscan asegurar que las zonas proveedoras del agua cuenten con protección, a través de una ampliación del tercer inciso al Artículo 45, III, de la LGEEPA, como sigue:

“El establecimiento de áreas naturales protegidas, tiene por objeto: ...Asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sus elementos, **así cómo los servicios ambientales de las cuencas, incluyendo sus zonas de recarga.**”

Se considera que las zonas de recarga podrían considerarse “áreas de protección de recursos naturales” (Art 45, VI), a través de la siguiente ampliación en la definición de este tipo de área natural protegida:

“Las áreas de protección de recursos naturales, son aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal, **así como las zonas de recarga de cualquier uso.**” Artículo 53, LGEEPA

3. Consideración de las zonas de recarga en los manifiestos de impacto ambiental

Actualmente, la LGEEPA y su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, no contemplan el impacto de obras ó actividades concretas nocivas al funcionamiento de las zonas estratégi-

6 Artículo 3, II de la LGEEPA: Áreas naturales protegidas: Las zonas del territorio nacional..., en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en la presente Ley.

7 El Art. 7 II de la LAN declara que es de utilidad pública: “La protección, mejoramiento, conservación y restauración de...acuíferos,... así como la infiltración natural o artificial de aguas para reabastecer...mantos acuíferos...”.

8 El Artículo 88 III de la LGEEPA especifica que: “Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos...”.

cas de recarga, ni la consecuente afectación a la cantidad ó la calidad del agua infiltrada.

3.1. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE OBRAS Y ACTIVIDADES EN EL FUNCIONAMIENTO DE ZONAS DE RECARGA

Se proponen los siguientes cambios (adiciones en negritas) a la LGEEPA para que sea posible condicionar ó negar la autorización de obras ó actividades que afecten el buen funcionamiento de las zonas proveedoras de agua subterránea a centros de población:

ARTÍCULO 35 de la LGEEPA:

...La Secretaría deberá evaluar los posibles efectos de dichas obras o actividades en el o los ecosistemas **y en los terrenos que proveen servicios hidrológicos y ambientales** de que se trate, considerando el conjunto de elementos que los conforman y no únicamente los recursos que, en su caso, serían sujetos de aprovechamiento o afectación.

Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental, la Secretaría emitirá, debidamente fundada y motivada, la resolución correspondiente en la que podrá: ...III.- Negar la autorización solicitada, cuando:

b) La obra o actividad de que se trate pueda propiciar que una o más especies sean declaradas como amenazadas o en peligro de extinción o cuando se afecte a una de dichas especies; **ó cuando pueda afectar la calidad ó cantidad de agua infiltrada a acuíferos proveedores de agua a centros de población;**

3.2 MANIFIESTOS DE IMPACTO AMBIENTAL PARA CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN ZONAS ESTRATÉGICAS DE RECARGA

Se proponen los siguientes cambios (adiciones en negritas) al Artículo 28 de la LGEEPA:

Artículo 28 de la LGEEPA: “La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar, restaurar los ecosistemas [añadir: **y asegurar el buen funcionamiento de los servicios hidrológicos y ambientales**], a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente.

Para ello...quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:

X.- Obras y actividades en [añadir: **zonas estratégicas de recarga de acuíferos**], humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales;

4. El cuidado de las zonas de recarga en la gestión municipal de los usos del suelo

Según el Artículo 115 de la Constitución, la asignación de los usos del suelo⁹ es facultad de la administración municipal, función que debe ejercer vía dos instrumentos complementarios: el Plan Municipal de Desarrollo Urbano, y el Ordenamiento Ecológico Local Municipal; el primero incide principalmente al interior de los límites urbanos, y el segundo se orienta al territorio definido como “no urbanizable”¹⁰.

Debido a una falta de voluntad política generalizada, actualmente no se cuenta metodologías claras y efectivas¹¹ para la elaboración, aprobación y ejecución de ordenamientos ecológicos municipales; tampoco existen los recursos para la construcción de las capacidades requeridas a nivel local. En ausencia de Ordenamientos Ecológicos Municipales aprobados, los límites urbanos municipales se extienden e invaden “suelos no urbanizables” a través de la aprobación cada trienio de nuevos Proyectos de Modificación, sin considerar su viabilidad e impacto sobre el funcionamiento de las zonas estratégicas de recarga.

4.1. DEFINICIÓN DE ZONAS DE RECARGA COMO “NO URBANIZABLES” EN LOS PLANES MUNICIPALES DE DESARROLLO URBANO

En ausencia de Ordenamientos Ecológicos Municipales, y en tanto no se hayan logrado decretos de protección federal, la herramienta principal para proteger las zonas estratégicas de recarga, es el Plan Municipal de Desarrollo Urbano, cuya elaboración está fundamentada en la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH).

Es sumamente importante que esta ley (LGAH) especifique que las zonas de recarga sean consideradas como “no urbanizables”, como se propone a continuación:

Artículo 2: “Para los efectos de esta Ley, se entenderá por: ...

III. Centros de población: las áreas constituidas por las zonas urbanizadas, las que se reserven a su expansión y las que se consideren no urbanizables por causas de preservación ecológica, prevención de riesgos, **la recarga de acuíferos** y el mantenimiento de actividades productivas dentro de los límites de dichos centros...”

De la misma manera, se propone fortalecer el Artículo 23 de la LGEEPA, el cual es citado por la Ley General de Asentamientos Humanos¹², como definitorio para la elaboración de los Planes Municipales de Desarrollo Urbano:

⁹ Excepto el suelo forestal.

¹⁰ Artículo 20 Bis 4 de la LGEEPA.

¹¹ El “Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico” publicado por la Semarnat en 2007 representa un intento de enfrentar esta carencia; sin embargo, las técnicas propuestas no dan lugar a la construcción de los consensos y las capacidades requeridos para garantizar los procesos municipales de ordenamiento ecológico. Para más información, véase “Incubadora para Ordenamientos Ecológicos Municipales”, Centro Incalli Ixcachuicopa, UAM, 2008.

¹² El Artículo 19 de la Ley General de Asentamientos Humanos especifica que: “Los planes o programas de desarrollo urbano deberán considerar los criterios generales de regulación ecológica de los asentamientos humanos establecidos en los artículos 23 a 27 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente...”

ARTÍCULO 23 de la LGEEPA: "...La planeación del desarrollo urbano y la vivienda...considerará los siguientes criterios:

V.- Se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de conservación ecológica en torno a los asentamientos humanos, [añadir: **asegurando, en particular, la permeabilidad de las zonas estratégicas de recarga de acuíferos**]

5. No autorizar el cambio de uso de pozos en zonas estratégicas de recarga

La manera más directa e inmediata para frenar la urbanización de las zonas estratégicas de recarga (y, a un tiempo, sentar las bases para el rescate de concesiones de agua subterránea que excedan su disponibilidad), es a través de la no autorización de cambios de uso de pozos ubicados, ó a ubicarse, en las zonas estratégicas de recarga.

El proceso de autorización de nuevas unidades habitacionales, requiere que el promotor demuestre que posee concesiones de agua en volúmenes suficientes para cubrir las necesidades de los futuros habitantes. Actualmente, esta "factibilidad" es demostrada a través de la compra y cambio de uso, de uno ó más pozos agrícolas ó industriales¹³ del mismo acuífero.

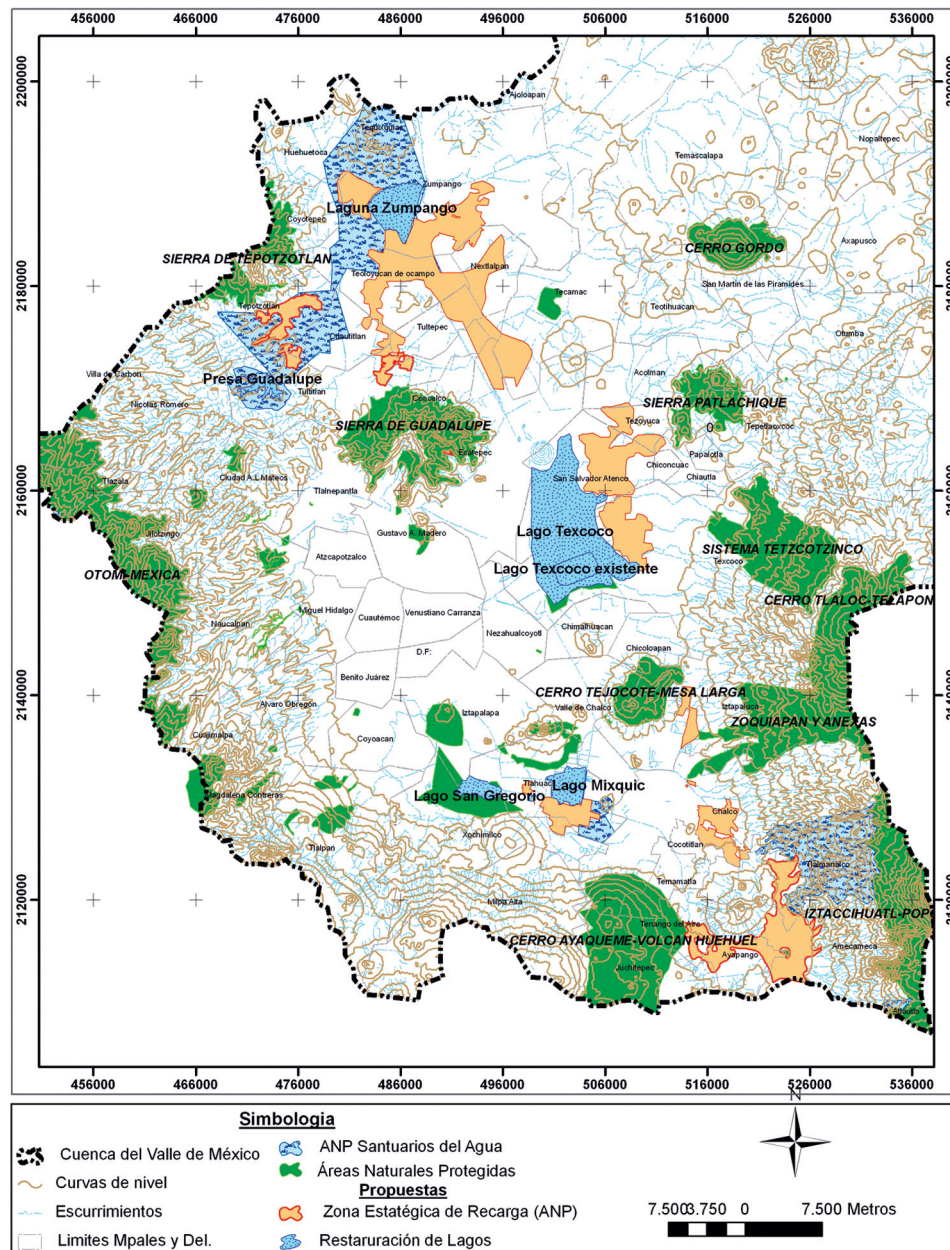
La autorización del cambio de uso de un pozo es competencia del Organismo de Cuenca, ó del titular de la Comisión Nacional del Agua, la cual tiene la responsabilidad de garantizar la utilización equilibrada del recurso hídrico. Cuando se autoriza un nuevo pozo para uso público-doméstico (mediante el cambio de uso y reposición) en la zona de recarga de un acuífero sobreexplotado, los pozos ubicados cuenca abajo tendrán menos agua. Esto es porque los pozos agrícolas utilizados en zonas de recarga logran infiltrar una parte importante del recurso. Adicionalmente se ha descubierto un número significativo de concesiones agrícolas "fantasma", registradas por constructoras, tiempo atrás, sin que correspondan con pozos agrícolas reales.

13 Además de gestionar el cambio de uso, generalmente se gestiona el cambio de lugar, lo cual está permitido, siempre que sea dentro de los límites del mismo acuífero.

Zonas propuestas para servir como Zonas Estratégicas de Recarga

En el siguiente mapa, se presentan los polígonos propuestos para contar con decretos de protección como Zonas Estratégicas de Recarga. Estas áreas comparten las siguientes características: a) representan áreas en donde el acuífero superior aflora a la superficie, por lo tanto, permiten la recarga directa de las zonas de explotación; b) no han sido urbanizadas; c) tienen acceso a aguas pluviales provenientes de sierras, cerros ó zonas urbanas; d) están al alcance de aguas residuales metropolitanas; e) se encuentran en zonas de influencia de baterías de pozos actuales ó potenciales. Además, varios de estos polígonos representan distritos ó unidades de riego.

PROTECCIÓN



6. LOGRAR LA GESTIÓN EQUILIBRADA DE LOS ACUÍFEROS



6. LOGRAR LA GESTIÓN EQUILIBRADA DE LOS ACUÍFEROS

El sistema de concesiones tiene el fin de asegurar que los volúmenes extraídos de los acuíferos no exceden a los volúmenes recargados. Sin embargo, en la actualidad las concesiones en la Cuenca de México, representan un volumen tres veces mayor que el agua disponible. Se requiere corregir estas distorsiones, a través de la reglamentación de la Veda; el rescate de concesiones, acompañado por la clausura de los pozos correspondientes; y la aplicación de sanciones para concesionarios que operan en violación de la normatividad.

Actualmente en la Cuenca de México, el volumen de agua subterránea concesionada, es tres veces mayor que el volumen de recarga. La construcción de los Sistemas Lerma y Cutzamala, no cumplieron con su objetivo de reducir la sobreexplotación de los acuíferos de la cuenca, porque no fueron acompañados por el rescate de concesiones¹, ni la clausura de pozos². De la misma manera, hoy en día, los volúmenes ahorrados por usuarios agrícolas e industriales, no disminuyen la sobreexplotación, sino que están siendo utilizados para justificar la construcción de nuevas unidades habitacionales.

“EL EJECUTIVO FEDERAL ASEGURARÁ QUE LAS CONCESIONES Y ASIGNACIONES DE AGUA ESTÉN FUNDAMENTADAS EN LA DISPONIBILIDAD EFECTIVA DEL RECURSO..., E INSTRUMENTARÁ MECANISMOS PARA MANTENER O REESTABLECER EL EQUILIBRIO HIDROLÓGICO EN LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS DEL PAÍS...”.

Artículo 14 Bis 5. VII, Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales obliga al Ejecutivo Federal a tomar las medidas necesarias para lograr el equilibrio hidrológico, y provee los instrumentos necesarios. Éstos incluyen la reglamentación de la Veda³, el decreto de zona reglamentada⁴, y el sistema de concesiones y sanciones.

1 “Rescate”: Acto emitido por el Ejecutivo Federal por causas de utilidad pública o interés público, mediante la declaratoria correspondiente, para extinguir concesiones o asignaciones para la explotación, uso o aprovechamiento de Aguas Nacionales, de sus bienes públicos inherentes. LAN, Art. 3, XLV.

2 Entrevista realizada con personal del Banco Interamericano de Desarrollo, 10 octubre 2008.

3 “Zona de veda”: Aquellas áreas específicas de las regiones hidrológicas, cuencas hidrológicas o acuíferos, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. LAN, Art. 3, LXV.

4 “Zona reglamentada”: Aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas, que por sus características de deterioro, desequilibrio hidrológico, riesgos o daños a cuerpos de agua o al medio ambiente, fragilidad de los ecosistemas vitales, sobreexplotación, así como para su reordenamiento y restauración, requieren un manejo hídrico específico para garantizar la sustentabilidad hidrológica. LAN, Art.3, LXIII.

La Veda de la Cuenca de México

El 19 agosto de 1954, en respuesta a la determinación por parte del Dr. Nabor Carrillo, de que la sobreexplotación de los acuíferos estaba causando el hundimiento de la capital, el Presidente Adolfo Ruíz Cortines, declaró el “Decreto que establece Veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de Aguas del Subsuelo en la zona conocida por Cuenca o Valle de México”

Sin embargo, durante estos años de su vigencia, la sobreexplotación de los acuíferos ha aumentado en 1,300%, al pasar de 16% en 1954, a 210% en la actualidad.

La Veda de 1954 ha sido debilitada por tres motivos. En primer lugar, la Ley Federal de Aguas, promulgada en 1970, no ratificó las vedas en existencia, como la de la Cuenca de México, cuando ésta reemplazó la Ley de Aguas Propiedad de la Nación.

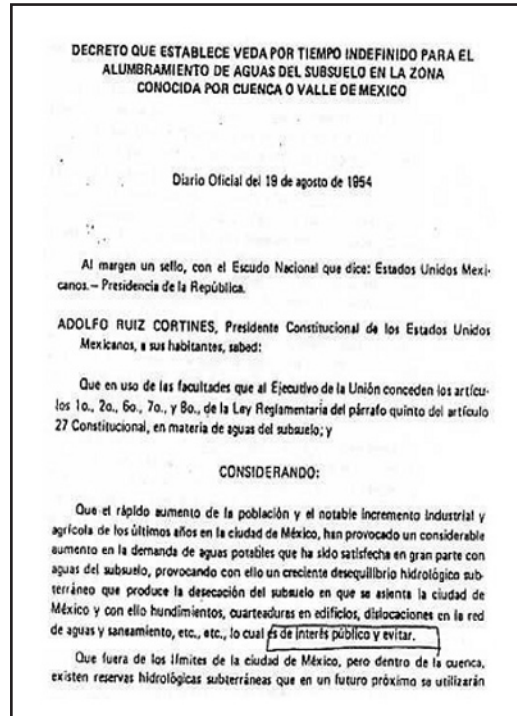
En segundo lugar, hasta ahora no se ha emitido el Reglamento para la implementación de la Veda en la Cuenca de México, como es requerido por la actual Ley de Aguas Nacionales (Art. 40 VII, IX). Falta determinar los volúmenes máximos a concesionar, y las estrategias para reducir los volúmenes concesionados y extraídos.

En tercer lugar, el marco legal vigente no reconoce a los usuarios de un acuífero como partes interesadas, y por lo tanto, ha sido difícil cuestionar e impugnar jurídicamente, la práctica establecida de sobreconcesionamiento de las aguas subterráneas.

DECRETO DE LA CUENCA DE MÉXICO COMO ZONA REGLAMENTADA

Se requiere que el Ejecutivo Federal decrete la Cuenca de México como “zona reglamentada”, lo cual implicaría “fijar los volúmenes de extracción, uso y descarga que se podrán autorizar; las modalidades o límites a los derechos de los concesionarios y asignatarios, así como las demás disposiciones especiales que se requieran por causa de interés público.” En particular la ley especifica que el decreto especificará las “medidas necesarias para controlar la explotación” de acuíferos gravemente sobreexplotados.⁵

⁵ Artículo 39 de la Ley de Aguas Nacionales: “En los casos de sequías extraordinarias, sobreexplotación grave de acuíferos o condiciones de necesidad o urgencia por causa de fuerza mayor, el Ejecutivo Federal adoptará medidas necesarias para controlar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacio-



En su Programa Nacional Hídrico 2007-2012, la Comisión Nacional del Agua, ha fijado como meta la elaboración e instrumentación de Reglamentos sobre el uso del agua para cuatro de las principales cuencas ó acuíferos del país. Se propone que la Cuenca de México sea uno de los primeros a ser reglamentadas.

Tabla 1. Meta del Programa Nacional Hídrico, en referencia a la reglamentación del uso del agua en cuencas prioritarias.

Estrategia 8: Reglamentar el uso del agua en las principales cuencas y acuíferos del país.					
	Indicador	Universo o meta ideal	Valor al año 2006	Meta en el periodo 2007-2012	Meta acumulada al año 2012
3.8	Reglamentos de uso de agua en cuencas hidrológicas prioritarias, publicados y en instrumentación	Valor no determinado	0	4	4
	Indicador	Universo o meta ideal	Valor al año 2006	Meta en el periodo 2007-2012	Meta acumulada al año 2012
3.8.2	Proyectos de reglamento de uso del agua en acuíferos prioritarios, elaborados.	104	0	10	10

La Comisión Nacional del Agua, propone lograr para el año 2012 que cuatro cuencas prioritarias en el país, cuenten con su debido Reglamento, publicado y en proceso de instrumentación.

Utilizar el Reglamento de la Veda para rescatar concesiones emitidas en exceso a los volúmenes disponibles

El decreto e instrumentación del Reglamento de la Veda, constituye la clave para corregir los excesos en el otorgamiento de concesiones para agua subterránea, que han llevado a la grave situación actual. En la siguiente tabla, se describe los volúmenes de concesiones que podrían ser rescatados, al realizar las propuestas del Programa para la Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México (Conagua, 2007), así como los ajustes propuestos por el actual estudio.

nales, mismas que se establecerán al emitir el decreto correspondiente para el establecimiento de zonas reglamentadas.”

Tabla 2. Concesiones rescatables⁶, para lograr la explotación equilibrada de los acuíferos de la Cuenca de México

(Se marcan con asteriscos las obras incluidas en el Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México)

Medidas	Concesiones y asignaciones rescatables
1. Reemplazar pozos agrícolas con agua tratada, en el norte, oriente y sur de la cuenca	12.6
2. Reemplazar extracciones para uso público-urbano con agua pluvial potabilizada, de Vaso Zumpango, Lago de Xico, Presa Guadalupe, Presa Madín	12.8
3. Reducir pérdidas por fugas, de 37% a 25% de uso público-urbano 24 - 16	8.0
4. Reducir en 33% el volumen de agua dedicada a usos sanitarios, de 17 m3/s a 11.3 m3/s	5.6
5. Disminución en extracciones para usos industriales	1.0
Volumen total de concesiones rescatables	40.0

Instrumentación del rescate de concesiones

1. RESCATE DE CONCESIONES AGRÍCOLAS (12.6 m3/s)

El actual Programa para la Sustentabilidad Hídrica, de la cuenca ha identificado la disminución en los volúmenes de agua extraída para usos agrícolas, como la principal oportunidad para reducir la sobreexplotación de los acuíferos. Sin embargo, será necesario “congelar” estas concesiones, o sea, no permitir su traspaso a usos urbanos, hasta que puedan ser rescatadas, al reemplazar estos volúmenes con la provisión de aguas tratadas.

Corresponde, además, a la Conagua realizar visitas de inspección, y tomar las acciones necesarias, para revocar concesiones “fantasma”, como son las de los supuestos pozos agrícolas registradas en Ixtapaluca en 1995 por la compañía constructora Casas GEO⁷.

En este apartado, se hace mención de que la propuesta de buscar un “estado de excepción” para establecer una tarifa para concesiones agrícolas en la Cuenca de México, solo serviría para promover la urbanización de las Unidades de Riego, las cuales, por estar ubicados sobre importantes zonas de recarga, están realizando una función significativa en el reciclaje del agua en la cuenca.

6 Según el Artículo 3, XLV de la Ley de Aguas Nacionales: “Rescate” es el “Acto emitido por el Ejecutivo Federal por causas de utilidad pública ó interés público, mediante la declaratoria correspondiente, para extinguir concesiones ó asignaciones para la explotación, uso ó aprovechamiento de Aguas Nacionales.”

7 Concesiones: 5MEX100186/26AMGR94; 5MEX100187/26AMGR94; 5MEX100188/26AMGR94; 5MEX100189/26AMGR94; 5MEX100190/26AMGR94.

2. RESCATE DE ASIGNACIONES POR REEMPLAZO CON AGUA PLUVIAL POTABILIZADA (12.8 m³/s)

Al recibir asignaciones de agua potabilizada de la Presa Guadalupe ó Madín, el Vaso Zumpango ó el Lago de Xico, será vital reducir las asignaciones por los mismos volúmenes de agua subterránea, a los organismos operadores correspondientes, asegurando la clausura de los respectivos pozos.

3. RESCATE DE CONCESIONES POR REDUCCIÓN DE FUGAS (8.0 m³/s)

Se estima una pérdida por fugas en la Cuenca de unos 24 m³/s de las cuales 12 m³/s corresponden al D.F., e igual volumen al Estado de México. Perló y Domínguez, proponen que las inversiones requeridas para obras destinadas a disminuir el porcentaje de agua perdida por fugas, sería menor a las inversiones requeridas para importar volúmenes equivalentes de agua de nuevas fuentes.⁸ Para mencionar una experiencia positiva en este sentido, entre 2001 y 2006, el Gobierno del D.F., construyó 117 sectores hidrométricos. Reportan que, con la detección y reparación de unas 30,000 fugas visibles y no visibles al año, lograron recuperar un caudal de 1.85 m³/s, y proyectan que el volumen total ahorrado llegará a 3 m³/s en los próximos años.

La reducción en el volumen de pérdidas por fugas, del nivel actual de 37%, a un nivel de 25%, implicaría el ahorro de 8 m³/s. En la medida que se vayan logrando estos ahorros, los volúmenes de agua subterránea asignados, extraídos y cobrados, a los respectivos organismos operadores se disminuirán⁹.

4. RESCATE DE CONCESIONES RELACIONADAS CON USOS Suntuarios (5.6 m³/s)

Como se describe en el Capítulo “Financiamiento”, el 17 m³/s del agua en la cuenca, se dedica a lo que se podría llamar “usos suntuarios”, siendo usos público-domésticos, más allá de los 150 litros/habitante/día recomendada por la Organización Mundial de la Salud. Se buscará, a través de políticas tarifarias y campañas de concientización, reducir los volúmenes dedicados a este uso en un 33%, asegurando una reducción similar en los volúmenes asignados, extraídos y cobrados.

5. RESCATE DE CONCESIONES DE USO INDUSTRIAL (1 m³/s)

El costo del agua de primer uso (16.5 pesos/m³) para la industria, está sirviendo como incentivo para lograr el uso eficiente del recurso por parte de este sector. La aplicación del Reglamento podrá asegurar que los volúmenes ahorrados no sean utilizados para justificar

⁸ Perló Cohen, Manuel, y Ramón Domínguez Mora, “Presente y Futuro del Agua en la Ciudad de México”.

⁹ Como alternativo al rescate de concesiones para equilibrar la explotación de los acuíferos, el Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México (Conagua, 2007) propone que se podría cumplir con las necesidades de la población futura de la Cuenca hasta el año 2030, estimada en 22.3 millones de habitantes, a través de la reducción de fugas de una tasa actual de 36%, a una tasa de 25%.

nuevas unidades habitacionales en la Cuenca, sino que sean rescatados en aras de lograr una gestión equilibrada de sus acuíferos.

Aplicación de las sanciones previstas por la Ley de Aguas Nacionales

El sistema de concesiones, tiene el fin de asegurar que los volúmenes de agua extraídos de los acuíferos, no superen los volúmenes recargados. El rescate de concesiones excesivas, descrita arriba, corregiría las distorsiones que han debilitado este sistema. En esta sección, se mencionarán otras herramientas, que permitirán que las concesiones, funcionen como efectivos reguladores de los volúmenes extraídos.

1. MULTAS

Una exhaustiva revisión del Registro Público de Derechos al Agua, acompañado por investigaciones de campo realizadas como parte del actual estudio, demostraron que las sanciones previstas por la Ley de Aguas Nacionales¹⁰ (multas de 5,001 a 20,000 salarios mínimos), no están siendo aplicadas de manera consistente frente a prácticas como son:

- a. No contar con medidores en buen estado y funcionamiento;
- b. Usar volúmenes mayores a los autorizados;
- c. Ejecutar obras para extraer agua en zonas de veda, sin el permiso respectivo;
- d. No ejecutar la destrucción de los pozos que hayan sido objeto de reubicación;
- e. No ajustar la capacidad de los equipos de bombeo, cuando se transmiten parcialmente los derechos de aprovechamiento.

Además, en los casos de reincidencia, la Autoridad del Agua debe imponer la clausura temporal o definitiva, parcial o total de los pozos y de las obras o tomas, para la extracción o aprovechamiento de aguas nacionales. (Artículo 122, LAN)

2. EXTINCIÓN Ó REVOCACIÓN DE CONCESIONES IRREGULARES

Las concesiones o asignaciones podrán extinguirse por nulidad, en el caso de que la concesionaria haya proporcionado información falsa; o la concesión se haya expedido en contravención a las disposiciones de la presente Ley; o cuando se deje de usar la cantidad concesionada durante dos años consecutivos. (Art. 29 Bis 3 LAN)

Una concesión o asignación, podrá revocarse si el concesionario utiliza más del 20% del volumen concesionado; si extrae agua de zonas reglamentadas o de veda sin permiso; o si reincide en la falta de pago de sus tarifas. (Artículo 29 Bis 4, I, V, VI)

¹⁰ Artículo 119, III, VII, IX, XI, XV, XVII, XIX, LAN.

Medidas adicionales

MEJORAR LA CALIDAD TÉCNICA DE LOS DICTÁMENES DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA

La Ley de Aguas Nacionales, requiere que la Comisión Nacional del Agua publique dictámenes de la disponibilidad del agua de los acuíferos cada tres años. Al publicarse estos datos en el Diario Oficial de la Federación, los dictámenes sobre disponibilidad, se convierten en información de fe pública, y sirven como base para determinar la disponibilidad del agua, ó en el caso de la Cuenca de México, los volúmenes de sobreconcesionamiento que deberán ser corregidos.

Los dictámenes de disponibilidad para los cuatro principales acuíferos de la Cuenca de México (Cuautitlán-Pachuca; Zona Metropolitana; Texcoco y Chalco-Amecameca), fueron elaborados en abril de 2002, y publicados en el Diario Oficial en 2003.

Mediante la actualización de estos dictámenes, se espera observar las siguientes mejorías:

1. Utilización de datos más precisos en las caracterizaciones hidrogeológicas¹¹, incluyendo la ubicación del acuitardo, así como el potencial de extracción de cada formación geológica;
2. Delimitación de las zonas de recarga de cada acuífero, con una caracterización general de los suelos y su potencial de infiltración;
3. Presentación de censos de pozos actualizados (con mapeo), basado en el REPDA y estudios de campo (los dictámenes de 2003 utilizaron los censos de 1990);
4. Mapeo de densidades de pozos, por volúmenes extraídos;
5. Mapeo, con isóneas, de las dinámicas de abatamiento de los pozos;
6. Mapeo, con isóneas, de las dinámicas de hundimiento.
7. Presentación de los datos derivados de los análisis de calidad del agua de los pozos indicadores¹².

¹¹ Sánchez-Díaz, 1989; De Cserna et al., 1987; Acosta et al., 1993; Huizar et al., 2003.

¹² Sólo el Acuífero Texcoco presenta datos relacionados a la calidad del agua.

FORTALECER EL REGISTRO PÚBLICO DE DERECHOS DE AGUA (REPDA)

La reciente puesta en línea del Registro Público de Derechos al Agua, con las coordenadas geográficas para cada concesión, representa un enorme avance en la provisión de un sistema de información accesible, que permitirá la participación de los usuarios y otros sectores de la sociedad en la instrumentación del Reglamento de la Veda, tal como está previsto en el Artículo 40 de la Ley de Aguas Nacionales.

Será importante superar la tardanza en los trámites de las autorizaciones (de tres a cuatro años en promedio)¹³, para que la información inscrita en el REPDA refleje adecuadamente los movimientos en curso.

CUESTIONAR LA FACTIBILIDAD DE NUEVAS UNIDADES HABITACIONALES EN ACUÍFEROS SEVERAMENTE EXPLOTADOS

Comúnmente, las autoridades de desarrollo urbano y vivienda aceptan “cartas de factibilidad”, emitidas por organismos operadores, ó concesiones de agua de dudoso origen, como comprobantes de la disponibilidad de agua, con el fin de lograr la autorización de nuevas unidades habitacionales. Es importante lograr que la legislación y los reglamentos relacionados con las áreas de Asentamientos Humanos y Desarrollo Urbano, reconozcan a las concesiones ó asignaciones emitidas por la Conagua, como único comprobante de disponibilidad.

Además, existe una práctica común entre los municipios de sólo registrar asignaciones por una fracción del agua subterránea utilizada, para así bajar sus responsabilidades frente el pago de derechos para agua en bloque. Esta práctica solo sirve para esconder niveles de sobreexplotación mayores a los que han sido oficialmente reconocidos, y requiere ser corregida.

PROMOVER LA COLABORACIÓN EN LA VIGILANCIA DE POZOS

La fiscalización de los pozos y de las descargas es sumamente costosa. Siguiendo el excelente ejemplo del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Acuífero Cuautitlán-Pachuca, se propone la formación inmediata de los COTAS para los otros tres acuíferos de la cuenca, de modo que puedan involucrarse, entre otras actividades, en la detección de pozos clandestinos.

Se propone además fortalecer el convenio de colaboración con la Comisión Federal de Electricidad, para detectar pozos en donde el consumo de energía indique un nivel de extracción mayor a lo concesionado.

¹³ Recomendaciones vertidas por el Lic. Juan Manuel Flores Femat en el Curso sobre “Legislación y Desarrollo Rural” impartido por el Centro de Estudios sobre Soberanía Alimentaria y Nueva Ruralidad en el Congreso de la Unión, octubre, 2008.

DERECHO AL AGUA

Existen dos realidades en relación al acceso al agua en la Cuenca de México. Las delegaciones y municipios como Cuajimalpa, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Magdalena Contreras, Tlalnepantla, Cuautitlán Izcalli y Alvaro Obregón (en orden de abundancia), se ubican cerca de los puntos de entrada del agua importada de otras cuencas, y gran parte de las casas, cuentan con cisternas amplias: su dotación media es entre 300 y 686 litros/habitante/día.

Por otro lado, en las delegaciones y municipios de Chicoloapan, Nezahualcóyotl, Tecámac, Nicolas Romero, Ixtapaluca, Chalco, Ecatepec, La Paz, Tláhuac e Iztapalapa (en orden de escasez), predomina el “tandeo”, y las dotaciones son inferiores al mínimo internacionalmente recomendado.

La integración del derecho al agua en la Constitución Política, obligará a ajustes en los sistemas de distribución del recurso hídrico en la cuenca, y sentará las bases para una nueva cultura del agua, a través de la cual la sociedad entera podrá aprender a apreciar este elemento como un recurso finito y vulnerable.

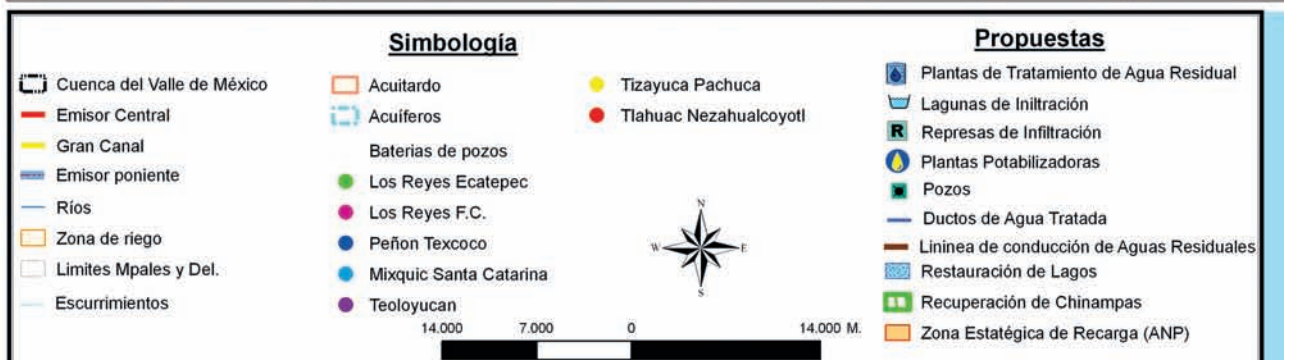
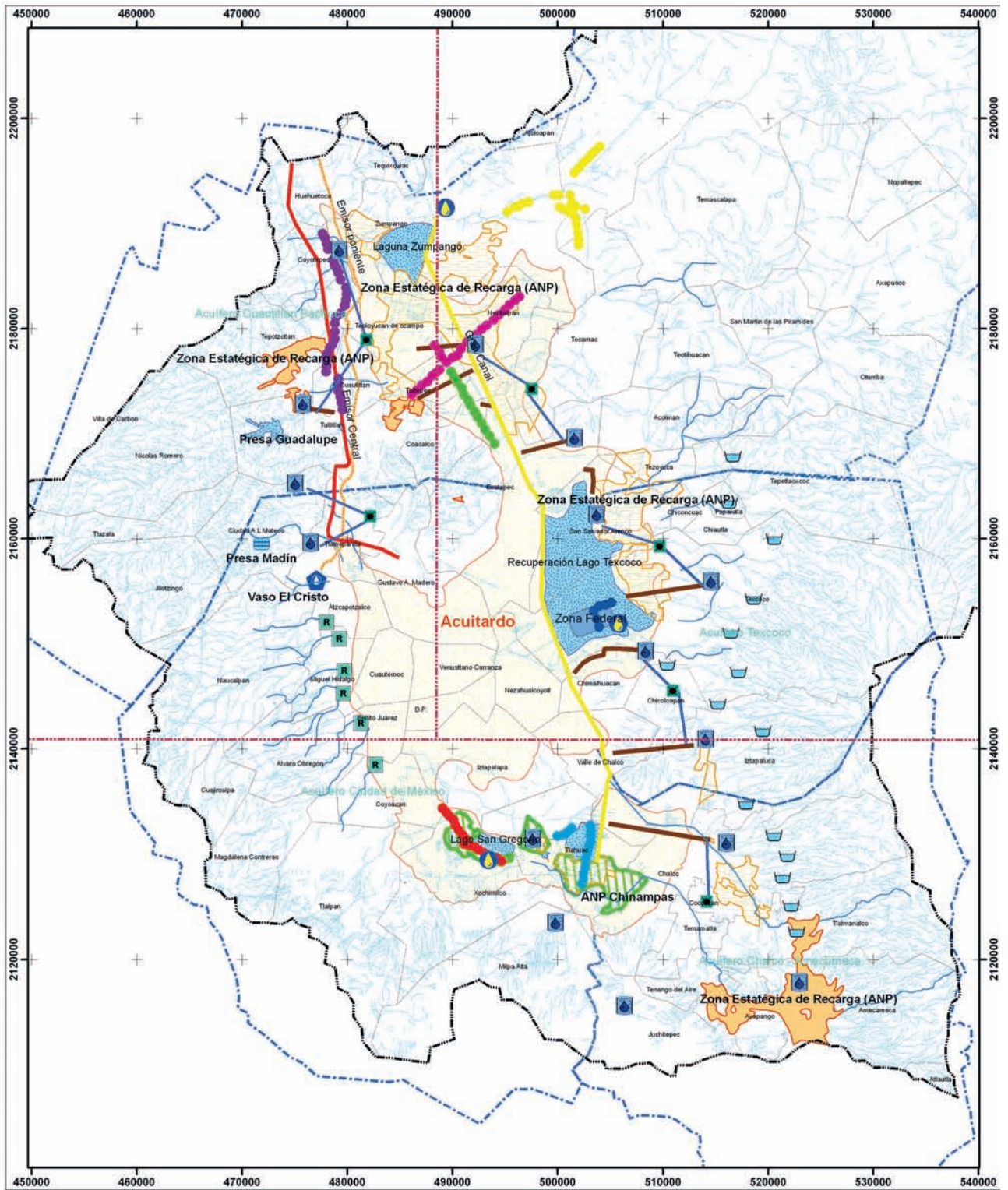
A su vez, será importante vincular el derecho al agua con la disponibilidad del recurso, de tal modo que este derecho, no sea utilizado para justificar la construcción de nuevas zonas habitacionales sobre acuíferos sobreexplotados.¹⁴

¹⁴ En este sentido, se nota, además, la necesidad de asegurar que la prioridad absoluta que la LAN otorga al uso público urbano (Art. 14 Bis 5, XXII) sea condicionada por la disponibilidad, para asegurar que este artículo no sea utilizado para justificar el cambio de concesiones agrícolas a usos urbanos, cuando éstas deben de ser rescatadas, para corregir el sobreconcesionamiento y la sobreexplotación.

A photograph of a forest stream with a fallen log bridge and water cascading over rocks. The scene is lush and green, with sunlight filtering through the trees. The water is clear and flows over dark, mossy rocks. A large, weathered log lies across the stream, forming a natural bridge. The water flows under the log and then cascades over several more rocks, creating white foam and splashing. The background is filled with dense foliage and tall trees, creating a sense of a deep, secluded forest.

7. GENERAR ESTRATEGIAS DE GESTIÓN POR ZONA





7. GENERAR ESTRATEGIAS DE GESTIÓN POR ZONA

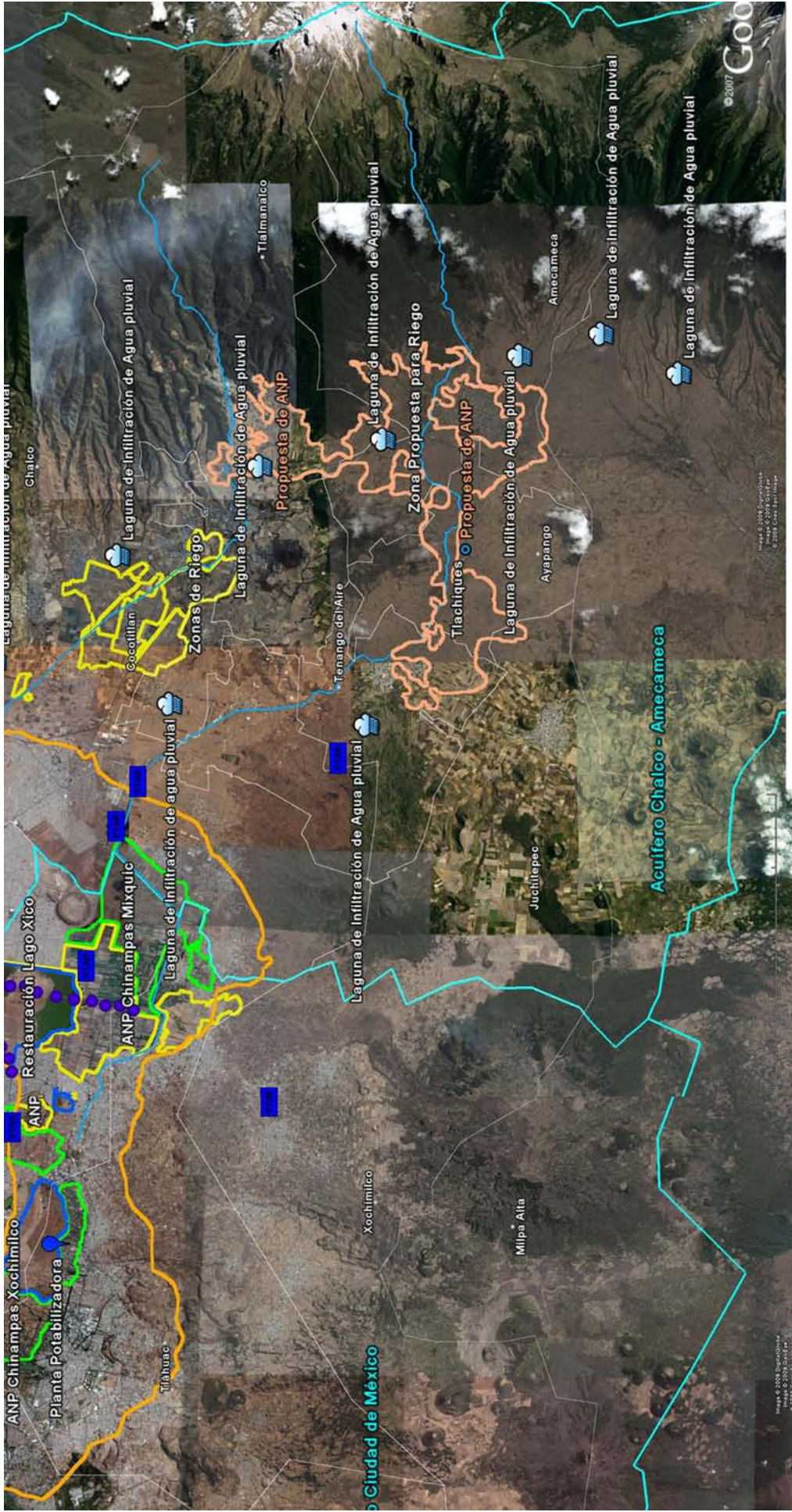
El modelo de urbanización que ha predominado en la cuenca durante los últimos siglos, ha generado una metrópolis desterritorializada, que demanda acceso a cada vez mayores volúmenes de agua, a la vez que destruye los servicios hidrológicos proveedores del recurso hídrico. Se presenta a continuación un primer ejercicio de visualizar las obras que permitirían que las distintas zonas del área metropolitana aprovecharan los servicios hidrológicos de la cuenca, para cumplir con sus necesidades hídricas.

Actualmente, las aguas pluviales y residuales de la cuenca son recolectadas por sistemas hidráulicos que las bombean desde el sur hasta su expulsión por las salidas del norte. El aprovechamiento de estos recursos hídricos en la cuenca, requeriría de una reorientación hídrico-territorial, de tal manera que cada parte del área urbana tendría relación con sus propias zonas de captación, tratamiento, recarga y aprovechamiento.

En términos generales, para la gestión del agua de lluvia, se propone la habilitación de dos grandes lagos para el almacenamiento, el Vaso de Zumpango en el norte, y el Lago de Xico en el sur, complementado por cuerpos menores como son las presas del norte, especialmente las Presas Guadalupe y Madín; el Lago San Gregorio y las zonas chinamperas en el sur; y la zona lacustre de Texcoco en el oriente. Además, se ubicaría una multitud de represas en el poniente, y lagunas de infiltración a lo largo de las franjas de recarga en el norte, oriente y sur, para almacenar el agua pluvial en los acuíferos, cerca de las zonas de extracción.

Los ciclos de reuso del agua requerirían de un sistema de “arterias” que canalizarían las aguas residuales desde las zonas urbanas hacia plantas de tratamiento ubicadas en las franjas agrícolas en su periferia, para ser infiltradas a través de lagunas y zonas de riego.

ZONAS



Zona Sur

Las permeables Sierra Santa Catarina y Cerro de la Estrella, forman el límite norte de esta zona. Entre ellos y la Sierra Chichinautzín, sobre profundas arcillas lacustres, se encuentra una zona sumamente apta para el almacenamiento de aguas pluviales. Se propone recuperar el Lago Xico y el Lago San Gregorio (bordes azules), para proveer 5.8 m3/s de

agua potable a esta región, en sustitución del agua extraída de sus sobreexplotados acuíferos. Se propone, además, recuperar las chinampas desecadas (bordes verdes), para así poder aprovechar productivamente los picos de lluvia que actualmente son expulsados de la zona vía bombeo. Los suelos de recarga en el suroriente de la cuenca (bordes beige), son aptos para infiltrar aguas pluviales, vía lagunas de infiltración en parcelas agrícolas ubica-

das cerca de los cauces, antes de su llegada a las zonas urbanas. Se propone, además, infiltrar los deshielos y agua pluvial del Río Amecameca en los basaltos del ANP Ayaque (nube), para reforzar los pozos "Los Tiachiques", que abastecen esta región.

Finalmente, se propone ubicar 3-5 PTAR en las zonas de riego (bordes amarillos, y beige, propuestas para decretos de protección), las cuales tratarían e infiltrarían aguas residuales metropolitanas para su aprovechamiento posterior.

I. ZONA SUR

Prioridad 1: Inminente zona de desastre por grietas, reaparición de lagos y desaparición de glaciares.

Objetivo principal: Aprovechar lluvia para prevenir inundaciones y estabilizar acuíferos; recarga con aguas residuales

Acuíferos: Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Chalco-Amecameca

PROBLEMÁTICAS:

- Pérdida de capacidad de almacenamiento de agua pluvial por derretimiento de los glaciares.
- Inundaciones por urbanización de zonas de recarga.
- Hundimientos de 40 cm/año.
- Grietas en capa protectora que ponen en riesgo viviendas y calidad del agua.
- Reparación de los lagos antiguos.
- Macroproyectos propuestos para Tláhuac contaminarían el acuífero y urbanizarían zonas requeridas para almacenamiento de aguas pluviales.

FORTALEZAS, OPORTUNIDADES:

- Segundo receptor más importante de aguas pluviales en la cuenca.
- Las zonas forestales en cuenca alta en el suro-riente están en buenas condiciones.
- Las antiguas zonas lacustres y chinamperas están disponibles para el almacenamiento masivo de agua pluvial.
- Mejores prácticas: PTAR Cerro de la Estrella, y zonas de chinampas.
- La Comisión de Cuenca Ríos Amecameca y La Compañía facilitaría proyectos estratégicos.

PROPUESTAS:

OBJETIVO 1. ALMACENAR Y APROVECHAR AGUA PLUVIAL EN SUSTITUCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

1. **Restauración del Lago Xico:** Para reducir explotación del acuífero en 5.1 m³/s.
2. **Restauración de 4180 has. de chinampas en Tláhuac y Xochimilco:** Para regular picos de lluvia y lograr uso ecoproductivo de 124 Mm³/año de aguas pluviales y residuales actualmente expulsadas.
3. **Saneamiento de cauces:** Se requiere entubar las aguas residuales, para que aguas pluviales y deshielos puedan correr a cielo abierto.
4. **Cisternas escolares y domésticas para aguas pluviales:** Apoyo para autoconstrucción de cisternas para enfrentar disminución de deshielos, por desaparición de los glaciares.

OBJETIVO 2: RECARGAR ACUÍFEROS CON AGUA PLUVIAL Y TRATADA

1. **Lagunas de infiltración de agua pluvial:** Sobre cauces de Ríos Amecameca y La Compañía, y al pie de barrancas de la Sierra Nevada.
2. **Recarga de acuíferos con aguas metropolitanas tratadas,** por PTAR de 1-3 m³/s en Mixquic, Llano de Chalco, Santiago Zula y Cocotitlán/Tlapala), con lagunas de infiltración y zonas de riego.
3. **Recarga con escurrimientos en ANP Ayaqueme,** provenientes del Río Amecameca, para reforzar pozos "Los Tlachiques".
4. **Composteo de residuos orgánicos metropolitanos** para disminuir uso de agroquímicos en zonas de recarga.
5. **Recarga de acuífero en zonas urbanas vía pozos de inyección,** con atención especial al norte y sur de Sta. Catarina, por sus severos hundimientos y grietas.
6. **Decretos de protección para zonas de recarga.**

OBJETIVO 3: REDUCIR LA DEMANDA

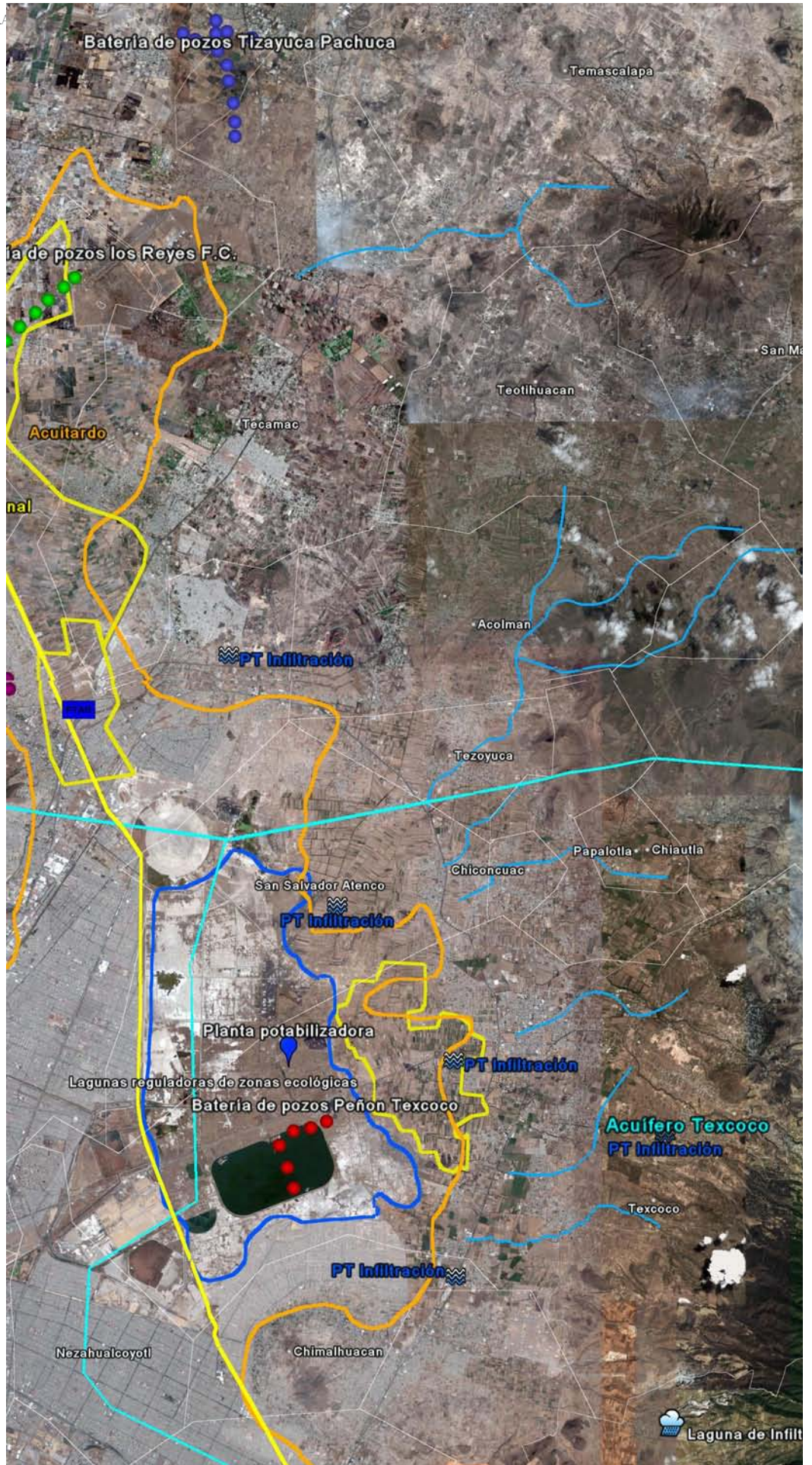
1. **Prevención de fugas.** Zona prioritaria, para interrumpir ciclo vicioso de sobreexplotación, hundimientos, ruptura de líneas, escasez.
2. **No autorización de cambio de uso de concesiones agrícolas a usos urbanos,** hasta que puedan ser rescatadas, al sustituirlas con aguas tratadas.

Zona Oriente

La franja de suelos agrícolas sobre zonas de recarga en la periferia de la zona urbana, representa la principal oportunidad para esta zona. Por un lado, una serie de plantas de tratamiento podrían tratar las aguas residuales metropolitanas, para lograr su infiltración en esta zona, vía lagunas y riego, para su posterior aprovechamiento. Además, existe la oportunidad de crear ciclos locales de tratamiento-recarga-extracción, a través de la rehabilitación anaerobia de las plantas de tratamiento de las unidades habitacionales, las cuales podrían infiltrar sus aguas tratadas a través de pozos de absorción.

En cuanto al manejo del agua pluvial, se requiere de un trabajo intensivo de recuperación de suelos y reforestación en la Sierra Río Frío, para frenar la masiva exportación de sus suelos, y el azolve de la infraestructura hidráulica cuenca abajo.

Se buscaría recargar los acuíferos con las aguas pluviales no infiltradas por las sierras y cerros de esta región, a través de lagunas de infiltración, en tierras agrícolas sobre las zonas de recarga, antes de su llegada a las zonas urbanas. Las aguas pluviales de las zonas urbanas impermeables, serían canalizadas a lagunas de infiltración en las zonas de recarga, ó, e su defecto, alimentarían la expandida zona lacustre de Texcoco.



II.ZONA ORIENTE

Prioridad 2: Escasez

Objetivo principal: Estabilizar los acuíferos con la infiltración de aguas tratadas

Acuíferos: Texcoco, Cuautitlán-Pachuca, Zona Metropolitana de Cd. de México

PROBLEMÁTICAS:

- Severa sobreexplotación (700%) del Acuífero Texcoco.
- Severo abatimiento de pozos de Acuífero Cuautitlán-Pachuca.
- Expansión urbana sobre últimas zonas de recarga de depósitos aluviales.
- Aguas residuales al aire libre en zonas urbanas (Gran Canal).
- Acelerada transmisión de pozos agrícolas a usos urbanos.
- Miles de nuevas viviendas con poco acceso al agua.
- Severo deterioro de masa forestal en cuenca alta; “exportación” de suelos y azolve cuenca abajo.
- Autorización de una “nueva ciudad” en Parque Nacional Zoquiapan.
- “PTAR El Salto” implicaría compromiso de expulsar aguas residuales a largo plazo.

FORTALEZAS, OPORTUNIDADES:

- Experiencia en gestión de cuencas de Universidad de Chapingo y Colegio de Posgrados.
- El Programa de Saneamiento propone saneamiento del Gran Canal, el cual facilita acceso a aguas residuales.
- Zona federal de recuperación ecológica en Texcoco.
- Existen extensivas unidades de riego con infraestructura.
- Comisión de Cuenca Texcoco, en formación, facilitará proyectos estratégicos.

PROPUESTAS:

OBJETIVO 1: FRENAR LA URBANIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA

1. Decretos de protección para zonas de recarga para suelos agrícolas sobre Depósitos Aluviales.
2. No autorización de cambio de uso de concesiones agrícolas a usos urbanos, hasta que puedan ser rescatadas, al sustituirlas con aguas tratadas.

OBJETIVO 2: RECARGAR ACUÍFEROS CON AGUAS TRATADAS

1. Rehabilitación de plantas de tratamiento aerobios. La habilitación de las PTAR de unidades habitacionales en desuso para el pre-tratamiento anaerobio, bajará sus costos de operación, y permitiría infiltración vía pozos de absorción, lagunas de infiltración y nuevas zonas de riego.
2. Infiltración de aguas metropolitanas tratadas vía lagunas y riego. Vía PTARs de 1-3 m³/s en Texcoco, Chicoloapan, Chimalhuacan, Atonitla, Tecámac.

OBJETIVO 3: RESTAURAR LA SUBCUENCA

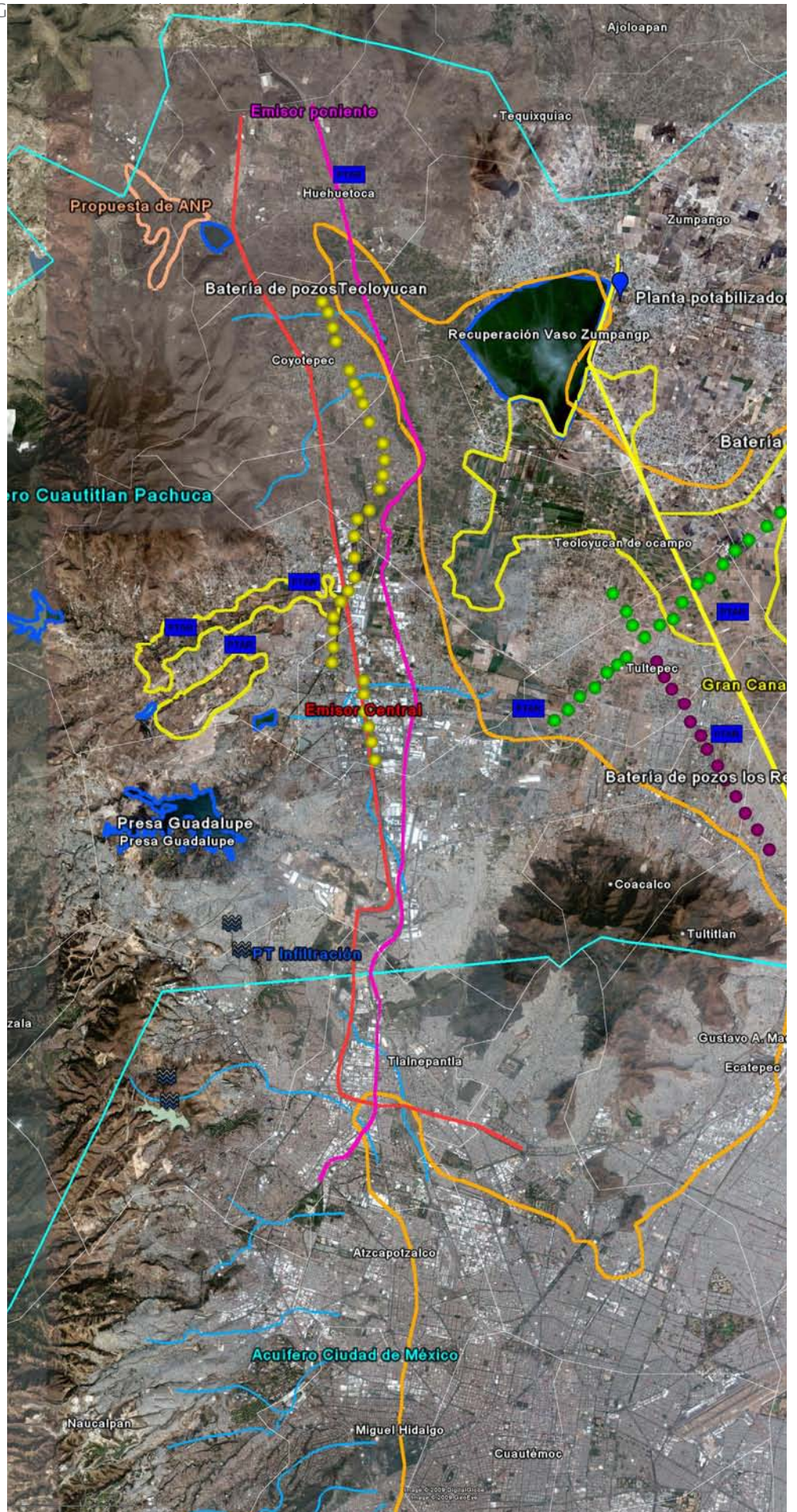
1. Programa de emergencia para recuperación de masa forestal y suelos en cuenca alta de Río Frío y otros cerros de esta zona.
2. Extender la zona lacustre de Texcoco. Formar nuevos lagos vía sobrebombeo, para expandir sus capacidades regulatorias de picos de lluvia, Se propone retomar los trabajos de restauración de la zona lacustre de Texcoco, propuestos por el Dr. Nabor Carrillo, con la formación de uno ó más nuevos lagos, a ser alimentados con aguas residuales del Gran Canal. Esta zona seguiría sirviendo su función regulatoria, recibiendo aguas pluviales de volúmenes extraordinarias.

Zona Poniente

Esta zona es rica en agua pluvial, especialmente el surponiente de la Cuenca, receptor de la mayor concentración de precipitación. Aunque la urbanización ha dañado la capacidad de infiltrar el agua pluvial que cae sobre la permeable Sierra Las Cruces, se podrá realizar la recarga intencional a través de represas en sus barrancas.

En el norte de Sierra Las Cruces, están funcionando 28 presas, las cuales no sólo sirven para infiltrar agua pluvial, sino permiten la potabilización de este valioso recurso. El Programa Hídrico de la Cuenca, propone potabilizar 1.0 m³/s de Presa Madín; y 2.0 m³/s de Presa Guadalupe. Los emisores podrían llevar agua pluvial de la zona urbana para su almacenamiento en el Vaso de Zumpango, cuya capacidad se propone expandir a 100 Mm³, lo cual permitiría reemplazar 5.1 m³/s de agua potable actualmente extraída del Acuífero Cuautitlán-Pachuca.

Se propone que las aguas tratadas de la zona poniente sean enviadas, a través de los emisores existentes, a plantas de tratamiento, las cuales recargarían el Acuífero Cuautitlán-Pachuca vía lagunas de infiltración y zonas de riego; éstas últimas tendrían que contar con decretos de protección.



III. ZONA PONIENTE

Prioridad 3: Vulnerabilidad por su dependencia en agua de Cutzamala y Lerma

Objetivo principal: Lograr ciclos hídricos: vía aguas pluviales captadas en barrancas del poniente, y vía recarga de aguas tratadas en suelos agrícolas del norte

Acuíferos: Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Cuautitlán-Pachuca

PROBLEMÁTICAS:

Sub-zona norte:

- Urbanización de últimas zonas de recarga en cuenca baja, y de zonas forestales.
- Contaminación y azolve de presas y vasos; Vaso de Zumpango en “peligro de extinción.”
- Aguas residuales corren al aire libre por zonas urbanas (Vaso El Cristo).

Sub-zona sur:

- Crisis en cuencas proveedoras;
- Excesivo consumo.
- Daños a capacidad de manejar picos de lluvia, por deforestación y urbanización de Sierra Las Cruces.
- Barrancas invadidas y contaminadas.
- Azolve de cuerpos reguladores.

FORTALEZAS, OPORTUNIDADES:

Sub-zona norte:

- Vasos y presas para almacenamiento de aguas pluviales.
- Extensivas Unidades de Riego sobre zonas de recarga.
- El Fideicomiso 1928 prevé proyectos p/manejo de aguas pluviales y residuales en esta zona.
- Sus presas están infiltrando agua.
- Masa forestal en cuenca alta en buen estado.
- Comisiones de Cuenca Presa Guadalupe, Presa La Concepción facilitarán proyectos estratégicos.

Sub-zona sur:

- Recibe mayor precipitación de la cuenca.
- Numerosos ríos, e iniciativas ciudadanas para recuperarlos.
- Altos ingresos de habitantes podrían ser captados para obras de rescate.
- Oportunidad de recargar agua pluvial vía barrancas sobre zonas de recarga.

PROPUESTAS:

OBJETIVO 1. ALACENAMIENTO Y POTABILIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES

1. **Recuperación del Vaso Zumpango.** Para reemplazar 5.1 m³/s agua subterránea, regular picos de lluvia.
2. **Potabilización de agua de Presas Guadalupe y Madín.**

OBJETIVO 2. INFILTRACIÓN DE AGUAS PLUVIALES VÍA BARRANCAS DEL PONIENTE

1. **Recuperación de Río Magdalena,** como experiencia modelo, para aprovechamiento y/o infiltración de escurrimientos.
2. **Saneamiento de barrancas, e instalación de represas y pozos de absorción.**

OBJETIVO 3. APROVECHAR AGUAS TRATADAS PARA REDUCIR SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO (SUB-ZONA NORTE)

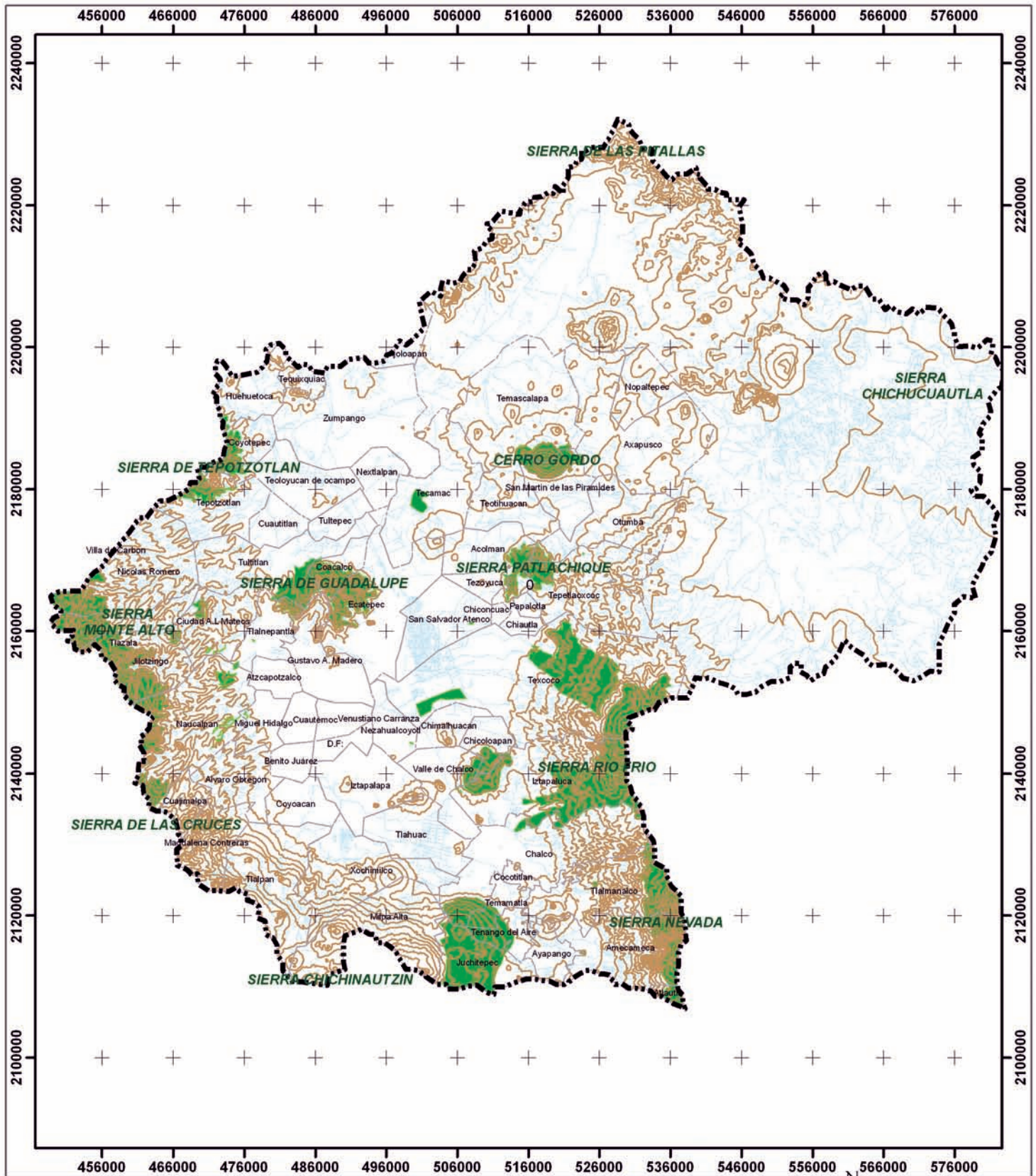
1. Reemplazar pozos agrícolas con aguas tratadas

El PSRAVM incluye plan para tratamiento de 11.5 m³/s de aguas residuales para el uso agrícola (PTAR): Berriózabal, 2.0 m³/s Nextlalpan, 9.0 m³/s; Zumpango 1.5 m³/s; Vaso El Cristo, 4.0 m³/s; Guadalupe, 0.5 m³/s.

Objetivo 4. Cambiar los patrones de consumo

1. **Campañas de sensibilización,** para cambiar patrones de uso, dado que son los niveles más altos de la ciudad, e impactan en la disponibilidad para otras zonas.
2. **Aumentar tarifas diferenciales.** Se requiere de estudios para determinar qué precio del agua permitiría reducir los niveles de uso en colonias residenciales.

MAPA DE LA CUENCA DE MÉXICO, CON LAS SIERRAS QUE LA DELIMITAN



Simbología

- Cuenca del Valle de México
- Áreas Naturales Protegidas
- Límites Mpaes y Del.
- Esgurrimientos
- Curvas de nivel



12.500 6.250 0 12.500 Metros

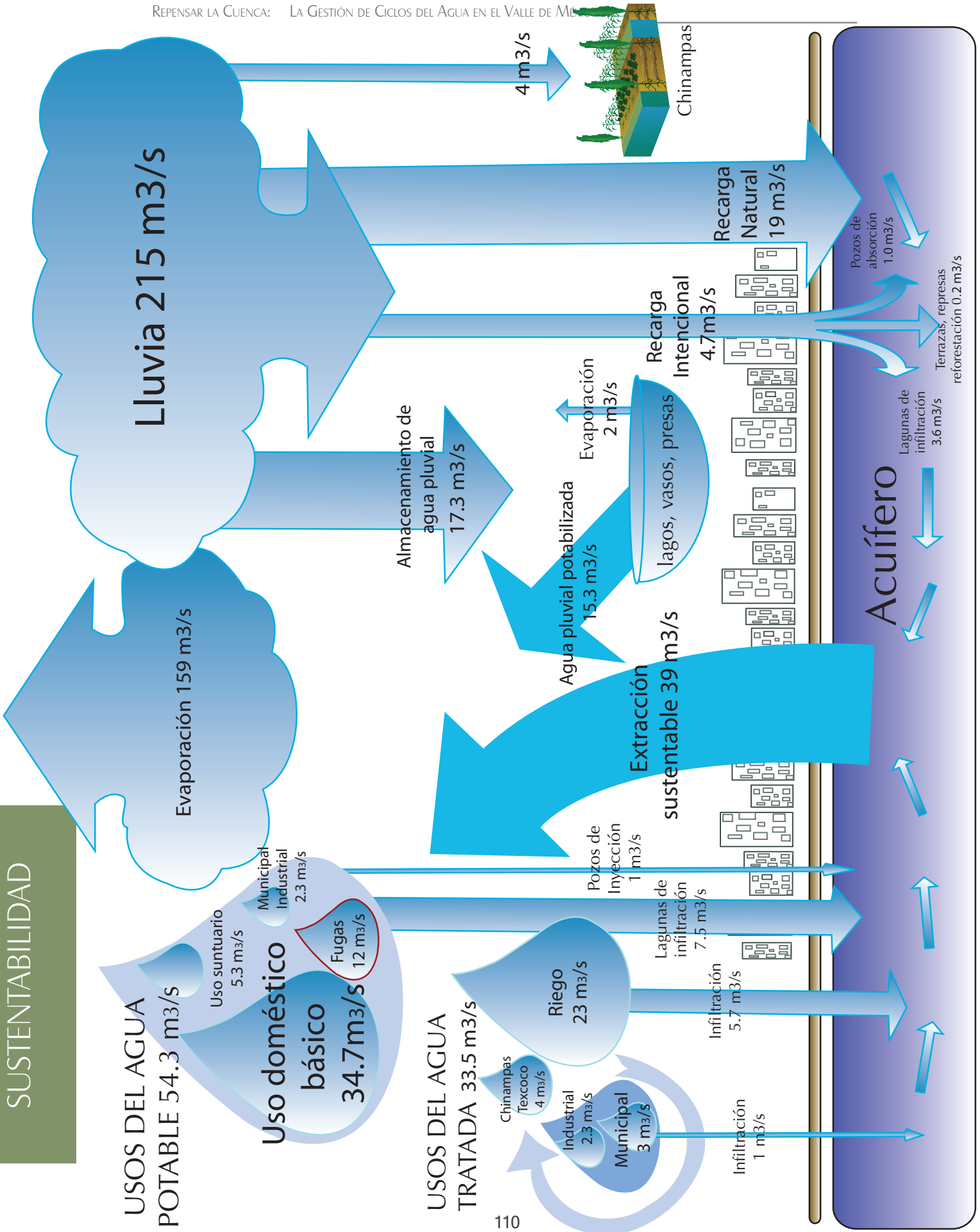




8. INVERTIR EN LA SUSTENTABILIDAD



SUSTENTABILIDAD



8. INVERTIR EN LA SUSTENTABILIDAD

La inversión en obras para la gestión de aguas pluviales y tratadas, permitiría reducir la actual dependencia de fuentes de agua no sustentables. Estas inversiones implican menos costos de inversión, operación y mantenimiento, que las obras de importación ó expulsión, además, puede realizarse por etapas, con los recursos disponibles, para así evitar el costo adicional del pago de intereses. Finalmente, gran parte de estas obras implican beneficios adicionales, como son la producción de energéticos y de alimentos, oportunidades recreativas, recuperación del paisaje y el rescate cultural.

La gestión del agua en la Cuenca de México, se encuentra en un momento determinante, en el cual los acuíferos no permiten mayores niveles de sobreexplotación, y la importación de cada vez mayores volúmenes de agua de otras cuencas se vuelve prácticamente incosteable. Por este motivo, el Programa para la Sustentabilidad Hídrica (Conagua, 2007), incluye propuestas basadas en la gestión de las aguas pluviales y tratadas en la propia cuenca, cuyos costos de inversión y operación son mucho menores que los costos de los macroproyectos de importación y exportación.

El actual estudio retoma y refuerza estas propuestas, convirtiéndolas en el centro de un paquete de obras, que buscaría satisfacer la totalidad de las necesidades hídricas de la cuenca a través de fuentes sustentables, incluyendo agua pluvial, escurrimientos y agua recargada natural ó intencionalmente. Se propone llegar a un equilibrio entre la demanda, por un lado, y la oferta sustentable, por el otro, de tal manera que cualquier aumento en la población en la cuenca, tendría que ser acompañado por un correspondiente aumento en la eficiencia del sistema. Esta gestión equilibrada de la cuenca y sus acuíferos representaría el garante de la seguridad hídrica ahora y a futuro.

Tabla 1 Sustentabilidad actual y potencial

Fuente	Vol. actual (m3/s)	Vol. Potencial (m3/s)
Explotación de la recarga natural	19.0	19.0
Explotación de la recarga artificial ¹	0	20.2
Agua pluvial	0	15.3
Aguas residuales tratadas ²	5.5	31.0 ³
Manantiales	2.7	2.7
Agua disponible para prevención de fugas	0	8.0
Aguas residuales no tratadas	5.5	0
Sobreexplotación de los acuíferos	40.0	0
Fuentes externas	19.7	0
Total	92.4 ⁴	96.2
Porcentaje agua obtenida de fuentes sustentables	29%	100%

1 Volúmenes recargables: con aguas tratadas: lagunas 4.5 m3/s, riego 5.8 m3/s, pozos inyección 1 m3/s; con agua pluvial: lagunas 3.6 m3/s pozos absorción 0.9 m3/s, cuenca alta 0.2 m3/s.

2 Se incluyen 5.5 m3/s de aguas actualmente tratadas en la Cuenca.

3 Incluye: reuso industrial 7.5 m3/s; riego agrícola 23 m3/s.

4 Incluye 81.9 m3/s concesionadas, más las aguas residuales reusadas, con ó sin tratamiento.

ANÁLISIS DE COSTOS POR FUENTE

El diseño del paquete de obras, se basó en una primera estimación de costos de las opciones disponibles para la obtención de agua (vea Anexo para hoja de cálculo), el cual incluyó: a) costo de inversión inicial, amortizado sobre un periodo de 20 años, sin incluir costo de financiamiento; b) costo anual de operación y mantenimiento; c) costo de obras e infraestructura adicional: infraestructura de riego, excavación de lagunas de infiltración, saneamiento de zonas de captación de agua pluvial, pozos de inyección, etc.; d) porcentaje infiltrable (en el caso de la recarga intencional); e) costo efectivo del recurso hídrico en el punto de entrega.

Tabla 2. Costo por metro cúbico de agua, por fuentes actuales y potenciales

Concepto	Vol. disp.	Costo por m ³
Lagunas de infiltración de agua pluvial, arriba de zonas urbanas	2.0	0.76
Lagunas de infiltración de agua pluvial, en zonas de captación que requieren de saneamiento	2.0	1.08
Conversión de PTARs en desuso a métodos anaerobios, p/infiltración vía lagunas	2.5	1.20
Pozos de absorción de agua pluvial	2.0	1.49
Conversión de PTARs en desuso a métodos anaerobios, p/infiltración vía riego	2.5	1.52
Agua tratada infiltrada vía lagunas, de nuevas PTARs anaerobias	4.0	1.52
Agua tratada infiltrada vía riego, de nuevas PTARs anaerobias	5.4	1.98
Potabilización de agua de Presa Guadalupe, Presa Madín, Vaso Zumpango	5.9	2.35
Agua tratada infiltrada vía lagunas, de nuevas PTARs aerobias, propuestas por Programa de Saneamiento (incluye 8% intereses sobre inversión), a 20 años	7.0	2.83
Potabilización de agua del Lago Xico (incluye costo de formación de bordes, saneamiento, tratamiento)	5.1	3.75
Potabilización de agua del Vaso de Zumpango, expandido (incluye Costo de recuperación de bordes, ampliación PTAR y potabilizadora)	2.5	4.37
Recuperación de volúmenes vía prevención de fugas, 1ª etapa	6.0	5.01
Pozos de inyección, con agua de PTAR Cerro de la Estrella	0.5	5.56
Agua importada del acuífero de Tula, sin incluir costo de tratamiento de aguas residuales infiltradas	5.0	5.90
Costo actual de agua de Sistema Lerma	4.8	6.00
Recuperación de volúmenes vía prevención de fugas, 2ª etapa	6.0	10.00
Cisternas p/captación escolar agua pluvial	0.1	10.46
Pozos de inyección, con aguas tratadas utilizando técnicas de potabilización de alta confiabilidad	2.0	10.78
Costo actual de agua de Sistema Cutzamala	14.8	11.00
Acuífero de Tula, incluyendo el costo del tratamiento de las aguas residuales expulsadas, para ser infiltradas (El Salto)	5.0	15.10 ⁵
Rehabilitación de Cutzamala	3.0	16.33

Ver anexo al final de esta publicación, hojas de cálculo utilizadas para generar estas estimaciones

1. INVERSIONES PARA DETERMINAR EL MODELO DE GESTIÓN DE AGUA EN LA CUENCA

El paquete de obras propuesto por el Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México (vea Tabla 3), está diseñado para: a) reducir el nivel de sobreexplotación de los acuíferos; b) prevenir posibles inundaciones con agua pluvial; y c) lograr el saneamiento.¹ Su costo total, a ser pagado en 20 años, sería \$58,769 millones, equivalente a la totalidad del presupuesto del pago de derechos al agua en bloque (manejado por Fideicomiso 1928) durante las próximas dos décadas.

El actual estudio, busca proponer algunos ajustes a este paquete, en aras de lograr mayores resultados con menos inversión, a través de obras que cumplan múltiples objetivos. Por ejemplo, en vez de invertir \$12 mil millones para la construcción de otro túnel más para desalojar aguas pluviales extraordinarias, se propone recuperar los lechos de los originales lagos, todavía no urbanizados, para almacenar, y luego potabilizar, el agua pluvial al interior de la cuenca. En vez de ubicar una enorme planta de tratamiento a la salida de la cuenca, se propone construir una serie de plantas de tamaño mediano (2-3 m³/s) sobre las zonas de recarga en los límites sur y oriente del área urbana, para recargar los acuíferos con las aguas tratadas, complementando las cinco plantas propuestas por el mismo Programa, para el norte de la cuenca.

¹ Conagua, Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México, 2007.

Tabla 3. Paquete de proyectos propuestos por el Programa para la Sustentabilidad Hídrica del Valle de México (Conagua, 2007)

Proyecto	M3/s	Inversión MDP	Operación y mantenimiento	Fuente
PTAR El Salto	23.0	7091	665	Financiamiento privado, a 20 años, con 6 a 8% de intereses, a solventar vía pago por m3 de agua tratada
PTAR Nextlalpan	9.0	3030	256	
PTAR Vaso El Cristo	4.0	2255	108	
PTAR Zumpango, 3º	2.5	503	67	
PTAR Zumpango, 2º	1.5	697	48	
PTAR Guadalupe	0.5	230	19	
PTAR Berriozábal	2.0	1059	78	
Gasoelectricas (57 MW)		1815	82	Financiamiento privado, a recuperarse vía cobro a PTAR
Potabilización Presa Guadalupe	2.0	527	103	Fideicomiso 1928
Potabilización Acuífero Tula	5.0	3311	420	
Potabilización Vaso Zumpango	2.5	595	127	
Potabilización Presa Madín	0.5	110	25	Organismo de Cuenca
Rehabilitación Sistema Cutzamala	3.0	3571	291	Organismo de Cuenca
Emisor Oriente y Plantas de Bombeo	0	11,995	0	Fideicomiso 1928
Sub-total	13	36,789 ¹	2290	
Costo de intereses para PTARs, a 7% de interés, por 20 años.		22,006 ²	0	Se incluirá en el pago garantizado (50% gob. Federal, 50% gob. D.F.) a empresas contratadas, por m3 de agua tratada
Total	13	58,795	2290	

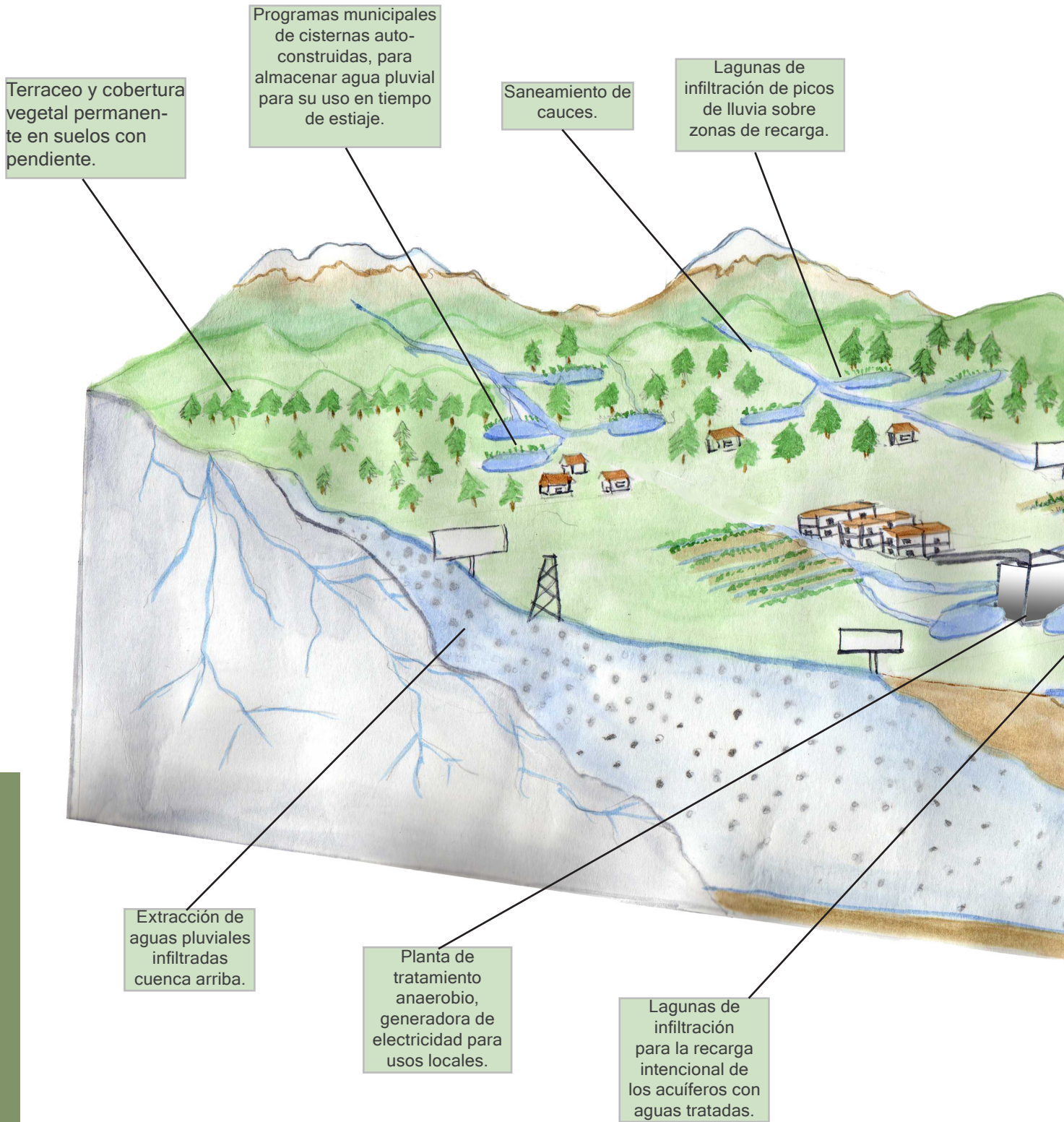
1 El Programa de Saneamiento menciona que esta cantidad no incluye los 600 MDP requeridos para el saneamiento del propio Valle de Mezquital (para no mandar agua limpia a canales con aguas residuales no tratadas) y los 3000 MDP requeridos para instalar infraestructura de riego en el Valle de Mezquital.

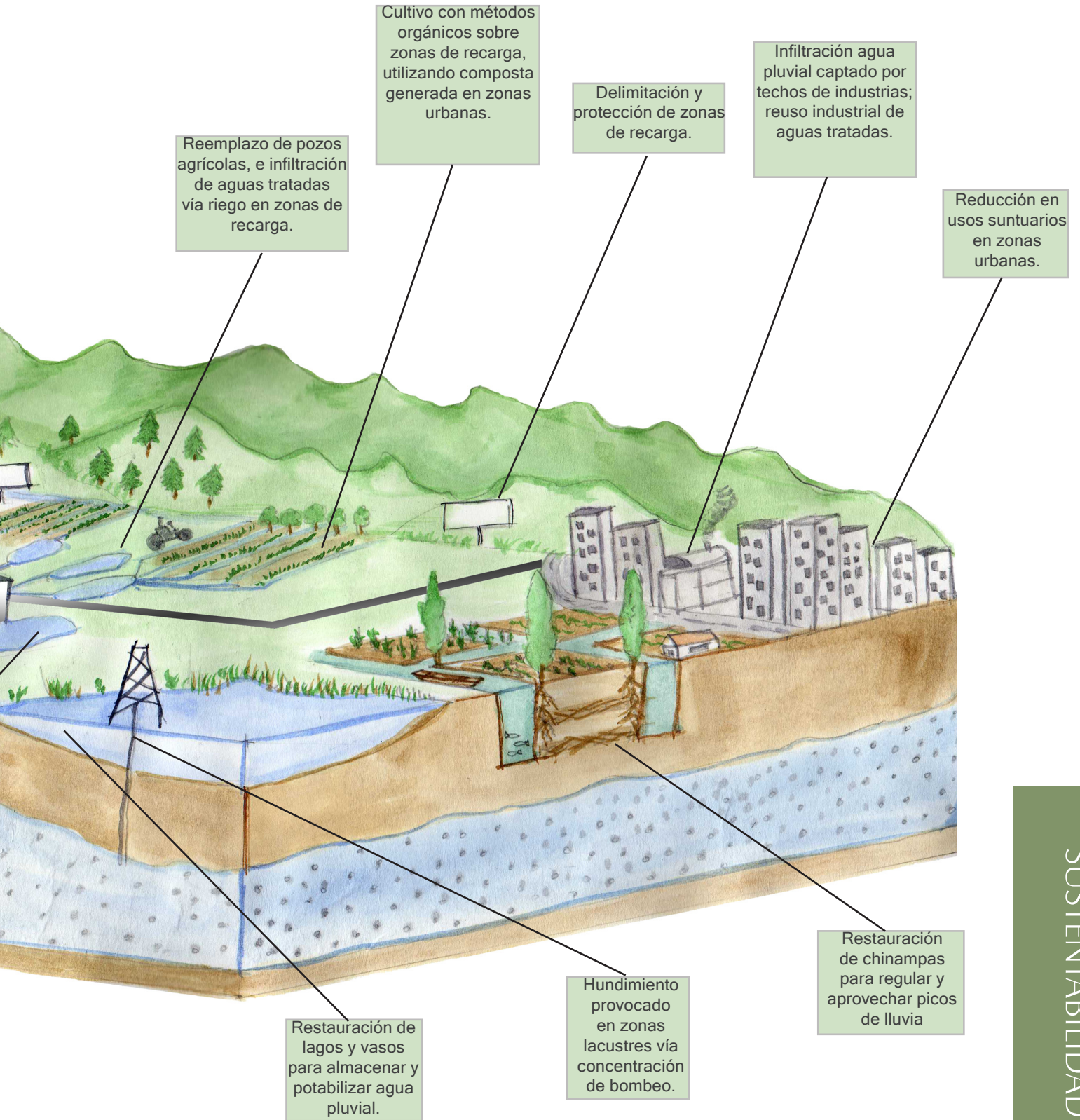
2 Programa de Saneamiento, Conagua, 2007.

Tabla 4. Paquete de proyectos propuesto para lograr la auto-suficiencia hídrica en la Cuenca de México

Las estimaciones de costos aquí presentadas representan primeros ejercicios, basados en obras similares. Sólo sirven como estimaciones del orden de magnitud, mientras que se realicen estudios para lograr mayor precisión.

Obra	M3/s agua	Inversión MDP	Op y mtto/ Año	Fuente propuesta
1. Almacenamiento y potabilización de aguas pluviales: Vaso Zumpango, Lago Xico, San Gregorio	11.8	12,000	515	Fideicomiso 1928
2. Potabilización: Presas Guadalupe y Madín	2.5	637	128	Fideicomiso 1928 (P. Guadalupe); Fondo Metropolitano, Org. de Cuenca (P. Madín)
3. Lagunas de infiltración de agua pluvial	5.4	800	112	Fideicomiso 1928
4. Expansión de zona lacustre de Texcoco; Recuperación de chinampas de Tláhuac-Xochimilco	0	4,000	0	Fideicomiso 1928. Gobierno del Estado de México (Texcoco); Gobierno del D.F. (Tláhuac-Xochimilco)
5. PTARs (14, de 2-4 m3/s cada una); 37 m3/s en total	11.6	9120	772	Fideicomiso 1928 y Fondo Metropolitano, dedicando 1000-3000 MDP al año, a la construcción modular
5.1. Lagunas de infiltración, para 7.5 m3/s aguas tratadas	0	560	6	Fideicomiso 1928.
5.2. Gasoelectricas para aprovechar biogás de 38 m3/s tratadas	0	6725	467	Fideicomiso 1928, Fondo Metropolitano para primeras plantas, cuyos ingresos ayudarán a financiar las demás plantas.
5.3. Rehabilitación de PTARs en desuso: 2 m3/s	1	120	14	Rehabilitación: Fideicomiso 1928; Op y Mtto.: Organismos operadores
5.4. Infraestructura p/nuevas zonas de riego, 5.4 m3/s	0	540	0	Conagua.
6. Prevención de fugas	8.0	1200	1200	CAEM, SACM, Fideicomiso 1928, Fondo Metropolitano
Total	40.3	35,702	3214	
Ingresos anuales por venta de electricidad y bonos de carbono			(3430)	





DESCRIPCIÓN DE OBRAS PROPUESTAS, CON COSTOS Y BENEFICIOS

A continuación, se presentan breves descripciones de la obra civil requerida para cada proyecto presentado en la propuesta alternativa, con una estimación de su costo (se indica con un asterisco, cuando no se cuenta con la información requerida para la estimación), y un resumen de los beneficios esperados.

1. Almacenamiento y potabilización de aguas pluviales

Proyecto	Obras y costos	Beneficios
Vaso Zumpango 18 km ² , 6 metros profundidad	Recuperación de aprox. 11 km bordes, para expandir capacidad de 40 Mm ³ actuales, a 100 Mm ³ . PTAR 2 ^a y 3 ^a : 2208 MDP; Potabilizadora 1094 MDP. Se requiere del saneamiento de zonas de captación.	Provisión de 5.0 m ³ /s de agua potable; regulación de picos de lluvia; riego; usos recreativos, piscicultura, rescate de concesiones en exceso al agua disponible, infiltración.
Lago de Xico, Chalco 13.25 km ² , 6 metros profundidad	Formación de 14.5 km bordes;* tanques de sedimentación en las entradas al lago; PTAR/ Potabilizadora: aprox. 1200 MDP. Se requiere del saneamiento de zona de captación.	Provisión de 5.3 m ³ /s de agua potable; regulación de picos de lluvia, prevención de grietas y hundimiento en la zona sur de la cuenca, prevención de expansión urbana sobre zonas inundables; prevención de expansión del lago sobre zonas urbanas; usos recreativos.
Lago San Gregorio, Xochimilco 6 km ² x 4 m profundidad; capacidad de almacenamiento: 25 Mm ³	Formación de aprox. 8 km bordes;* cajas de sedimentación en las entradas al lago; hundimiento provocado vía bombeo. PTAR/potabilizadora: Potabilizadora: 400 MDP saneamiento de cauces tributarios.	Provisión de 1.2 m ³ /s agua potable; frenar urbanización en una zona con escasez de agua y hundimiento, recreación, piscicultura

2. Potabilización Presas Guadalupe y Madín

Proyecto	Obras y costos	Beneficios
Potabilizadora de Presa Guadalupe	Se instalaría la capacidad de potabilizar 2.5 m ³ /s, 595 MDP	Provisión de 2.5 m ³ /s de agua potable. Permitirá la clausura de pozos y rescate de concesiones de uso público-doméstico, para aliviar el Acuífero Cuatitlán-Texcoco.
Ampliación de potabilizadora de Presa Madín	Se expandiría la capacidad actual de 0.5 m ³ /s a 0.1 m ³ /s., 110 MDP	Provisión de 1.0 m ³ /s de agua potable. Permitirá clausura de pozos y rescate de concesiones de uso público-doméstico, para aliviar el Acuífero Cuatitlán-Pachuca.

3. Lagunas de infiltración para agua pluvial

Proyecto	Obras y costos	Beneficios
Lagunas para infiltración de picos de lluvia captadas cuenca arriba de zonas urbanas, 280 hectáreas	Para infiltración de picos de lluvia arriba de zonas urbanas: Aproximadamente la mitad de las lagunas serían alimentadas por agua bajando de las sierras que rodean la zona urbana. Estas lagunas serían formadas con bordes temporales, a través de acuerdos con agricultores con parcelas en las zonas riberas. El agua sería canalizada por compuertas sobre cauces. 80 MDP.	Recarga intencional de 85 Mm ³ /año (2.7 m ³ /s) Prevención de inundaciones. Ahorro del costo y riesgo del desalojo vía bombeo de aguas pluviales. Representa la manera más económica para lograr la recarga intencional. Enriquecimiento de tierras agrícolas. Prevención de urbanización de las zonas de recarga.
Lagunas para infiltración de aguas pluviales captadas sobre zona urbana, 280 hectáreas	Para infiltración de picos de lluvia captadas en zonas urbanas: Se formarían un sistema extensivo de lagunas permanentes, vía excavación y/o bordes, sobre las franjas de recarga en la periferia urbana. Se adaptarían los sistemas urbanos de drenaje de aguas pluviales (Emisor Poniente, Canal Nacional, Gran Canal, etc.) para que se depositaran aguas pluviales en estas lagunas. Contarían con cárcamos de recepción y sedimentación, y, mientras avanza el saneamiento, plantas de tratamiento primario, y, en su caso, secundaria. 720 MDP. Se requiere del saneamiento de zonas de captación. (costo por estimar)	Recarga intencional de 85 Mm ³ /año (2.7 m ³ /s) Prevención de inundaciones. Ahorro de gran parte del costo y riesgo del desalojo vía bombeo de aguas pluviales.

4. Recuperación de chinampas; expansión de zonas lacustres ecológicas

Proyecto	Obras y costos	Beneficios
Recuperación de chinampas, 4180 has.	Dragado, desazolve y limpieza de canales, retiro de maleza, rehabilitación de chinampas hundidas, 1027 has. en Xochimilco; 2623 has. en Mixquic; 530 has. en Tláhuac. 2.000 MDP	Regulación de picos de lluvia. Producción de alimentos. Desarrollo rural. Creación de empleo. Rescate cultural. Recreación.
Expansión de zona lacustre ecológica de Texcoco	Creación de nuevos lagos a través de hundimiento provocado, 2.000 MDP	Regulación de picos de lluvia. Rescate de vida acuática originaria de la cuenca. Recreación.

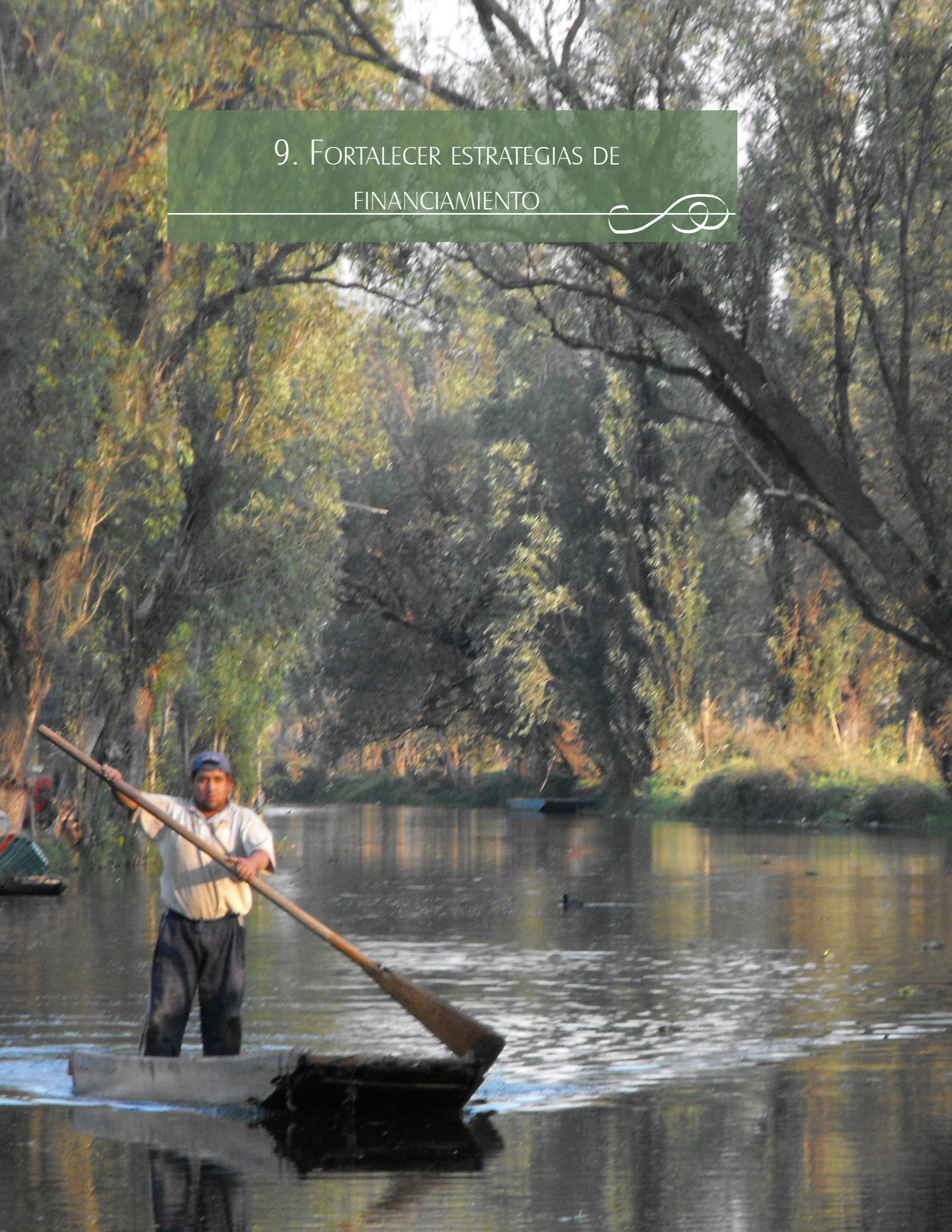
5. Tratamiento, aprovechamiento y recarga de aguas residuales

Componente	Obras y costos	Beneficios
Construcción de nuevas PTAR anaerobias, gasto de 38 m ³ /s	Plantas para el tratamiento anaerobio, las cuales ocupan menos superficie que PTAR aerobias, por consistir principalmente en tanques esbeltos y profundos, los cuales pueden ser subterráneos, 4.650 MDP. No incluye adquisición de terrenos requeridos, los cuales podrían ser negociados con ejidos que serían beneficiarios de las aguas tratadas. (El Ejido de Mixquic ya ofrece terreno.)	Recuperación de agua para riego (23.5 m ³ /s) y para recarga de los acuíferos (11.6 m ³ /s total); el empleo de técnicas anaerobias generará 6.4 más biogas, y 70% menos lodos; recuperación de biomasa para generación de electricidad (342 MW); venta de bonos de carbono (ingreso potencial: 1536 MDP anuales); producción de lodos estabilizados para mejoramiento de suelos; permitirá la clausura y rescate de concesiones para 12.6 m ³ /s de agua subterránea para usos agrícolas; permitirá tratamiento de 5.5 m ³ /s aguas residuales actualmente utilizadas para riego; generará 5.4 m ³ /s para nuevas zonas de riego.
Rehabilitación de PTARs en desuso, gasto de 2 m ³ /s	Adaptación de tanques existentes de PTAR aerobias de unidades habitacionales, para permitir pre-tratamiento anaerobio, 120 MDP (Basado en diseño técnico para 6 PTARs realizado por Monroy, O., para actual estudio)	Reducción en costos de operación y mantenimiento para permitir que sean financiables por organismos operadores locales; aprovechamiento de infraestructura existente; permite recarga cerca de pozos ubicados en áreas de severa escasez; existe posibilidad de "canjear" agua tratada e infiltrada por pago de agua extraída en bloque; fomentaría riego en zonas bajo fuerte presión urbana
Lagunas de infiltración, 280 has.	Cada una de las 14 PTAR contaría con cinco lagos, de 2 has. x 1 m profundidad cada una. Cada PTAR tendría que tener acceso a un tractor y arado, para romper posibles depósitos impermeables en los fondos de los lagos, cuando se secan para mantenimiento.	Infiltración de 6.8 m ³ /s (90% de los 7.5 m ³ /s recargados) en zonas de recarga, cerca de zonas de pozos actuales ó potenciales.
Gasoelectricas, 342 MW	Se construirían gasoelectricas (por PTAR, ó por subregión), para aprovechar el biogas generado por el tratamiento de 40 m ³ /s, a un costo de 7079 MDP.	Generación de 342 megawatts de energía eléctrica en base a fuentes sustentables; primeras gasoelectricas financiarían construcción de las demás, y luego cubrirían costo de operación y mantenimiento de PTARs
Infraestructura para nuevas zonas de riego, gasto 5.4 m ³ /s	Conversión de 13,500 has. de temporal en Unidades de Riego (2500 has. por m ³ /s), a través de la instalación de líneas primarias y plantas de bombeo, 540 MDP	Infiltración de 1.4 m ³ /s al acuífero; producción agrícola; conservación de usos agrícolas en tierras bajo presión urbana.

6. Prevención de fugas

Proyecto	Obras y costos	Beneficios
Prevención de fugas, 8 m ³ /s	Sectorización, instalación de tubería flexible en zonas de hundimientos diferenciales, 1.200 MDP	Potencial para disminuir la sobreexplotación de los acuíferos en 8 m ³ /s (si es acompañada por clausura de pozos, reducción en asignaciones).

9. FORTALECER ESTRATEGIAS DE FINANCIAMIENTO



9. FORTALECER ESTRATEGIAS DE FINANCIAMIENTO

Las propuestas para fortalecer el financiamiento del sistema de gestión de agua en la cuenca se enfocan, en primer lugar, en como reducir su costo, con atención especial a la necesidad de controlar el crecimiento urbano, y las oportunidades de financiar el tratamiento de aguas residuales a través de la generación de electricidad y la venta de bonos de carbono.

En segundo lugar, se requiere fortalecer los ingresos al sistema, casi todos los cuales, bajo el principio “el agua paga el agua”, son recaudados por los organismos operadores. Se necesita valorar el agua en bloque para usos público-urbanos, para financiar proyectos estructuradores a nivel metropolitano, para el aprovechamiento de aguas pluviales y residuales; y se necesita generar más recursos para las tareas adicionales que enfrentan los organismos operadores, como son la prevención de fugas y el saneamiento.

La aplicación de tarifas de “uso suntuario”, permitirían generar más recursos sin poner en peligro el derecho a volúmenes básicos del agua, y, a su vez, serviría para disminuir esta importante parte de la demanda hídrica. Finalmente, están surgiendo importantes iniciativas para lograr que el cuidado de las cuencas proveedoras de agua sea financiado como parte integral del servicio de agua potable.

Este capítulo se enfocará en primer lugar, en estrategias para reducir el costo de los sistemas hídricos de la cuenca, y en segundo lugar, en propuestas para aumentar los ingresos requeridos para la gestión hídrica en la cuenca.

I. Disminuir costos

Las estrategias para reducir el costo del sistema, se enfocarán en la necesidad de poner límites a su crecimiento, generar esquemas para financiar obras que no implican el pago de intereses, y aprovechar la biomasa contenida en las aguas residuales para reducir el costo de tratamiento.

1. FRENAR LA EXPANSIÓN URBANA NO SUSTENTABLE EN LA CUENCA

Un primer paso para poner techo al costo del manejo del sistema hídrico de la cuenca, es reconociendo y respetando los límites de la “capacidad de carga” de la cuenca, siendo el número de habitantes que la cuenca puede sostener con agua de fuentes sustentables.

El Futuro del Agua en el Valle de México de la Conagua, prevé que, al seguir las tendencias actuales, para el año 2025, la cuenca contaría con 23.4 millones de habitantes, y la demanda por el agua habrá aumentado de los 81.4 m³/s actuales, a 107 m³/s. En este escenario de planeación, aún con la inversión de \$88.8 mil millones para nuevas fuentes de agua, quedaría

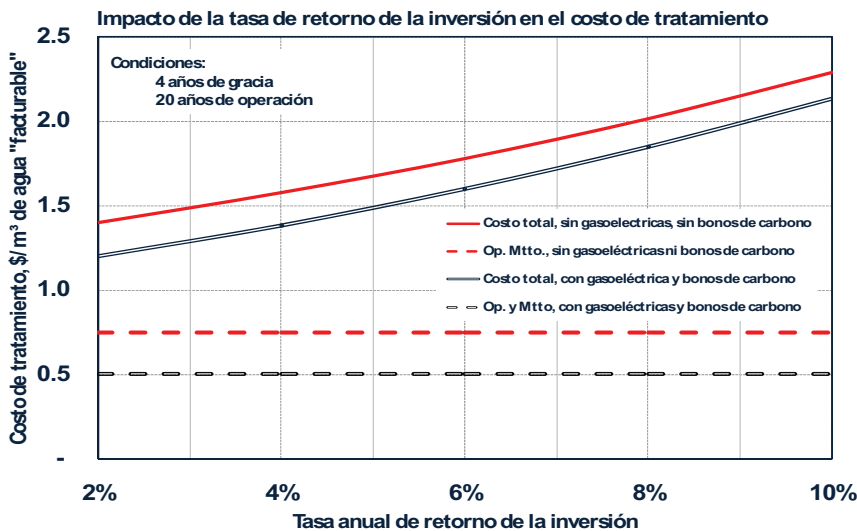
una demanda por 9.8 m³/s de agua todavía no satisfecha, y casi un millón de personas no contarían con agua potable.¹

Dicho documento pregunta si es viable “continuar con el crecimiento desmedido de la mancha urbana”, a través del “fomento de desarrollos inmobiliarios, y nuevas áreas urbano-industriales contra el manejo ecológico de la cuenca.”

En cumplimiento con su mandato de lograr el uso equilibrado de los acuíferos, el Organismo de Cuenca del Valle de México, puede decidir no autorizar solicitudes para el cambio de uso de concesiones agrícolas ó industriales a usos público-urbanos, para así frenar el crecimiento urbano, hasta que se logre un equilibrio entre la oferta y la demanda del agua.

2. REALIZAR INVERSIONES CON RECURSOS DISPONIBLES, POR ETAPAS

La construcción de infraestructura realizada a través del endeudamiento, ó a través de contratos para la prestación de servicios con términos similares a los ofrecidos a los licitantes para la planta de tratamiento “Atotonilco” (El Salto)², implican el pago de intereses sobre la inversión original, lo cual termina duplicando el costo del proyecto. Como ejemplo, las plantas de tratamiento propuestas por el Programa de Saneamiento, terminarán costando a los usuarios \$46,800 millones, aunque su inversión inicial sería solo \$24,794, debido a que el precio que los gobiernos están comprometiendo a pagar, cubre el costo de intereses a las empresas contratadas, a lo largo de 20 años.³



Gráfica 1. Impacto de la tasa de intereses en el costo del tratamiento de aguas residuales

22. Costo del agua tratada y tasas de retorno Fuente: Conagua, Atotonilco, 2008

Esta gráfica, tomada de la “Memoria del Proyecto PTAR Atotonilco”⁴, describe el impacto de la tasa de intereses en el precio que los usuarios y el sector público, serán cobrados por el tratamiento del agua.

1 Conagua, El Futuro del Agua en el Valle de México. México, D.F.: 2007.
 2 Conagua, “Documentos de licitación para “la prestación de servicios de tratamiento de aguas residuales del Valle de México por 25 años, que incluye la elaboración del proyecto ejecutivo, construcción, equipamiento electro-mecánico, pruebas, operación, conservación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales denominada PTAR Atotonilco...””, 2008.
 3Se tendría que cubrir, adicionalmente, \$2,290 millones para costos de operación y mantenimiento.
 4 Conagua, “Memoria del Proyecto PTAR Atotonilco”, 2007.

Afortunadamente, a diferencia de los sumamente costosos proyectos de importación ó expulsión, la infraestructura requerida para la gestión subregional de aguas pluviales y residuales, puede ser construida y puesta en marcha por etapas, con los recursos disponibles, así evitando el costo adicional de intereses.

3. ESQUEMAS PARA FINANCIAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La percepción del agua como un bien desechable, ha hecho que el tratamiento de aguas residuales sea considerado como un deber difícil de financiar, y fácil de ignorar. Pero ahora que el tratamiento y recarga empiezan a ser valorados como estrategias para obtener agua a futuro, surgen mecanismos innovadores que permiten que el tratamiento de aguas residuales se vuelva casi auto-financiable. El tratamiento anaerobio es clave a estas estrategias, no solo por su bajo costo, sino por el metano que genera.

Generación eléctrica

La “Memoria del Proyecto Atotonilco”, prevé que la empresa que construiría y operaría la planta gasoelectrica en El Salto, recuperará su inversión en cinco años, utilizando solamente el metano generado por procesos de tratamiento aerobios-anaerobios. Como se vio en el capítulo “Tratamiento”, el procedimiento anaerobio convierte el 82% de los residuos orgánicos en biogás (principalmente metano), en contraste con solo 20% en el proceso aerobio-anaerobio, y por lo tanto, este método genera 6.4 veces más energía.⁵

Así es que el tratamiento anaerobio de los 40 m³/s de aguas residuales generadas de la cuenca, generaría energía eléctrica con un valor anual (según precios actuales) de \$1,894 millones, mientras que, con métodos aerobio-anaerobios, su valor anual sería \$295 millones.⁶

Como se ve en la Tabla 1, el valor potencial anual de la electricidad generada en base a los 40 m³/s de aguas residuales de la cuenca, utilizando métodos anaerobios, sería \$2,388 millones (en precios de 2008), mientras que el costo de operación y mantenimiento de las PTAR y sus gasoelectricas, sería \$1,264 millones al año, permitiendo un ingreso anual neto de \$2,166 millones. Tomando en cuenta que el costo de la energía eléctrica ha aumentado más de 1,000% en los últimos 13 años, se ve las claras ventajas de una estrategia en la cual tanto la planta de tratamiento, como su gasoelectrica, fueran manejados por organismos públicos.

5 Según Monroy, 2008, el método anaerobio genera 128 kwh y consume 6 kwh de electricidad por cada 100 kg de carbono en las aguas residuales, para una generación neta de 122 kwh. El método aerobio-anaerobio utiliza 44 kwh y genera 63 kwh por cada 100 kg carbono tratado, para una generación neta de 19 kwh.

6 Según el Programa de Saneamiento (Conagua, 2007), el proceso aerobio consumiría 18.9 Mw por año, lo cual, a un costo de \$0.88/unidad, significaría \$146 millones de pesos al año en energía eléctrica. El costo de su gasoelectrica sería \$452 millones, para un costo total final de 20 años, con una tasa de 8% de interes, o sea, 1,060 millones.

Venta de bonos de carbono

El Protocolo de Kyoto, instrumentado a partir de 2005, tiende a buscar que en el año 2012, la generación de gases con efecto invernadero (GEI, principalmente bióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno y HFCs), por parte de los países industrializados, sea 95% del nivel de su generación en 1990. Las empresas ó países que rebasan los límites de emisiones establecidas por el Protocolo, pueden comprar créditos, ó bonos, de empresas ó países que realizan proyectos que reducen la presencia de estos gases en la atmósfera.

El tratamiento anaerobio de la materia orgánica (ó biomasa) en las aguas residuales, genera grandes volúmenes del gas metano (CH₄). Este gas tiene un efecto invernadero 21 veces mayor al del bióxido de carbono (CO₂), siendo el gas para el cuál se calcula el valor de los bonos de carbono. Por lo tanto, la combustión de cada tonelada de metano para la producción de energía eléctrica, permite la venta de 21 bonos de carbono.

La Conagua estima que la PTAR Atotonilco (El Salto), utilizando métodos aerobios-anaerobios, tendría el potencial de reducir la emisión de un equivalente a 5.29 millones toneladas de CO₂ por año.⁷ Esto implicaría que las seis plantas de tratamiento podrían generar, en su conjunto, un ingreso adicional de \$256 millones al año a través de la venta de bonos de carbono.⁸ Si se utilizara métodos anaerobios de tratamiento, el valor total de la venta de bonos de carbono sería \$1,536 millones por año.

Tabla 1. Inversiones requeridas, e ingresos potenciales, para el tratamiento de aguas residuales en la cuenca, utilizando métodos anaerobios

Propuesta de infraestructura	Inversión MDP	Operación y manteni- miento (MDP)
Costo de PTARs anaerobias para tratamiento de 40 m ³ /s aguas residuales	9,120	772
Gasoelectricas para aprovechar biogás de 40 m ³ /s aguas tratadas (342 MW)	7,079	492
Costo total de inversión, operación y mantenimiento	16,199	1264
Valor de electricidad generada por gasoelectricas		1,894
Venta de bonos de carbono		1,536
Subtotal: Ingresos anuales		3,430
Total, ingresos anuales, después de costos de O & M		2,166

Metodología:

Se realizó la estimación con el supuesto de que la construcción de las plantas anaerobias costarían el 60% de lo que costaría las aerobio-anaerobias.

Se utilizaron las estimaciones de la presentación de la Conagua a la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 2008, y del Programa de Saneamiento, Conagua 2007 (p. 72-74): US\$1.5 millones/MW para construcción de plantas gasoelectricas; costo de operación y mantenimiento, US\$.015/kwhr. Se usó tipo de cambio: US\$1 = 13.8 pesos.

- 7 Según los cálculos realizados en Conagua, Atotonilco, 2008, al convertir 27,796 toneladas/año CO₂ a metano, el cual tiene un potencial de calentamiento global 21 veces mayor. Aquí, se extrapola el valor calculado por la Conagua en base al tratamiento aerobio-anaerobio, para considerar el valor total de bonos que resultarían del tratamiento anaerobio de los 40 m³/s.
- 8 Según la "Memoria del Proyecto PTAR Atotonilco", en marzo 2008, se podría vender bonos de carbono por \$270/tonelada (16.5 euros).

Aunque el costo de la construcción de las gasoelectricas es casi igual al costo de las plantas de tratamiento, en el caso métodos anaeróbios, el valor de la energía generada, es suficiente para cubrir el costo total del tratamiento. Se propone la construcción de plantas de tratamiento, con sus respectivas gasoelectricas, por etapas, de tal manera que los ingresos de las plantas iniciales puedan ayudar a financiar las plantas posteriores.

II. Aumentar ingresos

En esta sección, se tratará de varias estrategias para lograr la valoración del agua y para financiar el conjunto de obras y tareas requeridas para su provisión.

MECANISMOS DE COBRO

Hay dos niveles de recaudación de recursos por concepto de la provisión del agua. El primero, se podría decir, es “por mayoreo”, a través de los pagos de derechos al agua en bloque que realizan los titulares de las asignaciones (en el caso de los gobiernos estatales ó municipales), ó las concesiones (en el caso de particulares). La tarifa del agua en bloque es determinada por la Legislatura Federal, vía la Ley Federal de Derechos,⁹ tomando en cuenta recomendaciones de la Conagua, y del Organismo y el Consejo de Cuenca correspondiente.¹⁰

Estos derechos son cobrados por la Conagua para la realización de obras hidráulicas. A partir del año 2004, en la Cuenca de México, estos recursos han sido manejados a través del Fideicomiso 1928, en el cual los gobiernos del Estado de México y el D.F. son fideicomitentes; la Conagua preside y sirve como coordinador técnico (ver próximo capítulo).

El cobro del agua al usuario final, se realiza a través de las tarifas recaudadas por los organismos operadores, siendo, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México en el Distrito Federal, y en el Estado de México, los organismos operadores municipales (ODAPAS), con asesoría de la Comisión de Agua del Estado de México.

El Código Financiero del Distrito Federal, y el Código Financiero del Estado de México y Municipios¹¹, determinan las tarifas a cobrar, con la excepción de los cabildos municipales que logren justificar otras tarifas mayores ó menores.

EL FINANCIAMIENTO DE LOS ÁMBITOS DE GESTIÓN HÍDRICA

El sistema de gestión hídrica integral comprende tres ámbitos de responsabilidades, presentadas en la Tabla 2. A continuación, se explorará las opciones disponibles para fortalecer el financiamiento de cada uno de estos ámbitos.

⁹ Artículo 12 Bis 6, Ley de Aguas Nacionales.

¹⁰ Artículo 9, XXVIII, Ley de Aguas Nacionales.

¹¹ La reciente reforma al Artículo 139 del Código Financiero del Estado de México y Municipios, determina que las tarifas deben cubrir los servicios.

Tabla 2. Mecanismos de cobro y financiamiento para ámbitos de responsabilidades en relación con la gestión de ciclos del agua

Sistema	Organismo ó instancia responsable	Ámbito de responsabilidades	Mecanismo de cobro y financiamiento	% re-cursos p/gestión hídrica ¹
Extracción, distribución, recolección, depósito	Organismos operadores	Manejar el agua potable y pluvial desde su punto de recepción ó extracción hasta su depósito en un cuerpo receptor	Recaudación de usuarios finales	50%
Obras estructura-doras a nivel metropolitana y de cuenca	Comité de Agua y Drenaje del Área Metropolitana: Conagua, SACM, CAEM	Infraestructura y sistemas para captación de agua pluvial, tratamiento de aguas residuales, y recarga intencional de acuíferos, a nivel de cuenca	Fideicomiso 1928 (Cobro de derechos a titulares de concesiones); Fondo Metropolitano (presupuesto federal)	49%
Gestión de cuenca, subcuencas y acuíferos	Organismo, Consejo y Comisiones de Cuenca; COTAS; agricultores; ejidos y comunidades forestales	Coordinar múltiples tareas hídricas y territoriales que garanticen acceso permanente a agua de calidad	Presupuesto federal Pagos de servicios ambientales hídricos (cobrados a usuarios)	1%

¹ Porcentajes basados en las siguientes estimaciones: \$3 mil millones ingresos anuales para Fideicomiso 1928, más \$600 millones aportados del Fondo Metropolitano; \$3.7 mil millones ingresos anuales (estimación no confirmada) por parte del SACM, CAEM y organismos operadores del Estado de México, después de su pago de \$600 millones al Fideicomiso 1928 por concepto de derecho al agua en bloque; 30 millones ejercidos por Fideicomiso Forestal de ProBosque, y otra cantidad similar (estimación no confirmada) por parte de la Conafor del Fondo Forestal, para pagos de servicios ambientales hídricos; más \$1 millón para cada una de seis gerencias de cuenca, subcuenca ó cotas.

LA VALORACIÓN DEL AGUA EN BLOQUE

En la Cuenca de México, la zona de mayor escasez hídrica por cápita en el país, la provisión de agua en bloque es una tarea cada vez más costosa y difícil. La importación del agua por el sistema Cutzamala, cuesta más de \$10 por metro cúbico, y el costo de los daños a vivienda e infraestructura causados por la sobreextracción de los acuíferos, es inestimable.

Según las reformas de 13 noviembre 2008 a la Ley Federal de Derechos, el cobro por el agua en bloque para usos público-domésticos en la Zona 1, en donde se ubica la Cuenca

de México,¹² es 0.38219 por metro cúbico;¹³ en 2007, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, pagó una tarifa de \$0.763/m³ por este concepto.^{14 15}

La subvaloración del agua en bloque, resulta en numerosas distorsiones en su gestión, incluyendo: desperdicios; y la fragmentación del sistema, al no manejar a nivel metropolitano y de cuenca, el valor total de los recursos para garantizar acceso al agua.

Además, con la aplicación del principio “el agua paga el agua”, queda cada vez menos claro cómo se podrá mantener este subsidio.

Actualmente, existe una dependencia desproporcional en los ingresos provenientes de los usuarios industriales. Como se ve en la siguiente tabla, los recursos cobrados al sector industrial, representan la mayoría de los recursos recaudados en la cuenca, aunque su uso representa solo el 5.6% del uso total.

Tabla 3. Cobro por derechos al agua en bloque, por sector

Uso	Vol (m ³ /s)	Mm ³ /año	Cobro por el agua en bloque, por m ³ ¹	Cobro anual (MDP)
Doméstico	64.7	2040	0.32819	670
Industrial	4.6	145	16.5665	2,403
Agrícola	12.6	397	0	0
Total	81.9	2582		3,073

1 Ley Federal de Derechos, con reformas del 13 noviembre 2008. Nota que el SACM reporta el pago de 1,099 MDP por agua en bloque en 2007.

La valoración del recurso para usos industriales está incentivando grandes saltos de eficiencia por parte de este sector. Empresas como Jabones Corona y Kimberly Clark de México, están reusando sus propias aguas tratadas; otras están ayudando a financiar la rehabilitación de plantas de tratamiento de organismos operadores, como en el caso de PTAR

12 La Zona 1, siendo la de menor disponibilidad del agua en el país, incluye: el Distrito Federal; los siguientes municipios en el Estado de México: Atizapán de Zaragoza, Chalco, Chiconcuac, Chimalhuacán, Coacalco, Cuautitlán, Cuautitlán-Izcalli, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, Melchor Ocampo, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, La Paz, Tecámac, Tepotzotlán, Texcoco, Tlalnepantla de Baz, Tultepec, Tultitlán y Valle de Chalco Solidaridad; y los siguientes municipios en el Estado de San Luis Potosí: Cerro de San Pedro, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

13 Artículo 223, Ley Federal de Derechos

14 Gobierno del D.F., Gabinete de Desarrollo Sustentable, “Análisis Programático 2007: 24. Agua Potable”.

15 El SACM está pagando derechos para 45.6 m³/s de agua en bloque, cuando el volumen total para usos público-domésticos en la cuenca es 64.7 m³/s, y se supone que el Estado de México cuenta con el mayor número de habitantes. El SACM está pagando \$0.763/m³ para agua en bloque, cuando la tarifa, según la LFD, es \$0.382.

LOS CONSEJOS DE CUENCA TENDRÁN A SU CARGO: COADYUVAR EN LOS ESTUDIOS... PARA PROPONER LOS MONTOS DE LAS CONTRIBUCIONES DE LOS USUARIOS EN APOYO AL FINANCIAMIENTO DE ... LA GESTIÓN REGIONAL DEL AGUA Y LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DE ECOSISTEMAS VITALES;...

Artículo 13 Bis 2, XIV, XV, de la Ley de Aguas Nacionales

Santa Bárbara, Ixtapaluca. Otros se reubican a regiones de mayor disponibilidad del recurso hídrico, en donde el agua para uso industrial cuesta hasta 13 veces menos.

En vez de rescatar los volúmenes ahorrados por los usuarios industriales para disminuir los costos económicos y ambientales del sistema, estos volúmenes están siendo adquiridos por las constructoras de unidades habitacionales. Por lo tanto, se mantiene los mismos niveles de importación y sobreexplotación, pero los ingresos percibidos por el pago de derechos, son mucho menores. Además, la calidad de las aguas residuales es inferior, debido a que las industrias han sido más vigiladas, que los organismos operadores.

Además, la desvaloración del agua en bloque está sirviendo como un desincentivo para la prevención y reparación de fugas. Actualmente, se pierde 24 m³/s (754 Mm³/año) de agua potable en fugas, en el manejo de agua para usos público-domésticos en la Cuenca de México, siendo un volumen mayor al agua importada por los Sistemas Cutzamala y Lerma. El cobro por esta agua en bloque, es mucho menor de lo que se tendría que gastar para prevenir y reparar las fugas, estimado en 5.0 pesos/m³.¹⁶

Un problema fundamental para el financiamiento de la gestión de cuenca, es el crónico incumplimiento con los pagos del derecho al agua en bloque, por parte de los organismos operadores en el Estado de México. Este problema tiene sus raíces en las debilidades en el marco institucional que rige estos organismos, las cuales incluyen su falta de autonomía frente al presidente municipal en turno, siendo un tema que rebasa el ámbito del actual estudio.¹⁷

Finalmente, la desvaloración del agua en bloque, no está permitiendo generar los recursos requeridos para lograr la gestión sustentable del agua en la cuenca y sus subcuencas.

Tabla 4. Cobro por agua en bloque, comparado con las tarifas e ingresos de los organismos operadores

Organismo operador	Pago por m ³ agua en bloque	Cobro por m ³ , p/usuarios de vol. básico	Cobro por m ³ (1000 ls/hab/día)
SACM	\$0.3815	\$3.64	\$31.35
Org. Op.	\$0.3815	\$7.10	\$17.62

Fuente: Elaboración propia, en base a tarifas oficiales de 2009 y Análisis Programático GDF 2007.¹⁸

¹⁶ Perló, Manuel, 2006.

¹⁷ Para mayor información sobre el desempeño de organismos operadores: El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua está construyendo un Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores, el cual permitirá la comparación entre organismos operadores en aspectos de recursos humanos, técnico-operativos, administrativos, de servicio al cliente y financieros. Vea: www.pigoo.gob.mx.

¹⁸ Se aplicó proporcionalmente a los cuatro principales estratos de usuarios, las tarifas actuales, como sigue (cobro anual): Para el D.F., \$894 para 1711 mil familias de estrato popular; \$1338 para 400 mil familias de sector medio; \$9162 para 73 mil familias de sector medio alto; \$17,598 para 38 mil familias de sector residencial. Para Estado de México: \$1746 para 1711 mil familias del estrato popular, \$2274 para 400 mil familias del estrato medio \$10,698 para 73 mil familias del estrato medio alto, y \$17,268 para 38 mil familias del estrato residencial.

En fin, la valoración del agua en bloque para usos público domésticos, será clave para:

- Incentivar mejoras en la eficiencia, especialmente en la prevención y reparación de fugas, y cambios en los patrones de distribución;
- Amortiguar el impacto financiero de aumentos en la eficiencia del sector industrial;
- Fortalecer mecanismos de colaboración a nivel metropolitano, de cuenca y subcuenca, para las obras que garanticen el acceso futuro a agua limpia;
- Cumplir con el principio de “el agua paga el agua”, eliminando la necesidad de subsidios;
- Contar con los recursos necesarios para no verse obligado a recurrir al endeudamiento;
- Crear incentivos para que los organismos operadores ayuden a reducir la demanda, a través de medidas que disminuirán los usos suntuarios, y cerrarán paso a proyectos de urbanización no sustentables.

FORTALECIMIENTO DE LAS RECAUDACIONES DE LOS ORGANISMOS OPERADORES

La aplicación del principio “el agua paga el agua”, coloca a los organismos operadores, como sistema único de cobro para usos urbanos, en un papel central para la recaudación y canalización de recursos para el buen funcionamiento del sistema hídrico entero. De su capacidad de recaudación, depende el financiamiento no sólo de sus propias áreas de responsabilidad, sino de las obras estructuradoras a nivel metropolitano, y de las múltiples actividades requeridas para que la cuenca provea la cantidad y calidad de agua requerida.

Además, la transición hacia un sistema de gestión sustentable amplía el ámbito de responsabilidades de los organismos operadores, requiriendo mayores inversiones en:

- La prevención y reparación de fugas,
- Entubamiento de aguas residuales, y otras obras de saneamiento;
- Obras locales para aprovechamiento de agua pluvial;
- Plantas de tratamiento y esquemas de recarga ó reuso locales.

Se estima que la entrega de un metro cúbico de agua al usuario final, cuesta al organismo operador entre 5 y 11 pesos, sin incluir el costo de las tareas adicionales arriba mencionadas. Sin embargo, el cobro efectivo, siendo la recaudación real, por metro cúbico, por parte del SACM es 3 pesos.¹⁹

COBRO POR USOS Suntuarios

Los organismos operadores se encuentran en la difícil situación de estar obligados a aumentar sus ingresos, sin que esto implique excluir algunos de sus usuarios de este servicio fundamental, por la falta de capacidad de pago. En esta sección, se presentará la propuesta, desarrollada anteriormente por Oscar Monroy y Eugenio Gómez, de establecer dos tarifas, una para usos básicos y la otra, para el uso suntuario del agua.

¹⁹ Este estudio no cuenta con información en cuanto al cobro efectivo de los organismos operadores de los municipios del Estado de México ubicados en la Cuenca de México.

Según Jiménez (2005), el 77% de los usuarios de agua en la cuenca, viven con menos de 150 litros por habitante por día. El precio de este volumen básico es poco flexible, dado que el 66% de los habitantes del área metropolitana, ganan dos salarios mínimos ó menos (s.m. = \$54.80/día). Actualmente la tarifa para volúmenes básicos implica el pago de \$2/día por familia en el D.F.; y \$5/día por familia en el Estado de México. Esta tarifa podrá aumentarse solo hasta cierto punto, antes de que empezara a impactar la capacidad de adquirir la canasta básica, con serias consecuencias económicas y sociales.²⁰

Se señala aquí, entonces, la conveniencia de establecer una tarifa accesible que garantizaría el acceso a los 150 litros/habitante/día, recomendados por la Organización Panamericana de la Salud. Aunque esta tarifa no representa el costo total de la provisión del recurso, la Ley de Aguas Nacionales propone que usuarios eficientes, siendo en este caso, los habitantes que utilizan menos de 150 litros por día, sean “acreedores a incentivos económicos, incluyendo los de carácter fiscal”.²¹

El 17.1 m3/s de los 64.7 m3/s de agua dedicada al uso público-doméstico es utilizada por lo que se podría llamar “usos suntuarios”, o sea, usos en exceso a los 150 litros/habitante/día. Este volumen, equivalente a la totalidad del agua importada del Sistema Cutzamala más la mitad del Sistema Lerma, representa la principal oportunidad para disminuir la demanda del agua, y para aumentar los recursos recaudados para los organismos operadores y para la gestión del agua a nivel metropolitano (vía Fideicomiso 1928) y de la cuenca (esquemas para financiar la gestión hídrica-territorial).

Tabla 5. Proporción del agua de uso público doméstico dedicado a usos suntuarios.

Volúmenes utilizados por sector público-urbano	Volumen utilizado	37% fugas	Volumen total requerido
Provisión de 150 l/hab/día a 20 millones habitantes	34.7	12.8	47.5
Uso doméstico suntuario	12.5	4.6	17.2
Total uso público doméstico	47.2	17.4	64.7

En contraste con el volumen dedicado a los usos básicos, el precio del uso suntuario podría aumentarse seriamente antes de tener un impacto sensible en las economías familiares de los usuarios, dado que se trata del 23% de los domicilios de mayores ingresos. Actualmente, una familia que utiliza 500 litros por persona por día, solo paga 28 pesos por día en el D.F. (\$6.2/persona), y 30 pesos por día (\$6.7/persona) en el Estado de México.

Aunque actualmente el D.F. y los organismos del Estado de México cuentan con tarifas escalonados, se notará en la Tabla 7, que las tarifas no demuestran una clara política de reducir los volúmenes dedicados a usos suntuarios, ni de aprovechar este uso para financiar las obras requeridas para generar un sistema hídrico sustentable.

20 En este sentido, vale la pena notar que la estructura más regresiva de tarifas en el Estado de México ha sido acompañado por una alta tasa de morosidad en los pagos por concepto de agua.

21 Artículo 14 Bis 5 XVIII, de la Ley de Aguas Nacionales.

Tabla 7. Tarifas del agua en el Distrito Federal y el Estado de México, por nivel de uso, en 2009²²

Litros por habitante por día	% hab./ nivel de uso	M3 por bimestre (familia 4-5 personas)	D. F. Cobro bimen. 2009 ¹	Edo. de México cobro bimen. ² 2009	Distrito Federal Precio por m3	Estado de México Precio por m3
100		27	61	201	2.25	7.44
150	77% ⁴	41	149	291	3.64	7.10
186	18%	51	223	379	4.37	7.43
200		54	253	411	4.70	7.61
250		67.5	387	577	5.73	8.55
300		81	592	691	7.32	8.53
400		108	1087	1131	10.07	10.47
468	4%	128	1527	1783	11.94	13.93
500		135	1708	1851	12.65	13.71
664	2%	182	2,933	2878	16.11	15.81
1000		270	5,935	4261	21.98	15.78
2000		540	16,928	9513	31.35	17.62
3000		810	28,500	13,462	35.18	16.62
4000		1080	40,483	18,217	37.48	16.87
5000		1350	52,708	25,907	39.04	19.19

1 Código Financiero del Distrito Federal, 2009.

2 Municipio de Cuautitlán, Estado de México, Gaceta de Gobierno, 18 Diciembre 2008.

3 La alta tarifa para los niveles básicos de uso en el Estado de México podría corresponder a la mayor valoración del recurso dado la prevalencia de la escasez (cuesta menos que el agua en pipa); sin embargo, valdría la pena revisarla, dado las bajas tasas de cumplimiento con el pago del agua en esta entidad.

4 Se adaptó el trabajo de Blanca Jiménez Cisneros, en "El agua en el Valle de México", Páramo, 2005, ajustando los volúmenes usados para alcanzar el volumen total de agua (64.7 m3/s) utilizada por el sector público-urbano.

Fuente: Elaboración propia, en base al Código Financiero del D.F. 2009, y Gaceta de Gobierno del Estado de México, 18 diciembre 2008.

La siguiente tabla (Tabla 8), resume las políticas diferenciadas que podrían orientar los derechos ó tarifas cobradas a cada tipo de uso del agua en la Cuenca.

22 Según Hugo Contreras Zepeda, "Organismos Operadores de Agua en México, Situación y Estrategias de Mejora", la Conagua informa que, la recaudación nominal (los recursos realmente captados) en las capitales estatales por cobro de servicio de agua en el 2000, fue en promedio 2.16 pesos por m³, con los extremos siendo representados por Cuernavaca, Tepic y Mérida, con una recaudación de \$0.5/m³, y Toluca y Monterrey, con una recaudación de \$6.5 y 5.1/m³, respectivamente.

Tabla 8. Propuesta de políticas para orientar las estrategias de cobro, por uso.

Usos	Volumen total dedicado (m3/s)	Vol. meta	Política que orientaría estrategia de cobro
Uso doméstico básico	47.5	47.5	Garantizar, a precios accesibles
Uso doméstico suntuario	17.2	8.6	Disminuir en 50%, y aprovechar p/financiar obras p/la sustentabilidad
Uso industrial	4.6	2.3	Incentivar continuas mejorías de eficiencia
Uso agrícola	12.6	0	Mantener sin cambio de uso, hasta que se pueda reemplazar con aguas tratadas
Total	81.9	58.4	Disminuir nivel de uso total en 29%

Fuente: Elaboración propia, en base a balances Conagua, 2008.

Los cambios en las tarifas para usos suntuarios, podrían ser acompañados por intensivas campañas de concientización, dirigidas hacia la población de mayores niveles de consumo, para que estos usuarios puedan, por un lado, comprender el costo económico y ambiental de sus patrones de uso, y por otro, apreciar las obras para la gestión de cuenca, que sus tarifas estarían financiando. Se podría instrumentar campañas para que los habitantes de zonas residenciales, rehabiliten sus sistemas de plomería, para lograr la separación y reuso de sus aguas grises para el riego de jardines, ó el lavado de coches.

La aplicación de tarifas para usos suntuarios, diseñados para incentivar reducciones en los niveles de consumo, podría aumentar en un 60% los ingresos de los organismos operadores (vea anexo B del actual estudio), así permitiéndolos asumir no solo las obras pendientes que les corresponden, sino creando las condiciones para que puedan canalizar recursos a las obras y tareas requeridas para garantizar el acceso permanente al agua potable.

EL FINANCIAMIENTO DE LA GESTIÓN DE CUENCA

Hay un creciente reconocimiento de que la provisión de agua potabilizable, involucra un conjunto complejo de actores, que incluyen las autoridades que garanticen que no se urbanicen las zonas de recarga; los agricultores que utilicen prácticas que retengan sus suelos y no impliquen el uso de agroquímicos dañinos; los habitantes que

“SERVICIOS AMBIENTALES”: LOS BENEFICIOS DE INTERÉS SOCIAL QUE SE GENERAN O SE DERIVAN DE LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS Y SUS COMPONENTES, TALES COMO REGULACIÓN CLIMÁTICA, CONSERVACIÓN DE LOS CICLOS HIDROLÓGICOS, CONTROL DE LA EROSIÓN, CONTROL DE INUNDACIONES, RECARGA DE ACUÍFEROS, MANTENIMIENTO DE ESCURRIMIENTOS EN CALIDAD Y CANTIDAD, FORMACIÓN DE SUELO, CAPTURA DE CARBONO, PURIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA, ASÍ COMO CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD.

Artículo 3, XLIX, de la Ley de Aguas Nacionales

generan menos contaminantes; los gobiernos locales que confinan los contaminantes; y los ejidos y comunidades forestales que mantienen sus bosques para infiltrar el agua pluvial y prevenir azolves cuenca abajo.

Con la transición hacia un sistema hídrico basado en la gestión de ciclos del agua, se aumentan las responsabilidades de estos actores. Para que puedan cuidar conjuntamente el agua que pasa por sus tierras y comunidades, se requieren de espacios de coordinación (lo cual es tema del próximo capítulo) y de recursos económicos.

En la última década, han surgido una variedad de experiencias relacionadas con la recaudación y aplicación de recursos para el buen manejo de las zonas proveedoras del agua, aplicables a la Cuenca de México. En todas estas experiencias, el sistema de cobro de los organismos operadores sirve como el canal para que los usuarios del agua aporten recursos para la realización de estas vitales tareas.

PROGRAMAS DE PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES HÍDRICOS

Los Programas de Pagos por Servicios Ambientales Hídricos, están diseñados para crear mecanismos locales, para que una porción del pago por el servicio del agua se destine al cuidado de las cuencas proveedoras de recursos hídricos.²³

El Fondo Forestal Mexicano de la Comisión Nacional Forestal

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, estableció el Fondo Forestal Mexicano para desarrollar mecanismos de cobro y pago de bienes y servicios ambientales forestales. En el año 2003, se estableció el Programa de Pagos de Servicios Ambientales Hídricos, con recursos recaudados por el cobro de agua en bloque²⁴ a los usuarios industriales y de servicios, por parte de la Conagua,²⁵ Para el año 2006, 600,576 has. estaban inscritas en el programa.

Este programa ha servido para establecer el concepto de “servicios ambientales”, y para sentar las bases para mecanismos para financiar las tareas de las cuales depende la provisión de agua potabilizable a poblaciones. Además, el Fondo Forestal Mexicano está preparando el camino para la futura venta de bonos de carbono por parte del sector forestal.

En su etapa inicial, la distancia entre el mecanismo de recaudación (deducciones obligatorias del pago de derechos, a nivel federal) y el canal de los pagos (realizados a través de las

²³ La Ley de Desarrollo Rural Sustentable Artículo 3, XIV, define el Desarrollo Rural Sustentable como “El mejoramiento integral del bienestar social de la población y de las actividades económicas en el territorio comprendido fuera de los núcleos considerados urbanos..., asegurando la conservación permanente de los recursos naturales, la biodiversidad y los servicios ambientales de dicho territorio. Los Art. 22 y 32 prevén que el pago de servicios ambientales como una vía para promover el desarrollo rural sustentable. también reconoce la importancia de los servicios ambientales e incorpora este aspecto al Programa Especial Concurrente.

²⁴ Principalmente de usuarios industriales, dado que su nivel de cobro es más de 50 veces mayor de la tarifa para usos público-domésticos, Art. 223, Ley Federal de Derechos.

²⁵ El Artículo 223, de Ley Federal de Derechos establece las cantidades asignadas al Fondo; en su primer año fueron 200 millones, en años posteriores, se ha dedicado 300 millones.

Gerencias Estatales), hicieron que estos recursos fueran percibidos por parte de sus beneficiarios más como un subsidio gubernamental, que como el pago de un servicio realizado.

²⁶, ²⁷, ²⁸, ²⁹

En su etapa actual, con el apoyo del Banco Mundial y del Global Environmental Facility de las Naciones Unidas, este Programa buscará crear mecanismos (“mercados”) locales, que permitirán que los usuarios del agua aporten recursos para el cuidado de los bosques en su propia cuenca ó subcuenca. Se buscará establecer una relación más clara entre las inversiones en el mantenimiento de los bosques en cuenca media y alta, y la cantidad y calidad de agua recibida por zonas urbanas cuenca abajo.

Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México

El Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México, forma parte del Programa de Desarrollo Forestal Sustentable 2005-2025. Su fideicomiso fue establecido el 11 de agosto de 2007, financiado con la aportación de 3.5% del monto total del cobro del agua.³⁰ Está conformado por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, la Dirección General de ProBosque, la Secretaría de Finanzas, y organismos operadores de agua. Este Programa tomó su inspiración del Fondo Pro-Cuenca de Valle de Bravo, diseñado por el Ing. Ignacio Pichardo Pagaza.

Se realizan pagos de \$1,500 por hectárea para reforestaciones y el cuidado de bosques naturales, dentro y fuera de áreas naturales protegidas. En esta etapa, sólo los bosques que no están bajo un Programa de Manejo Forestal son elegibles. Se requiere contar con un Plan de Manejo del predio, que describe los cuidados que se realizarán. Se dan prioridad al Nevado de Toluca y Valle de Bravo, y, en la Cuenca de México, la región de los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl. Bosques que cuentan con decretos como Santuarios del Agua, recibirán atención especial. El Programa se inició en 2008, con la selección de 127 predios, con una extensión total de 16,913 has. El presupuesto anual del programa es 30 millones actualmente.

Fondo Agua, Bosques y Cuencas, del Estado de Veracruz

El 19 octubre 2005, el Gobierno de Veracruz formó el Fideicomiso Público para la Conservación, Restauración y Manejo del Agua, de los Bosques y las Cuencas del Estado de Veracruz. Este fideicomiso busca que los recursos del Fondo Forestal de la Conafor, sirvan como semilla para una mezcla de fondos, citando la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Art 5): “Los recursos ... serán depositados en el Fondo Forestal Mexicano... A

26 Durante sus primeros años, solo 14% de los predios en el programa estaban situadas en áreas con acuíferos sobreexplotados, solo 20% estaban en zonas en riesgo de deforestación

27 “Evaluación de consistencias del programa ProArbol 2007”. Semarnat-Conafor. Elaborado por el Centro internacional de Estudios Estratégicos S.C

28 2Gef Project Loan for environmental Services. September 27th 2005

29 Memoria del Taller de Pago por Servicios Ambientales en México: Situación actual y objetivos de futuro”. 18 y 19 de Julio 2007. Manuscrito.

30 Decreto No. 94 Capítulo Tercero, 2008.

las entidades federativas y del Distrito Federal que constituyan fideicomisos forestales, se les podrá depositar los recursos correspondientes a los apoyos de los beneficiarios en dichos fideicomisos...”



Imagen 1. Fondo Agua, Bosques y Cuencas, del Estado de Veracruz

Para acceder a los recursos, los ejidatarios forestales tienen que organizarse en comités por microcuenca, subcuenca y/o cuenca, compuestos de autoridades, poseedores de recursos naturales y organismos de la sociedad civil, y tienen que contar con un plan de ordenamiento.³¹ Los comités a cada nivel de manejo de cuenca, apoyan y asesoran a los niveles de menor escala, así logrando una articulación de los procesos de planeación e instrumentación.

Desafortunadamente, la puesta en marcha de este Fondo, ha sido pospuesta por la necesidad de llegar a acuerdos entre los distintos niveles de gobierno.

ProFauna, A.C.

En la Cuenca de Zapalinamé en Coahuila, la asociación civil ProFauna ha generado una experiencia piloto de un mecanismo local, para apoyar el cuidado del área natural protegida proveedora de su agua. En 2001, ProFauna, que cuenta con el comodato para el cuidado de la cuenca alta, apoyado por el proyecto “Cuencas y Ciudades” del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y la Fundación Gonzalo Río Arronte, llegó a acuerdos con el Cabildo de Saltillo y el organismo operador local, Aguas de Saltillo, para permitir el cobro de aportaciones voluntarias en los recibos de agua en la ciudad.

En sus ocho años de funcionamiento, este esquema ha logrado que 10% de los usuarios se comprometan con donativos bimensuales al cuidado de la cuenca de Zapalinamé. Debido a que las aportaciones son voluntarias, este programa ha tenido que realizar un trabajo pionero en la concientización de la población. El Grupo de Ciudadanos de Apoyo organizan visitas guiadas al área natural protegida, para escuelas y la población en general; y ProFauna mantiene campañas en la radio, televisión y prensa.³²

³¹ Sus comités de cuenca no son registrados con, ni reconocidos por la Conagua.

³² El enfoque en la concientización es relevante no solo para lograr aportaciones para el cuidado de zonas proveedoras del agua, sino para la valoración del agua en general. En este sentido, se podría mencionar que el Odapas de Ixtapaluca, en donde hay extrema escasez del agua, logró disminuir el porcentaje de usuarios morosos cuando cambiaron el perfil de sus cobradores, a promotores, quienes daban talleres a los niños en las escuelas primarias en el municipio.

La Ciudad de Nueva York y la Cuenca Catskills/Delaware

En el año 1997, la Agencia para la Protección del Ambiente (Environmental Protection Agency, USEPA) aprobó un acuerdo, permitiendo que la Ciudad de Nueva York, no tuviera que construir una planta de filtración, con un costo potencial de US\$8 mil millones, además de US\$400 millones en costos anuales de operación. El gobierno de la ciudad negoció una propuesta alternativa: invertiría US\$1.5 millones a lo largo de diez años en un programa intensivo para mejorar condiciones en la Cuenca Catskills/Delaware, de donde provenía el agua superficial que abastecía la ciudad.³³

Fideicomiso

Administración

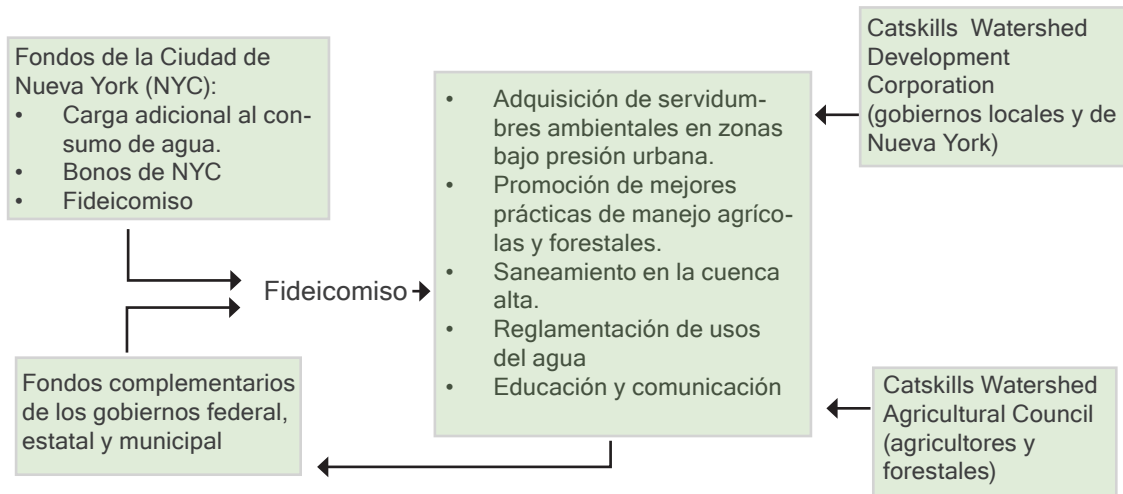


Figura 3. Estructura del mecanismo de financiamiento y administración del sistema de compensación por servicios hidrológicos de la Ciudad de Nueva York en las cuencas Catskill/Delaware.

Este programa fue tan exitoso, que al final de sus primeros 10 años de funcionamiento, en 2007, la EPA extendió la exención de su mandato otros 10 años más, con nuevas metas. El programa incluye: la compra de servidumbres ambientales (pagos únicos, realizados a cambio de garantías legales permanentes de no cambiar los usos de suelos agrícolas ó forestales); programas para la instalación de fosas sépticas seguras; programas para el desarrollo y reproducción de mejores prácticas agrícolas y forestales; asesoría para el buen manejo de aguas pluviales; y un fondo para el fomento de PYMES “verdes”. Actualmente, el Consejo Agrícola de Catskills está realizando una campaña “Compra Catskills”, para que los usuarios del agua de la cuenca, apoyen a los productores que están cuidando su zona proveedora de agua.

33 U.S.Environmental Protection Agency, “Final New York City Filtration Avoidance Determination. Surface Water Treatment Rule Determination for New York City’s Catskill/Delaware Water Supply System.”, July 2007.

Conclusiones

Existen múltiples oportunidades para lograr la sustentabilidad económica del sistema hídrico. Por un lado, es vital controlar el tamaño y costo del sistema, frenando el crecimiento urbano no sustentable; construyendo obras por etapas con recursos propios para evitar el pago de intereses; escogiendo alternativas que implican un bajo consumo de energéticos; logrando el financiamiento total ó parcial del tratamiento de aguas residuales a través de la generación eléctrica y la venta de bonos de carbono.

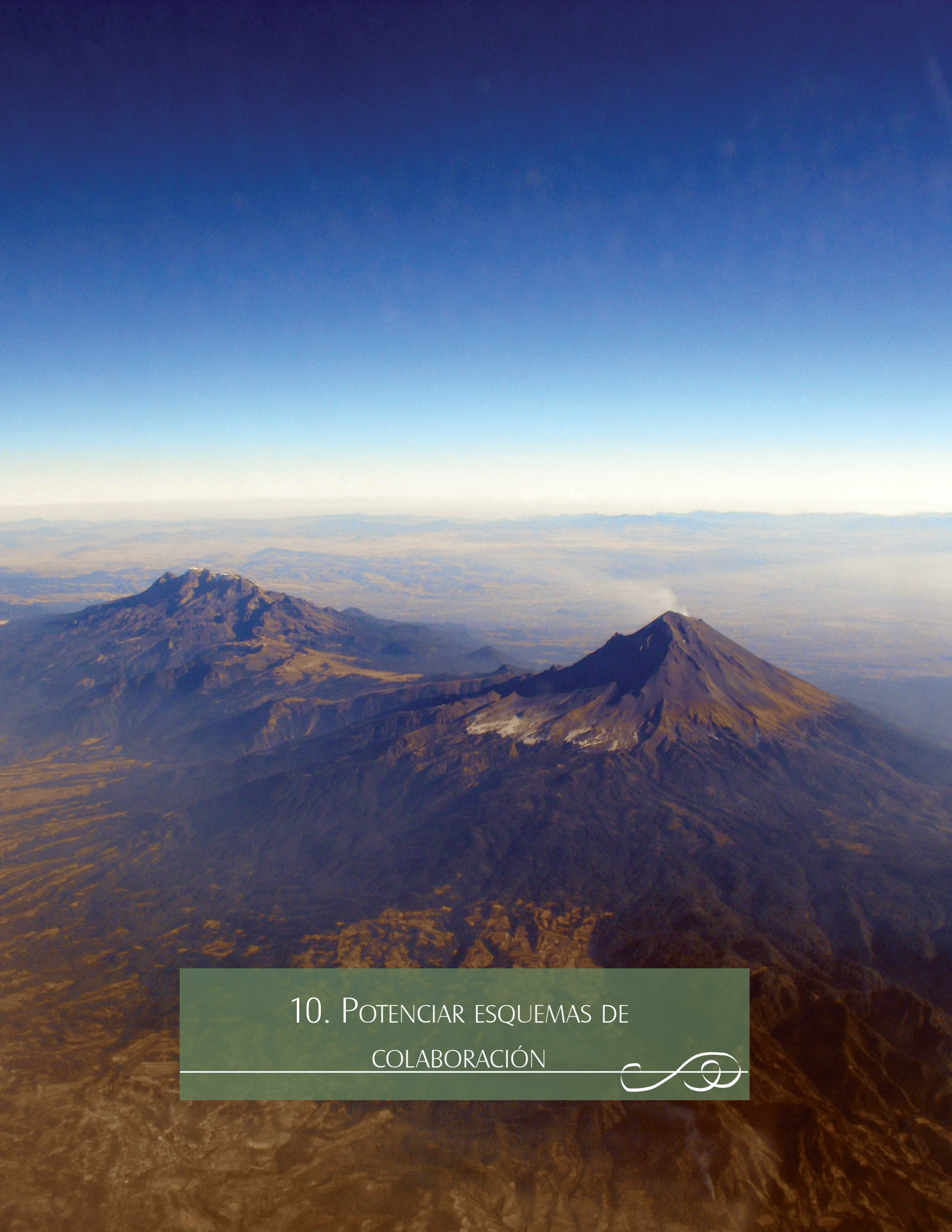
Por el otro lado, en aras de aplicar el principio “el agua paga el agua”, existen oportunidades para aumentar los ingresos para cada uno de los tres ámbitos de gestión hídrica, siendo: la coordinación metropolitana para obras estructuradoras; los organismos operadores responsables de distribución y recolección; y las incipientes instancias que se están responsabilizando por la gestión de subcuencas proveedoras de agua.

En cuanto al primero, se requiere valorar el agua en bloque para usos público-urbanos, para garantizar el financiamiento de las obras estructuradoras requeridas para el aprovechamiento de las aguas pluviales y residuales. Esta estrategia, a su vez, requiere una mayor captación de recursos por parte de los organismos operadores, quienes, a su vez, enfrentan el reto de financiar la prevención de fugas, además de esquemas locales de aprovechamiento de aguas pluviales y residuales. La aplicación de altas tarifas para usos suntuarios no solo fortalecería sus ingresos, sino que ayudaría a cambiar patrones de uso para que sean más compatibles con la realidad hídrica de la cuenca.

Finalmente, están surgiendo una gama de experiencias para financiar el cuidado de las cuencas proveedoras de recursos hídricos; todos pasan por los organismos operadores, a través del recibo bimestral del agua. El Fondo Forestal Mexicano está sentando las bases para el desarrollo de mecanismos locales, en donde los usuarios apoyarán a los trabajos de las comunidades forestales en sus propias cuencas ó subcuencas, y para la futura gestión de bonos de carbono.

El Fondo para Servicios Hidrológicos del Estado de México, a través de la recaudación estatal, realizada a través de los organismos operadores, está apoyando a ejidos forestales para la instrumentación de programas de manejo hídrico en bosques prioritarios, incluyendo áreas naturales protegidas. En Veracruz, se está buscando aprovechar los recursos del Fondo Forestal, como recurso semilla, en un proceso que promoverá que las comunidades forestales se organicen con otros actores para una gestión integral de microcuencas, subcuencas y cuencas.

En Saltillo, ProFauna ha generado un mecanismo local en donde se educan a los usuarios para lograr aportaciones voluntarias para el cuidado de su cuenca alta. Finalmente, la Ciudad de Nueva York ha encontrado que le es más económico invertir en la prevención de la urbanización y en mejores prácticas agrícolas y forestales en su cuenca proveedora de agua, que gastar en una macroplanta para filtrar el agua a la llegada de la ciudad.



10. POTENCIAR ESQUEMAS DE
COLABORACIÓN



Glosario de actores e instancias

Organismo de Cuenca: A partir del año 1998, estas unidades técnicas, administrativas y jurídicas, forman la base de la organización territorial de la Conagua; cada uno es autónomo, adscrito directamente al titular de la Conagua. El **Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala**, es responsable por las Cuencas de México y del Río Tula, con una extensión de 16,150 km², que incluye áreas de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y del Distrito Federal.

Consejo de Cuenca: El Consejo de Cuenca es la figura prevista por la Ley de Aguas Nacionales, que permite la coordinación entre las dependencias de los tres niveles de gobierno, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, para la gestión integral de una cuenca. Los organismos auxiliares de un Consejo de Cuenca son, la **Comisión de Cuenca**, que funciona a nivel de subcuenca; el **Comité de Cuenca**, que funciona en la escala de microcuenca; y el **Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS)**, que funciona a nivel de acuífero.

Organismo operador: La entidad responsable por el agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, siendo atribución que el Artículo 115.III.a. de la Constitución Política asigna al nivel municipal de gobierno. La **Comisión de Agua del Estado de México (CAEM)**, es un organismo público descentralizado, formado en 1998; suministra y potabiliza agua en bloque; asesora a organismos operadores en los municipios del estado y apoya el desarrollo de infraestructura a nivel subregional. El **Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)**, es un organismo público descentralizado, que cubre el Distrito Federal; se formó en 2003, a través de la fusión de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). Los organismos operadores en los municipios del Estado de México son considerados Organismos Descentralizados de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ODAPAS).

Comisiones Metropolitanas: Las reformas a los Artículos 115 y 122 de la Constitución Federal en 1993, sentaron las bases para la creación de “Coordinaciones Metropolitanas,” como una nueva figura de organización administrativa que permitiría la coordinación entre municipios y/o entidades federativas, con participación federal en su caso, para sistemas urbanos que trascendían los límites de gobiernos locales ó estatales. La **Comisión de Agua y Drenaje del Área Metropolitana (CADAM)**, es una Comisión Metropolitana formada meses después de estas reformas, con la participación de los gobiernos federal, del Distrito Federal y del Estado de México.

10. POTENCIAR ESQUEMAS DE COLABORACIÓN

En la última década, se ha logrado importantes instancias de coordinación metropolitana, cuyo enfoque ha sido principalmente en los retos hidráulicos, de cómo conseguir más agua, cómo trasladarla y como desalojarla de la cuenca. En la medida que se vaya logrando la transición hacia un modelo basado en el aprovechamiento de las aguas pluviales y residuales de la propia cuenca, se requiere construir y consolidar las instancias de gestión de cuenca previstas por la Ley de Aguas Nacionales, para que puedan trabajar estrechamente con las instancias de coordinación hidráulica metropolitana.

Mientras que la provisión de agua potable ha dependido de la construcción de baterías de pozos, ó de obras de alta ingeniería para importar agua de cuencas distantes, la responsabilidad del manejo hídrico, descansa firmemente sobre los hombros de un grupo compacto de ingenieros especializados. Con el crecimiento de la ciudad, este grupo ha tenido que crecer, y desarrollar instancias para la coordinación metropolitana.

En el futuro, sin embargo, al topar con los límites financieros, sociales y ambientales del modelo hídrico de “extracción-expulsión”, la naturaleza de la tarea de la provisión del agua cambiará. Es necesario insertar el manejo hidráulico dentro de un contexto de gestión integral de cuenca. Esto, a su vez, requiere que las instancias de coordinación metropolitana, puedan coordinarse, a su vez, con instancias multi-actor que se responsabilicen por la gestión “hídrica-territorial,” de subcuencas, acuíferos y sus zonas de recarga.

Este capítulo se enfocará en el desarrollo y futuras posibilidades de las instancias de coordinación metropolitana, previstas por las reformas a los artículos 115 y 122 de la Constitución, y de las instancias para la gestión integral de cuenca, previstas por la Ley de Aguas Nacionales.

INSTANCIAS DE COORDINACIÓN METROPOLITANA

Comisión de Agua y Drenaje del Área Metropolitana (CADAM)

Esta Comisión Metropolitana fue formada el 27 de junio 1994. La CADAM cuenta con la participación del gobierno federal y los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, para lograr los siguientes objetivos:

a) Coordinar la planeación, construcción, operación, mantenimiento, desarrollo y transferencia de caudales de agua potable, residual, pluvial y tratada de los sistemas hidráulicos en el área metropolitano del servicio residual del Distrito Federal y en los municipios conurbados del Estado de México.

b) Proponer, coordinar y dar seguimiento a los programas y acciones que en materia hidráulica se consideren apropiados para la zona metropolitana.

En particular, esta Comisión está dando continuidad al Programa Integral de Saneamiento de Agua y Drenaje del Valle de México. Cuenta con grupos de trabajo sobre: el Acuífero del Valle de México; Emergencias; Uso eficiente del agua; Uso agropecuario; Desarrollo urbano; y Drenaje y saneamiento.

Sus logros recientes incluyen el Protocolo de Operación Conjunta CONAGUA-SACM-CAEM, para el sistema hidrológico del Valle de México¹; la coordinación de la entrega de agua en bloque; y el programa metropolitano de uso eficiente y cuidado del agua.

Fondo Metropolitano

La CADAM, a su vez, forma parte de la Comisión Ejecutiva de Coordinación Metropolitana, la cual fue creada en marzo 1998, y ratificada y refrendada en octubre 2005. El 20 de febrero de 2006, la Comisión Metropolitana estableció el fideicomiso “Para el Fondo Metropolitano de Proyectos de Impacto Ambiental en el Valle de México”.²

El Comité Técnico del Fondo Metropolitano, está integrado por nueve miembros con voz y voto, siendo tres representantes del Distrito Federal, del Estado de México y del Estado de Hidalgo (este estado fue incorporado en 2008). Los recursos del Fondo Metropolitano provienen principalmente del presupuesto federal, contando con \$3 mil millones de esta fuente en 2007, y \$5 mil millones en 2008. Las inversiones del Fondo Metropolitano se dedican principalmente a proyectos de vialidad, seguido por proyectos hidráulicos. Un Subcomité de Obras y Acciones selecciona los programas, proyectos, obras y acciones a ser tratados por el Comité Técnico, para su aprobación ó denegación.

De los \$3.3 mil millones asignados por el Fondo Metropolitano para 2008, las obras relacionadas con el agua incluyen: el colector marginal para Presa Guadalupe (160 MDP); Planta de bombeo contracorriente Texcoco (65 MDP); mantenimiento al Emisor Central/Drenaje Profundo (200 MDP), Redes y circuitos de distribución Zona Oriente (272 MDP); planta de bombeo y laguna de regulación Iztapalapa (26 MDP); estudio de factibilidad acueducto Tula (6 MDP).

Otros proyectos hídricos aprobados (pendiente su financiamiento) por el Fondo Metropolitano, incluyen: túnel profundo oriente-poniente; desazolves de presas, cauces y lagunas; control de erosión en cuenca Río Magdalena; monitoreo de hundimientos en el Estado de México; plantas de bombeo (Chimalhuacan, Tlalnepantla); sustitución de agua potable por agua residual tratada en Valle de Lerma; y rehabilitación de la PTAR Cerro de la Estrella.

1 Este Protocolo, firmado el 8 mayo 2007, establece los mecanismos para la operación conjunta de once estructuras del sistema hidrológico para desalojar el agua, evitar la saturación del drenaje profundo y prevenir posibles inundaciones.

2 Los firmantes fueron el Gobierno del Distrito Federal (Secretarías de Finanzas y de Gobierno y de la Coordinación General de Programas Metropolitanos); y por el Gobierno del Estado de México (Secretarías de Finanzas, General de Gobierno y de Desarrollo Metropolitano), como fideicomitentes, así como por el Banco Interacciones, S. A., como fiduciario.

Fideicomiso 1928

El Fideicomiso 1928 se constituyó el 25 de febrero de 1997. Este fideicomiso, se enfoca en el financiamiento de los proyectos y obras de infraestructura hidráulica indispensables para satisfacer las necesidades de suministro de agua potable, desalojo y saneamiento de aguas pluviales y residuales que requiera y genera la población asentada en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Los fondos del fideicomiso son administrados por un Comité Técnico, presidido por la Conagua (Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento), y conformado por dos representantes del Distrito Federal, dos del Estado de México, dos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), y dos de la Comisión Nacional del Agua (CNA), con voz y voto, además de un representante del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) con voz, pero sin voto. Los fideicomitentes son los gobiernos del D.F. y del Estado de México.

La primera etapa del Fideicomiso (1996-2002) fue menos que fructífera. Se formó para recibir préstamos del Banco Interamericano de Desarrollo (US\$360 millones), y el Fondo para la Cooperación Económica Internacional de Japón³ (US\$410 millones), para la construcción de macroplantas de tratamiento a la salida de la cuenca, con planes para el financiamiento, además, de la cuarta etapa del Sistema Cutzamala (Temascaltepec).

Sin embargo, no se logró la coordinación entre los niveles de gobierno requeridos para cumplir con los términos de los préstamos por falta de consenso sobre el proyecto; por lo tanto, los recursos prestados fueron retirados en 2002, y el gobierno federal tuvo que asumir una fuerte multa por incumplimiento.

En 2004, se tomó la decisión de reactivar el Fideicomiso, para ser financiado ahora con los recursos pagados por los organismos operadores de la zona metropolitana del D.F. y del Estado de México por los derechos al agua en bloque, con un valor anual total de aproximadamente \$3 mil millones al año.^{4,5}

En los primeros nueve meses de 2007, este fideicomiso recaudó \$584 millones de pagos por derechos al agua en bloque. En su Trigésima Quinta Sesión Extraordinaria, realizada el 28 de noviembre del año 2007, los ocho integrantes con voz y voto aprobaron por unanimidad, de manera enunciativa, el paquete de obras que incluye el Emisor Oriente, las seis PTAR, plantas de bombeo, potabilizadoras y rehabilitación de Cutzamala, con un valor total de 36 mil 789 millones de pesos.

3 Ahora Banco Japonés de Cooperación Internacional (JBIC).

4 DOF 24/11/2004 "Decreto por el que se otorga un estímulo fiscal a los municipios, entidades federativas, Distrito Federal, organismos operadores o comisiones estatales, o cualquier tipo de organismo u órgano, que sea responsable de la prestación del servicio de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, por adeudos generados por el pago de los aprovechamientos y sus accesorios, derivados del suministro de agua en bloque."

5 En expediente 47101/07, Folio: 1610100118607 del Instituto Federal de Acceso a la Información Pública, disponible en Internet, el IFAI obliga a la Conagua a proveer al público las minutas e informes técnicos y financieros del Fideicomiso 1928.

En esta misma sesión, el Comité Técnico acordó que para la ejecución de las obras definidas sería necesario establecer la prioridad, alternativas técnicas y alcances de las mismas, así como estar sujetas a la disponibilidad de recursos en el patrimonio del fideicomiso, conforme a lo establecido en su reglamentación.

Hasta la fecha, el Fideicomiso 1928 ha financiado el Túnel Interceptor Río de los Remedios; Rectificación de Río de los Remedios, dragado del Canal General; la ampliación de Lagunas de Regulación Casa Colorada y El Fusible; plantas de bombeo para Gran Canal y Casa Colorada (20 m³/s); el Túnel Río de La Compañía; reparaciones al Emisor Central; saneamiento, bombeo y equipamiento de riego para Tláhuac.⁶ En su informe del segundo trimestre de 2008, el Fideicomiso contaba con un balance de \$3,527,372,264.

INSTANCIAS DE COORDINACIÓN PARA LA GESTIÓN DE CUENCA

Aunque la Ley de Aguas Nacionales previó que la gestión hídrica requeriría de instancias de planeación y gestión multi-actor a nivel de microcuenca, subcuenca, acuífero y cuenca, la razón de ser de estas instancias, no ha quedado claro en la Cuenca de México hasta muy recientemente. Por lo tanto, a pesar de avances en otras partes del país, en esta cuenca, las instancias previstas por la ley se encuentran en sus etapas iniciales de construcción.

El Consejo de Cuenca del Valle de México

El Consejo de Cuenca es la figura responsable por lograr la coordinación entre las dependencias de los tres niveles de gobierno, los usuarios de agua y las organizaciones de la sociedad, para la gestión integral de la cuenca.⁷

Este órgano colegiado trabaja en relación cercana con el Organismo de Cuenca correspondiente, sin ser subordinado a él, ni a la Conagua.⁸ La proporción de representación de los gobiernos estatales y municipales no puede ser mayor a 35%; la representación de los usuarios y organizaciones de la sociedad, no puede ser menor a 50%; y la proporción restante se compone de representantes del gobierno federal.⁹

Los Consejos de Cuenca tienen a su cargo:

- ◆ Contribuir a... reestablecer... el equilibrio entre disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos;
- ◆ Desarrollar, revisar y conseguir los consensos necesarios,...con la intervención del Organismo de Cuenca competente,... del proyecto de Programa Hídrico de la Cuenca, que contenga las prioridades de inversión y subprogramas específicos para subcuencas, microcuencas, acuíferos y ecosistemas vitales comprendidos en su ámbito territorial;

6 Cabe mencionar que la Conagua consiguió y aplicó \$1 mil millones del presupuesto federal 2008, para iniciar el Emisor Oriente, con la expectativa de que el Fideicomiso 1928 apoyara en el financiamiento de sus futuras etapas.

7 Artículo 3, XV, Ley de Aguas Nacionales.

8 Artículo 13, Ley de Aguas Nacionales.

9 Artículo 13 Bis, Ley de Aguas Nacionales.

- ◆ Participar en ... la adopción de los criterios para seleccionar los proyectos y obras hidráulicas que se lleven a cabo en la cuenca o cuencas hidrológicas;
- ◆ (l)mpulsar las acciones derivadas del establecimiento de zonas reglamentadas, de zonas de veda y de zonas de reserva;
- ◆ Auxiliar a “la Comisión” en la vigilancia de los aprovechamientos de aguas superficiales y subterráneas.¹⁰

El Consejo de Cuenca del Valle de México fue fundado el 16 de agosto de 1995. Incluye representantes federales, estatales y municipales, usuarios y organizaciones de la sociedad, del Distrito Federal y de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala. A partir de su creación, no se volvió a reunir hasta trece años después, ya que su segunda reunión fue realizada el 28 octubre 2008. En dicha reunión, el Ing. Luege Tamargo, reconoció, como presidente del Consejo, la necesidad de darle vida a dicha instancia, y se ha programado reuniones bianuales de la misma.

Durante este periodo interino, la vida del Consejo de Cuenca se ha sustentado en reuniones cuatrimestrales de su Grupo de Seguimiento Estratégico, complementado por cuatro Grupos Especializados: de Ordenamiento, Saneamiento, Cultura del Agua y Comunicaciones. Hasta el momento, estos grupos de trabajo han sido conformados principalmente por funcionarios de la Conagua, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la Comisión de Agua del Estado de México.

En los últimos cuatro años, se ha logrado, además, la formación de tres Comisiones de Cuenca (Presa Guadalupe, Ríos Amecameca y La Compañía, y Villa Victoria), con otros dos en camino (Texcoco y Presa La Concepción); y un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (del Acuífero Cuautitlán-Pachuca). Estas instancias sirven como organismos auxiliares del Consejo de Cuenca, para coordinar acciones a nivel subcuenca. (ver próxima sección)

Está pendiente actualizar la representación en el Consejo de Cuenca del Valle de México, para incluir a los representantes de los sectores de la sociedad relacionados con la gestión del agua, conforme a las reformas de 2004 de la Ley de Aguas Nacionales.¹¹ A la vez, el Director General del Organismo de Cuenca del Valle de México, el Ing. Efrán Villalón Figaredo, está sentando las bases para establecer la Gerencia Operativa de la Cuenca, la cual servirá para activar las instancias e instrumentar las decisiones de este incipiente Consejo de Cuenca.

10 Artículo 13 Bis 3, I, VI, VIII, XIII, XXI, de la Ley de Aguas Nacionales.

11 Art. 7 Bis X “Se declara de interés público... la organización de los usuarios, asociaciones civiles y otros sistemas y organismos públicos y privados prestadores de servicios de agua rurales y urbanos, así como su vinculación con los tres órdenes de gobierno, para consolidar su participación en los Consejos de Cuenca.” Actualmente, el Consejo de Cuenca del Valle de México está conformado estrictamente por representantes de titulares de concesiones, y representantes de dependencias de los tres niveles de gobierno.

Comisiones de Cuenca

Las Comisiones de Cuenca son órganos colegiados de integración mixta, que sirven para auxiliar al Consejo de Cuenca, sin ser subordinados a la Comisión Nacional del Agua, ni a los Organismos de Cuenca.¹²

Las Comisiones de Cuenca tienen un papel clave en la gestión de cuenca, porque la escala de la subcuenca (50 a 100 km²), se podría decir, representa “la escala posible”: hay puntos de reunión accesibles a todos; los actores se conocen o se pueden conocer; las acciones de unos afectan directamente a otros; y existen posibilidades reales de colaboración en proyectos concretos.

Su composición mixta permite una sinergia entre la participación ciudadana, la cual da estabilidad y permanencia a los procesos de planeación, instrumentación y evaluación; y la participación de los representantes locales de los tres niveles de gobierno, la cual permite el aprovechamiento óptimo de recursos y programas del sector público.

Según la metodología desarrollado por la Gerencia de Consejos de Cuenca, la construcción de la Comisión de Cuenca empieza con la formación de un Grupo Promotor, compuesto de representantes de los gobiernos, usuarios y sectores de la sociedad, quienes se comprometen a apoyar en la conformación de los comités de usuarios y de sectores de la futura Comisión de Cuenca (ver diagrama siguiente).¹³ A su vez, el Grupo Promotor elabora la propuesta de los estatutos y el reglamento para la futura Comisión.

Cuando todos los comités estén formados y sus representantes nombrados, el Grupo Promotor convoca una reunión para elegir su Consejo Directivo, y discutir, y en su caso, aprobar sus estatutos y reglamento. La Comisión de Cuenca adquiere su personalidad jurídica a través de la formación de una asociación civil.

Los ámbitos de trabajo colaborativo de las Comisiones de Cuenca incluyen:

- | | |
|--|--|
| a. Elaboración y ejecución del subprograma hídrico de la subcuenca ó acuífero; | f. Programas de monitoreo escolar y ciudadano de la calidad del agua en ríos y escurrimientos; |
| b. Desarrollo y difusión de tecnologías apropiadas; | g. Diseño y gestión de obras; |
| c. Estrategias para la captación y aprovechamiento de agua pluvial; | h. Estrategias para eliminar fuentes de contaminación en su punto de origen: |
| d. Estrategias para lograr la protección y buen manejo de sus zonas de recarga; | i. Coordinación con autoridades locales para lograr el composteo de residuos orgánicos, para disminuir la dependencia en agroquímicos, y el confinamiento de residuos sólidos no reciclables sobre zonas de recarga; |
| e. Desarrollo de un sistema de información geográfica, de libre acceso, para la subcuenca; | |

¹² Art. 13 Bis 1 D, Ley de Aguas Nacionales.

¹³ Conagua, 2005. Guía para la Instalación de Órganas Auxiliares de los Consejos de Cuenca: Comisiones de Cuenca.

- j. Coordinación entre agricultores para el establecimiento de sistemas para la infiltración de aguas pluviales, la tecnificación del riego, la transición a agricultura orgánica, y el riego con aguas tratadas;
- k. Gestión de apoyos para la construcción ó rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales;
- l. Detección de oportunidades para el reuso ó recarga de aguas tratadas;
- m. Colaboración con organismos operadores locales para lograr mayor eficacia, legitimidad y capacidad de cobro;
- n. Colaboración en el desarrollo de mecanismos locales de compensación por servicios ambientales hídricos;
- o. Prevención de conflictos relacionados con el recurso hídrico;
- p. Campañas para la gestión hídrica-territorial (incluyendo reforestaciones y la limpieza de ríos y barrancas) y para el buen uso del recurso hídrico.



La puesta en marcha de la Gerencia Operativa del Consejo de Cuenca del Valle de México, permitirá apoyar los procesos de construcción del gran número de Comisiones de Cuenca faltantes. Hasta la fecha, las universidades públicas y privadas (el Tecnológico de Monterrey, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma de Chapingo) han realizado un papel vital en apoyar estos procesos de construcción.



Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS)

El COTAS es un organismo auxiliar del Consejo de Cuenca, conformado por los titulares de concesiones de agua subterránea para usos agrícolas, público-urbanos, industriales, y de servicios, de un acuífero, junto con los sectores de la sociedad afectados por su sobreexplotación, como son los habitantes cuyas viviendas están en riesgo por hundimientos y grietas. Se coordina con el Organismo de Cuenca, sin ser subordinada a él, para diseñar y ejecutar estrategias para lograr la gestión equilibrada de su acuífero.

Las tareas de colaboración para los COTAS incluyen:

- a. La elaboración del subprograma hídrico para la gestión del acuífero;
- b. El monitoreo cercano del comportamiento de los pozos;
- c. La gestión de estudios hidrogeológicos, y la aportación de información para su realización;
- d. La vigilancia de para garantizar el manejo adecuado de los pozos y las concesiones;
- e. El diseño, gestión y evaluación de proyectos locales para la recarga intencional; y
- f. La elaboración de propuestas para el reordenamiento de pozos;
- g. La elaboración del Reglamento del Acuífero.

Hasta la fecha, de los cuatro principales acuíferos en la Cuenca de México, solo el Acuífero Cuautitlán-Pachuca cuenta con su COTAS. Falta todavía establecer los COTAS para los acuíferos Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Texcoco y Chalco-Amecameca.

Las Gerencias Operativas del Consejo de Cuenca, las Comisiones de Cuenca y los COTAS

El Consejo de Cuenca y sus organismos auxiliares, funcionan cotidianamente a través de sus respectivas “Gerencias Operativas”. Cada gerencia es establecida a través de su respectivo “Convenio de Colaboración para la creación de una Gerencia Operativa”, cuyos firmantes incluyen la asociación civil (del Consejo, la Comisión de Cuenca ó el COTAS), la Conagua y los gobiernos del Estado de México y/ó el Distrito Federal.¹⁴

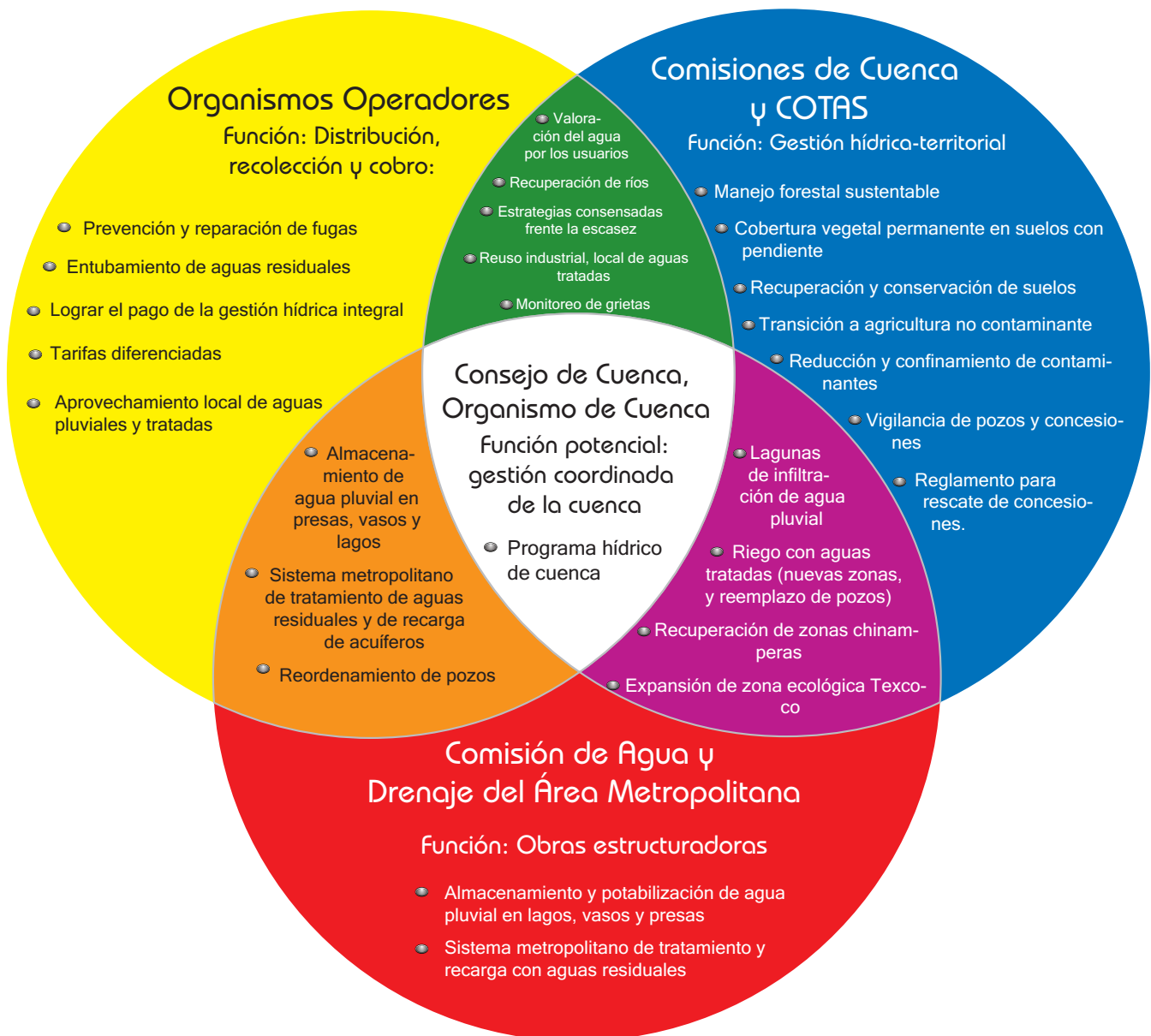
Programa Hídrico de la Cuenca:
Documento en el cual se definen la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias, prioridades y políticas, para lograr el equilibrio del desarrollo regional sustentable en la cuenca correspondiente y avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Artículo 3, XLIII, Ley de Aguas Nacionales

La Gerencia promueve el funcionamiento de las instancias del Consejo, la Comisión de Cuenca ó el COTAS, las cuales incluyen sus Comités de Usuarios y de Sectores, sus Grupos Especializados, su Comité Ejecutivo, y sus reuniones plenarios. Promueve el proceso que permite la elaboración, aprobación, ejecución y evaluación del Subprograma Hídrico para su acuífero ó subcuenca; y apoyan en la ejecución de los acuerdos tomados.

¹⁴ La Conagua aporta aproximadamente \$500 mil pesos anuales, los cuales son complementados por aportaciones iguales de la(s) entidad(es) federativa(s) en donde se localiza la subcuenca ó el acuífero.

DIAGRAMA 1. ÁREAS POTENCIALES DE COLABORACIÓN ENTRE LAS INSTANCIAS QUE INTERVIENEN EN LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DE MÉXICO.



La transición desde un enfoque metropolitano hacia la gestión integral de la cuenca

La coordinación metropolitana lograda en la última década, representa un avance fundamental en la gestión hídrica: a pesar de diferencias políticas e inercias, se empieza a reconocer y construir un sujeto colectivo, se perciben los problemas propios en relación con los del otro, y se empieza a llegar a acuerdos por el bien común.

Sin embargo, la lógica metropolitana, hasta el momento, ha sido guiado principalmente por las preocupaciones inmediatas de los organismos operadores: cómo conseguir más agua; cómo traspasarla entre entidades federativas; cómo desalojarla; cómo financiar obras que rebasan el presupuesto propio. Por lo tanto, la coordinación metropolitana, se ha enfocado en un difícil proceso de negociación para la aprobación de una serie de megaproyectos, los cuales absorberían el presupuesto hídrico metropolitano durante las próximas décadas, y cuyos costos y beneficios no logran convencer a todas las partes, y menos, el público en general.

La perspectiva de gestión de cuenca replantea la naturaleza de la colaboración metropolitana. En vez de organizar procesos de licitación para megaproyectos, se trata de una colaboración fina en la construcción de un sistema basado principalmente en el aprovechamiento de aguas pluviales y residuales; la recarga intencional; y el uso eficiente del recurso hídrico.

El Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México, el cual sustenta el paquete de obras aprobado en principio por el Comité Técnico del Fideicomiso 1928, ya contiene las semillas de este nuevo enfoque. Describe en detalle, un plan para el aprovechamiento de las aguas residuales y pluviales en el norte de la cuenca (Acuífero Cuautitlán-Pachuca). Ahora, sólo falta extender esta lógica para incluir las zonas del poniente, sur y oriente de la cuenca.

Se podría imaginar la CADAM, con el apoyo del Fideicomiso 1928 y el Fondo Metropolitano, tomando liderazgo en las siguientes áreas:

- a. Sistema de plantas de tratamiento de tamaño medio, con lagunas de infiltración.
- b. Sistemas de lagunas, pozos y represas de infiltración de aguas pluviales.
- c. Recuperación de lagos, vasos y presas, para almacenamiento y potabilización de aguas pluviales.
- d. Saneamiento de zonas de captación.
- e. Recuperación de zonas chinamperas y acuáticas.
- f. Estrategias coordinadas para frenar el crecimiento urbano no sustentable, disminuir los usos suntuarios, prevenir fugas y lograr una distribución equitativa del recurso hídrico.

Estas estrategias requieren, a su vez, de la colaboración cercana con una diversidad de actores locales, para el aprovechamiento e infiltración de aguas tratadas vía riego, para organizar los sistemas de rotación para las lagunas de infiltración de aguas pluviales, para la recuperación de ríos, para lograr cambios en los patrones de uso del agua. Gran parte de estas tareas podrían realizarse con el apoyo de las Comisiones de Cuenca y los COTAS.

Mientras que el Consejo de Cuenca esté en proceso de construcción, es posible que los organismos operadores y el Organismo de Cuenca, sirvan como “bisagras”, para los niveles de coordinación requeridos. Por un lado, se reunirían entre sí para el diseño y gestión de las obras estructuradoras (sistemas de PTAR, lagos, lagunas), que permitirían el aprovechamiento de las aguas pluviales y residuales de la cuenca; y por el otro, se coordinarían con las respectivas Comisiones de Cuenca para el aterrizaje de cada obra ó proyecto. Estas coordinaciones podrían ser acompañadas y asesoradas por los distintos Grupos Especializados del Consejo de Cuenca.

EL PROGRAMA HÍDRICO DE LA CUENCA DE MÉXICO

El Programa Hídrico de la Cuenca, es el documento rector para la gestión integral de la cuenca. Actualmente, el “Programa para la Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México”, está en su etapa de consulta pública.

Varios aspectos del programa están siendo discutidos en las instancias de coordinación en función. Por ejemplo, la Trigésima Quinta Sesión Extraordinaria del Comité Técnico del Fideicomiso 1928, aprobó en principio, el Programa General del Proyecto de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México, el cual forma parte del Programa Hídrico, acordando a su vez, que para la ejecución de las obras definidas, será necesario establecer las prioridades, las alternativas técnicas y los alcances de las mismas, así como estar sujetas a la disponibilidad de recursos en el patrimonio del fideicomiso.

Eventualmente, según el Artículo 13 Bis 3, VI.¹⁵, y el Artículo 15.2, de la Ley de Aguas Nacionales, el Programa Hídrico de la Cuenca, surgirá del Consejo y Organismo de Cuenca

Programa Hídrico de la Cuenca:

Documento en el cual se definen la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias, prioridades y políticas, para lograr el equilibrio del desarrollo regional sustentable en la cuenca correspondiente y avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Artículo 3, XLIII, Ley de Aguas Nacionales

“Los subprogramas específicos, regionales, de cuencas hidrológicas, (permitirán) atender problemas de escasez o contaminación del agua, ordenar el manejo de cuencas y acuíferos, o corregir la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas...

ARTÍCULO 15, III, Ley de Aguas Nacionales

15 Artículo 13 Bis 3, Ley de Aguas Nacionales.

del Valle de México. En particular, el Consejo será responsable de “desarrollar, revisar y conseguir los consensos necesarios” para el Programa Hídrico de la Cuenca.

En esta etapa del desarrollo de las instancias de gestión de cuenca, las Comisiones de Cuenca y los COTAS existentes, podrían elaborar sus Subprogramas Hídricos¹⁶, con la participación directa de los organismos operadores y el Organismo de Cuenca, ó con su cercana coordinación.

REFLEXIONES FINALES

La última etapa de la realización de esta publicación, coincidió con la crisis de escasez del agua en la Cuenca de México de la primavera de 2009, la cual fue acompañada por un agudo conflicto político. Irónicamente, meses antes, la cuenca enfrentaba el riesgo de ser inundada con sus propias aguas pluviales contaminadas. Estas realidades hablan más fuertemente del agotamiento de un modelo de gestión hídrica que cualquier texto.

Es posible que en los próximos meses, motivados por la desesperación ó la aparente falta de alternativas, quienes toman las decisiones lleguen a acuerdos para invertir decenas de miles de millones en una nueva generación de megaobras para la importación y expulsión hídrica de la cuenca. Si éste es el caso, se habrá sólo comprado un poco de tiempo, aunque a un precio sumamente alto.

Sin embargo, es la conclusión del actual estudio que, tarde o temprano, no quedará otra opción que comenzar a crear la infraestructura, y dar vida a las instancias de colaboración, necesarias para lograr el buen aprovechamiento de los ciclos del agua de la propia Cuenca de México.

¹⁶ Como está previsto por el Artículo 13 Bis 3 VI de la Ley de Aguas Nacionales.

BIBLIOGRAFÍA

Cambio climático

INE (2008) El Cambio Climático en México. Coordinación del Programa de Cambio Climático, Hoja Web, 5 de julio de 2008.

Martínez, J y Fernández, B. A (comp.) (2004): Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT, INE, 1a. Edición, 525 p.

Mendoza, V. (2006): Impacto del calentamiento global en los recursos hídricos de México. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Hidrogeología

Acosta, J.; Huerta, C.; Mendoza, L. y Reyes, A. (1993) "Modelado de la respuesta sísmica en el subsuelo de la ciudad de México, con registros a profundidad". *Geofísica Internacional*, Vol. 32, No. 1, pp. 131-152.

Aguayo, C. J. E.; Marín, C. S. y Sánchez, D. L. F. (1989) Evolución geológica de la Cuenca de México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Memorias del Simposio sobre tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México, pp. 25-41.

Ariel Consultores (2004) Estudio de modelación para determinar el comportamiento de acuíferos del Valle de México (Acuífero Cuautitlán-Pachuca). Estudio realizado para la Comisión Nacional del Agua, GRAVAMEX, Contrato No. GAVM-GT-MEX-04-140-RF-13.

Ariel Consultores (2006) Estudio de modelación para determinar el comportamiento del acuífero Texcoco. Estudio realizado para la Conagua, GRAVAMEX.

Ariel Consultores (2006) Estudio de modelación para determinar el comportamiento del acuífero Chalco-Amecameca. Estudio realizado para la Conagua, GRAVAMEX, 85 p.

Birkle, P., Torres, V. y González, E. (1995) "Evaluación preliminar del potencial de acuíferos profundos en la cuenca del Valle de México". *Ingeniería Hidráulica en México*, septiembre - diciembre de 1995, pp. 47-53.

Bufete de Estudios y Proyectos de Ingeniería (2006) Estudio geohidrológico del valle de Pachuca-Tizacuya, estado de Hidalgo. Estudio realizado para CASSIM, 190 p.

Cardona, A. y Hernández, N. (1995) "Modelo geoquímico conceptual de la evolución del agua subterránea en el valle de México". *Ingeniería Hidráulica en México*, septiembre - diciembre de 1995, pp. 71-90.

CEPIS (2000): Hidrometría (Capítulo 5). Hoja WEB.

CNA (1994): Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos, 244 p.

Consorcio OPMAC (2000), "Estudio para la recarga del acuífero en el Suelo de Conservación del Distrito Federal", SMA del GDF. México, mimeo.

Consultores en Geología (1996): Actualización de parámetros hidrogeológicos y elaboración de pruebas de bombeo. D.D:F., DGCCH, Contrato Núm. 6-CO4-1-0590.

Custodio, J. E. y Llamas M. R. (1983): *Hidrología Subterránea*, España, Ed. Omega, Tomo I, pp. 1-1157 y Tomo II de pp. 1164-2350.

Custodio-Jimena, E. (1998): "Recarga a los acuíferos. Aspectos generales, sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. España", *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 109, No. 4, pp. 329-346.

Davis, N. S. y De Wiest, R. (1981): *Hidrogeología*. Madrid. Ed. Ariel, 563 p.

De Cserna, Z.; De la Fuente, D. M.; Palacios, N. M.; Triay, L.; Mitre, S., L.M. y Mota, P. R. (1987): Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México. UNAM, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.

Delgado, G. H. y Martín del Pozo, L. A. (1993): "Plioceno to Holocene volcanic geology at the junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco ranges, southwest of Mexico City". *Geofísica Internacional*, Vol. 32, No. 3, pp. 511-522.

Domenico, A. P. y Schwartz, W. F. (1998): *Hydrogeology. Physical and Chemical*. US, John Wiley & Sons, Inc., 505 p.

Fries, Jr. C. (1960): Geología del estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, Instituto de Geología, UNAM Boletín No. 60, 236 p.

Herrera, Z. G., Briceño, R. J. V., Canizal, S. J. J., Cardona, B. A., Gutiérrez, O. C., Júnez, F. H., Mata, A. I. y Sánchez, D. L. F. (2007) Modernización de las redes de monitoreo piezométrico y de calidad del agua de los acuíferos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: Texcoco, Chalco-Amecameca y Cuautitlán-Pachuca. Estudio realizado por el IMTA para el Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México de la CNA.

Herrera, Z. G., Cardona, B. A., Escalante, S. C., González, H. L., Gutiérrez, O. C., Hernández, L. N., López, H. R. I., Sánchez, D. L. F., Báez, D. A. y de la Cruz, B. J. (2005) Estudio para obtener la disponibilidad del acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. GDF, SMA, Sistema de Aguas, Contrato No. 06-CD-03-10-0267-1-05.

Herrera, Z. G., Cardona, B. A., González, H. L., Gutiérrez, O. C., Hernández, C. R., Hernández, G. G., Hernández, L. N., López, H. R. I., Martínez, M. M., Pita, P. C., Sánchez, D. L. F. y Báez, D. J. A. (2006) Modelo hidrodinámico del acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. GDF, SMA, Sistema de Aguas, Contrato 06-CD-03-10-0272-1-06

Hiriart, F. y Marsal, J. R. (1967) "El hundimiento de la Ciudad de México" pp. 109-147, en: *El Hundimiento de la Ciudad de México y Proyecto Texcoco*. SHCP. Contribución de Proyecto Texcoco al VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 328 p.

Huizar, A. R. (1993) "Simulación matemática del sistema acuífero de Chalco-Amecameca". México, *Geofísica Internacional*, Vol. 32, No. 1, pp. 57-79.

- Huizar, A. R., Hernández, G., Carrillo, M. M., Carrillo, R. J., Hergt, T. y Angeles, G. (2003) "Geologic structure and groundwater flow in the Pachuca-Zumpango sub-basin, central Mexico". *Environmental Geology*, No. 43, pp. 385-399.
- Ingebritsen, E. S. y Sanford, E. W. (1998): *Groundwater in Geologic Process*. Cambridge University Press, 341 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IHMESEC, 1999): *Mediciones Hidrométricas. Versión Preliminar*, 100 p, mimeo.
- Lesser y Asociados (1993) *Fuentes de contaminación al agua subterránea y alternativas de saneamiento*. México, DDF, DGCOH, 110 p.
- Lesser y Asociados (1997) *Sinopsis de la medición de los niveles piezométricos del acuífero en la parte sur de la Cuenca del Valle de México*. México: DDF, DGCOH.
- Lesser y Asociados (1999) *Monitoreo de la calidad del agua en la zona de recarga artificial de Santa Catarina*. México, México: DDF, DGCOH. 135 p.
- Lexis 22 Vox (1980): *Diccionario de Mineralogía y Geología*. España, Bibliograf, 288 p.
- López-Ramos, E. (1979) *Geología de México*, Tomo II. México, 2ª. Edición, 457 p.
- López-Recéndez, R. (1988) *Geomorfología. Atlas de la Ciudad de México*, Fascículo 2 "Características físico-geográficas y primeros pobladores de la Cuenca de México". DDF y Colmex. pp 29-32.
- Lozano, G. M.; Ortega, G. B; Caballero, M. M. y Urrutia, F. J. (1993) "Late Pleistocene and Holocene Paleoenvironments of Chalco Lake, Central México". *Quaternary Research*, No. 40, pp. 332-342.
- Lugo, H. J.; Ortiz, M. A.; Palacios, J. L. y Vendinelli, B. (1985): "Las zonas más activas en el Cinturón Volcánico Mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala)". *Geofísica Internacional*, Vol. 24, No. 1, pp. 83-96.
- Lugo-Hubp. J. (1984): *Geomorfología del sur de la Cuenca de México*. UNAM, Instituto de Geografía, Serie Varia 1, No. 9, 95 p.
- Mooser, F. y Molina, C. (1993) *Nuevo modelo hidrogeológico para la cuenca de México*. *Revista del Centro de la Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra A.C.* Vol. 3, No. 1.
- Mooser, F., Montiel, A. y Zuñiga, A. (1996) *Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla*. Comisión Federal de Electricidad.
- Niedzielski, H. (1991) "Sección hidrogeológica a través del Valle de Chalco, México". *Geofísica Internacional*, Vol. 30, No. 2, pp. 97-106.
- Ortega, G. A.; Cherry, A. J. y Aravena, R. (1997) "Origin of pore water and salinity in the lacustrine aquitard overlying the regional aquifer of Mexico City". *Journal of Hydrology* No. 197, pp. 47-69.
- Ortiz, V. B. y Ortiz, S. C. A. (1990) *Edafología*, Texcoco México: UACH 7a. ed., pp. 394.
- Ovando, S. E., Romo O. M. y Ossa L. A. (2005) *Extracción de Agua y Hundimiento Regional: sus efectos en la respuesta sísmica de las arcillas de la ciudad de México*, UNAM, Instituto de Ingeniería.
- Rodríguez, C. R. y González, M. T. (1989) "Comportamiento hidrodinámico del sistema acuífero de la subcuenca de Chalco", México. *Geofísica Internacional*, Vol. 28, No. 2, pp. 207-217.
- Rudolph, D.L.; Cherry, J.A. & Farvolden, R.N. (1991) "Groundwater flow and solute transport in fractured lacustrine clay near Mexico City". *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 9, pp. 2187-2201.
- Sánchez, D. L. F. & Gutiérrez, O. C. (1997) *Overexploitation effects of the aquifer system of Mexico City*. UK, Balkema, Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment, pp. 353-357.
- Sánchez, D. L. F. (1994) *Los acuíferos de la ciudad de México: su origen, aprovechamiento y efectos colaterales a su explotación*. *Memorias del Segundo Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*, Santiago de Chile, pp. 625-639.
- Sánchez-Díaz, L. F. (1989) *Los Acuíferos de la Ciudad de México: Su estado actual y alternativas de solución para su control y conservación*. México, Instituto Politécnico Nacional, Tesis de Maestría en Ciencias (inédita), 382 p.
- Urrutia, F. J.; Lozano, G. S.; Ortega, G. B. & Caballero, M. M. (1995). "Paleomagnetic and paleoenvironmental studies in the southern basin of Mexico-II Late Pleistocene-Holocene Chalco lacustrine record". *Geofísica Internacional*, Vol. 34, No. 1, pp. 33-53.
- Vázquez, S. E. y Jaimes, P. R. (1989): "Geología de la Cuenca de México". *Geofísica Internacional*, Vol. 28, No. 2, pp. 133-190.
- Vázquez-Sánchez, E. (1995) "Modelo conceptual hidrogeológico y características hidráulicas del acuífero en explotación en la parte meridional de la cuenca de México". Tesis de Maestría. Instituto de Geofísica. UNAM. 187 p. inédita.

Recarga intencional

Asano, T. (1993) "Proposed California Regulations for Groundwater Recharge with Reclaimed Municipal Wastewater". *Great Britain, Water Science Technology*, Vol. 27, No. 7-8, pp. 157-164.

DGCOH (1999): *Calidad del agua de la Planta de Tratamiento Avanzado para la Recarga Artificial del Acuífero de Santa Catarina*.

DGCOH (2000) *Calidad del agua extraída por los pozos Santa Catarina 5, 6 y 7*. mimeo

Foster, S. e Hiriata R. (1991): *Determinación del riego de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Perú, 2a. Edición, 81 p.

Gutiérrez, O, C., Lara, G. F., Sánchez, D. L. F. y Ortiz, F. G. (1999): *Manual de métodos de recarga artificial de acuíferos*. México: IMTA Proyecto TH-9825, 102 p.

- Ingeniería de Evaluación y Prospección, S. A. (IEPSA, 2005) Recarga artificial y uso eficiente del agua en el predio de "Médica Sur", D. F., 20 p. mimeo.
- ONU (1977) Almacenamiento y recarga artificial de aguas subterráneas. New York, 306 p.
- Overseas Project Management Consultants y Eco-fin Consultores (1999 - 2000), Estudio para la recarga del acuífero en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, BID -GDF, Seis Tomos.
- Payne, G. R. D. (1995) Groundwater Recharge and Wells. A Guide to Aquifer Storage Recovery. Lewis Publishers. 376 p.
- Sánchez-Briebesca, J. L. (1997) Estudio de factibilidad para el reuso de las aguas residuales y pluviales del Valle de México para satisfacer la demanda de agua potable a mediano plazo, a través de la recarga de acuíferos; DDF, DGCOH, México.
- Sánchez-Díaz, L. F. (1989) La recarga artificial en la ciudad de México. DDF, DGCOH, Informe Técnico Inédito, 65 p. mimeo.
- UNESCO (2005). Strategies, for Managed Aquifer Recharge (MAR) in Semi-arid Areas, edited by Ian Gale.
- ## Gestión de cuenca
- Aguirre, R. "Conferencia Magistral del Sistema Hidráulico de la Ciudad de México", Segundo Foro Metropolitano del Agua, UAM, México, 2007.
- Arqueología Mexicana (2007) "La Cuenca de México", INAH, México.
- Arreguín, M. J., y Terán, A. (1994): Dos testimonios sobre la historia de los aprovechamientos hidráulicos en México. CIESAS, 1ª Ed., 120 p.
- Breceda L. M. A. (2004) "Agua y Energía en la Ciudad de México", Seminario Internacional del Agua, Universidad de la Ciudad de México, México.
- Buenrostro-Hernández, C. (2008) "El Agua, determinante en el desarrollo del Área Metropolitana de la Ciudad de México". Academia de Ingeniería, Comisión de especialidad de Ingeniería Urbanística, 26 p.
- Carabias J. y Landa R. (2005) Agua, Medio Ambiente y Sociedad, México: UNAM, Colmex, Fundación Gonzalo Río Arronte.
- CNA (2000), "Diagnóstico de la Región XIII Valle de México", GRAVAMEX, Subgerencia de Planeación Hidráulica, México.
- Conagua (2006). La gestión del Agua en México. Avances y Retos. México: Conagua
- Conagua (2008) Documentos de Licitación para "La Prestación de Servicios de Tratamiento de Aguas Residuales del Valle de México por 25 Años, que incluye la elaboración del proyecto ejecutivo, construcción, equipamiento electro-mecánico, pruebas, operación, conservación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales denominada PTAR Atotonilco, incluida la remoción y disposición final de los lodos y biosólidos que se generen en la misma, la cogeneración de energía eléctrica, ...bajo la modalidad de contrato a precio plurianual a precio fijo con inversión de recursos públicos y participación de inversión privada recuperable." Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Coordinación General de los Proyectos de Abastecimiento de Agua potable y Saneamiento del Valle de México. Gerencia de Aguas y Saneamiento.
- Consultores en Geología (1986): Estudio de control y conservación del suelo y agua en la zona poniente de la Ciudad de México. DDF, DGCOH, Contrato No. 6-33-1-0229, 179 p.
- DDF (1985). "Xochimilco, Carta Urbana 1:10 000", Sistema de Información Cartográfico Catastral, Tesorería del Distrito Federal, México.
- DDF (1985). "Xochimilco, Carta Urbana 1:10000", Sistema de Información Cartográfico Catastral, Tesorería del Distrito Federal, México.
- DDF (1997). "Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: 1994-2010", DGCOH, DDF, México.
- DDF (1997a). "Plan Maestro de Agua Potable del Distrito Federal 1997-2010" DGCOH, DDF, México.
- DDF (1997a). "Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: 1994-2010", Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, México.
- Herrera, R. I. (1995): El agua y la ciudad de México. Academia de la Investigación Científica, Academia Nacional de Ingeniería, Academia Nacional de Medicina y National Academy of Sciences, 353 p.
- Hudson, N. W. (1997) Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Boletín de Suelos de la FAO, No. 68, 130 p.
- Kumate, J. y Mazari, M. (eds. / 1990) Problemas de la Cuenca de México. México: El Colegio Nacional, 1ª edición, 403 p.
- La Jornada, "Agua", Edición Especial, México, 2005.
- Lafragua, C. J., Gutiérrez, L. A., Aguilar, G. E., Aparicio, M. J., Mejía, Z. R. y Sánchez, D. L. F. (2003) Balance hídrico en la Cuenca de México. Estudio elaborado para la Semarnat, México, mimeo.
- Legorreta, J. (2006) El Agua en México de Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI, México: UAM
- Moctezuma, P. y Monroy, O. (2009) "La Planeación Colaborativa en la Gestión Integral de Cuencas Amenazadas. El caso de la Cuenca de los Ríos Amecameca y de la Compañía" en Gómez Reyes, E. (2009) Innovación Tecnológica, Cultura y gestión del Agua, México: Editorial Porrúa.
- Moctezuma, P., Espinoza, R., De La Torre, A. (2006) "¿Adónde irán Nuestros Residuos Sólidos" UAM-FIDAM: Tlalmanalco, México.
- Moctezuma, P., Raufflet, E. y Roche, S. (2009) "Construcción de Instancias Colaborativas" en Ciudades No 81

SEMARNAT (2006) Sistema de Abastecimiento de Agua Potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, IV Foro Mundial del Agua, México: Conagua.

Tratamiento y reuso

Arreguín, C. F., Moeller, Ch. G., Escalante, E. V. y Rivas, H. A. (1998?): El reuso de agua en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Documento interno, 38 p.

Monroy, O. y Viniegra, G. (1998) Biotecnologías par el tratamiento de la aguas residuales de la ciudad de México. Memorias del I Seminario Internacional del Uso Integral del Agua. Texcoco, México: UACH.

Ortega, M. E. y Díaz, F. E. L. (1992) Las aguas negras de la red hidrográfica de los estados de México e Hidalgo. Anales de la consulta de expertos organizado por la FAO en Santiago de Chile.

Planimex Ingenieros Consultores (1982) Proyecto de demostración de aguas residuales tratadas. Elaborado para el DDF, DGCOH, 2 Tomos.

Pago por servicios ambientales

Bonfil, H. y Madrid, L. (s/f) Pagopor Servicios Ambientales en la Cuenca de Amanalco-Valle de Bravo.

Merino, L., González, A., Anta, S.; Graf, S., Madrid, S., Lara, Y., Ruiz, F., Chapela, F. y Nava, J.. Programa de Pago por servicios Ambientales Hidrológicos: Revisión crítica y propuestas de Modificación. México: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.

Muñoz-Piña, C.; Guevara, A.; Torres, J. M. y Braña, J. (2005) Paying for the Hydrological Services of Mexico's Forests: Analysis, negotiations and results.

Pérez-Maqueo, O.; Delfín, Ch. y Equihua, M.. Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos

Legislación y normatividad

CNA (2001): Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, "Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales". 23 p.

SEMARNAT (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, "Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad anual de las aguas nacionales". Publicada en el DOF, 18-02-2002. 23 p.

SEMARNAT (2003) Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual de agua y sus planos de localización. México: Diario Oficial de la Federación, 31 de enero de 2003.

SEMARNAT (2004) Acuerdo por el cual se expiden las Reglas de Operación del Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales. DOF, 7 de mayo de 2004, 53 p.

Estadísticas y datos oficiales

CNA (2002): Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Chalco - Amecameca, 25 p. México: mimeo.

CNA (2006), "Boletín Hidrológico Resumen No. 8, Datos del Valle de México, Cuenca del Río Tula y Zona de Influencia del Sistema Cutzamala", Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, México.

CNA (2008), "Costo de energía eléctrica y volúmenes de extracción anuales durante el periodo 1993-2007 del Sistema Cutzamala y del Sistema de Pozos PAI", Información proporcionada a través del Sistema de Transparencia de la CNA, Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, México.

CNA (2008): Equilibrio hidrológico en la Cuenca del Valle de México. XXIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 48 p.

CNA, Comisión Nacional del Agua (2007a), "Estadísticas del Agua en México, Edición 2007", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Conagua (2007) Sistema Hidrológico del Valle de México (2007). México: SEMARNAT.

Conagua -GRAVAMEX, (2002). Balance hidrológico de la Región XII, Valle de México. Resumen.

Conagua, Estadísticas del Agua de la Región XIII, Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (2007). México: SEMARNAT.

INEGI (1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000), "Censo General de Población y Vivienda de 1950 (VII) a 2000 (XII)", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (1997) Carta topográfica, escala 1:50,000, Amecameca de Juárez (E14B41).

INEGI (1998): Carta topográfica, escala 1:50,000, Chalco (E14B31).

INEGI (2001) XII Censo de Población. Resultados Definitivos.

INEGI (2005), "II Censo de Población y Vivienda 2005", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

SEDESOL, CONAPO e INEGI (2004) "Delimitación de las zonas metropolitanas de México", México

SEMARNAT (2008) Estadísticas del agua en México " Vol. 1.

SEMARNAT Estadísticas del Agua en México (2007).

CNA (2000): Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2020 Región XIII Valle de México. Síntesis básica.

DGCOH (1997): Plan Maestro de Agua Potable del D.F. 1997-2010, México, 198 p.

Colaboradores

Agustín Felipe Breña Puyol

Ingeniero Civil y Maestro en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y Doctor en Ingeniería Civil (Ph. D) por la Universidad de Laval, Québec, Canadá. Profesor-investigador en Ingeniería Hidrológica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa a partir de 1978. Sus trabajos de investigación y docencia, están orientados hacia la gestión integral del recurso agua; diagnósticos y balances hídricos; procesos de la hidrología superficial y la hidrología urbana. Autor de 18 publicaciones a nivel nacional e internacional, además de 4 publicaciones didácticas sobre temas afines a la hidrología, y 28 ponencias presentadas en congresos nacionales e internacionales. Miembro de la Asociación Mexicana de Hidráulica.

Elaine Burns

Coordinadora del Proyecto Cuencas y Ciudades en la Cuenca de México. Co-Directora del Centro para la Sustentabilidad Incalli Ixcahuicopa. Ha coordinado la elaboración de 24 instrumentos de planeación, territorial y ambiental. Ha gestionado y coordinado 51 convenios, con la Comisión Ambiental Metropolitana, el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, y la Fundación Gonzalo Río Arronte; IFAI/Hewlett; la agencia GTZ; la Semarnat; la Comisión Nacional Forestal; la Comisión Nacional del Agua; el Banco Interamericano de Desarrollo; la Secretaría de Desarrollo Urbano y la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México; y USAID. Ha publicado seis Atlas Municipales de Recursos Naturales; y manuales sobre el proceso de ordenamiento ecológico, y la gestión del agua en la Cuenca de México.

Delia Carolina Espinoza Hilario

Artista visual y comunicadora gráfica, egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco. Colaboradora del programa UAM-Sierra Nevada con diversas publicaciones, ilustraciones, fotografía y documentales. Ha trabajado en agencias de publicidad comercial, además de proyectos ecológicos y comunitarios. Se desempeña como docente de las materias de arte en educación media superior. Autora de la Imagen Regional de PyMEs agroecológicas de la Región de los Volcanes, como consultora del Banco Interamericano de Desarrollo. Autora del diseño editorial de los manuales de la Serie Incalli Ixcahuicopa, y directora de dos documentales sobre la región.

Jacobo Espinoza Hilario

Estudió Psicología con especialidad Social en la UAM Xochimilco, tiene experiencia en procesos de organización comunitaria, ecoturismo y difusión de actividades de esta índole. Se encarga de darle herramientas de defensa legal a ciudadanos para que formen monitoreo ambiental urbano. Actualmente se desempeña como responsable de "Planeación Social y Derecho Ambiental" de Guardianes de los Volcanes AC y como Coordinador de la línea "Gestión de Agua y Territorio" del Programa UAM Sierra Nevada. Representa a las organizaciones anteriores en redes de defensa de los recursos naturales a nivel comunitario, nacional e internacional. Ha participado en diferentes foros y medios de comunicación en los que se denuncia la depredación ambiental de la Sierra Nevada y las propuestas hacia una nueva cultura de la gestión del agua en la Cuenca del Valle de México.

José Miguel Garay

Periodista especializado en investigación y opinión. Estudió Comunicación Social en la Universidad Nacional de Córdoba, República Argentina. Trabajó en medios de comunicación televisivos, radiales y escritos de Argentina, Brasil, Chile y Bolivia. Estudió, además, la carrera de Turismo, en Jujuy, Argentina, inclinándose hacia la actividad de turismo alternativo. Fue profesor adjunto en las carreras de Turismo, y Ciencias Políticas, en cátedras como Relaciones Públicas, Fotografía, y Planificación.

Eugenio Gómez Reyes

Doctor en Ingeniería Hidrológica de State University of New York. Profesor-investigador en Ingeniería Hidrológica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Sus áreas de investigación y publicación incluyen: Evaluación y Análisis de Perspectivas para el Abastecimiento de Agua en el Distrito Federal; la modelación numérica de la calidad del agua y circulación de las corrientes en cuerpos de agua receptores de descargas municipales e industriales; el desarrollo de modelos numéricos para la EPA (Environmental Protection Agency). Coordinador del Sistema de Información Activo de Redes de Agua Potable (SIARDA), para la detección de fugas no visibles en la red secundaria de agua potable. Ha impartido 37 conferencias nacionales e internacionales y cuenta con 22 artículos de investigación especializada. Su publicación más reciente es el libro "Innovación Tecnológica, Cultura y Gestión del Agua", así como terminando de elaborar un modelo para el manejo hídrico de la cuenca del Valle de México.

Pedro Moctezuma Barragán

Doctoren Planeación y Desarrollo por la Facultad de Estudios Ambientales de la Universidad de Liverpool, Inglaterra, con especialización en los procesos de planeación territorial colaborativa. Ha coordinado diversos estudios sociales y ambientales así como planes y programas de gestión ambiental, desarrollo regional, ordenamientos ecológicos, y prevención y gestión integral de residuos sólidos. Desde 2005 es Co-Director del Centro para la Sustentabilidad Incalli Ixcahuicopa (CENTLI) de la UAM y Coordinador General del Programa de Investigación Metropolitana de la Universidad Autónoma Metropolitana. En 2007 fue nombrado como “Guardián del Agua” del Valle de México, por la organización internacional Waterkeeper Alliance. Ha presentado 57 ponencias a nivel nacional e internacional, así como 42 artículos y capítulos en libros.

Oscar Monroy Hermosillo

Rector de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Doctor en Biotecnología por la facultad de Química de la Universidad Autónoma Metropolitana; Maestro en Ciencias de Ingeniería Ambiental y Utilización de Recursos en la Universidad de Strathclyde, en Escocia, Gran Bretaña. Autor de 49 artículos y capítulos de libros en publicaciones nacionales e internacionales; 209 ponencias en conferencias nacionales e internacionales; autor de varias patentes relacionadas con tratamientos anaerobios de residuos sólidos, de estudios de lixiviación, de rellenos sanitarios y de biotecnología para tratamiento de aguas residuales. Desde 2008, sirve como Presidente de la Comisión de Cuenca Ríos Amecameca y La Compañía. Miembro de la Academia Mexicana de la Ciencia y de la Academia de Ingeniería.

Miguel Pulido Jiménez

Licenciado en Derecho por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (Campus Monterrey), con especialización en Derechos Humanos y Procesos de Democratización en la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile. Actualmente es alumno de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Derecho de la UNAM. Profesor de Derecho de la Información en la Universidad Iberoamericana e investigador de tiempo completo en FUNDAR, A.C., donde coordina el área de Transparencia y Rendición de Cuentas. Coordinador del Colectivo por la Transparencia, coalición que agrupa a once organizaciones de la sociedad civil.

Emmanuel Raufflet

Maestro y Doctor en Administración de la Universidad McGill (Montreal). Profesor de Management, y Director del Programa en Administración y Desarrollo Sostenible en HEC Montreal (Escuela de Altos Estudios Comerciales de Montreal). Sus áreas de investigación incluyen: procesos sociales en relación con la gestión forestal y de la biodiversidad; responsabilidad empresarial en países en desarrollo; y aspectos pedagógicos de la educación ambiental. Ha realizado consultorías en la gestión administrativa y ambiental para numerosos organismos gubernamentales y agencias de desarrollo en Canadá, Brasil, Sudáfrica, y para el Banco de Desarrollo de África. Es profesor invitado en la Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, y en Université Rennes, Francia.

Luis Felipe Sánchez Díaz

Doctor en Ciencias de la Tierra, Especialidad en Aguas Subterráneas, con un Diplomado en Hidrogeología y más de veintiséis cursos de actualización. Ha producido más de 75 informes técnicos para diversas dependencias gubernamentales y la iniciativa privada nacionales, así como para el Banco Interamericano de Desarrollo y el Gobierno de Costa Rica. Cuenca con más de treinta artículos publicados en revistas científicas y memorias de congresos internacionales y nacionales. Actualmente es Consultor en Geología, Hidrogeología y Riesgo Ambiental.

Nathalie Seguin

Ingeniera en física, de la Universidad Iberoamericana (1998), con Maestría en Ciencias del Agua por parte de la Universidad de Montpellier, Francia (2004), con especialización en los procesos de participación social en la gestión del agua. Desde 2005, sirve como Coordinadora del capítulo mexicano de la red internacional Freshwater Action Network. Ha desarrollado investigaciones para la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Instituto de Investigación y Desarrollo Francés (IRD); la unidad de Dinámica y Valorización de los Impactos de las Infraestructuras Hidráulicas (DIVHA) de la “Maison de L’Eau”, entre otros. Actualmente, coordina convenios de colaboración con U.N. Habitat y el Consejo Consultivo del Agua para programas de fortalecimiento social e institucional para la gestión integral del agua.

Anexo. Hoja de cálculo, para estimar costo por métrico cúbico de agua de posibles fuentes

Concepto	Total disp. (m3/s)	Inversión por m3/s amortiz.. a 20 años, sin intereses, en MDP/año	Op&Mito/año, por m3/s, en MDP por año	Total MDP por año	Factor de ajuste, p/cantidad disponible ¹	Costo real MDP/año por m3/s	Costo por m3
Lagunas de infiltración de agua pluvial, cuenca arriba de zonas urbanas	3	7 lag	8	15	$0.75 \times 0.82 = 0.615$	24	0.76
Lagunas de infiltración de agua pluvial, incl. Saneamiento zonas urbanas	6	7 lag + 6	8	21	$0.75 \times 0.82 = 0.615$	34	1.08
Rehab PTAR desuso ² , p/infiltr.vía lagunas	1.0	3 ptar, 7 lag	3 ptar, 8 lag	21	$0.92 \times 0.6 = .552$	38	1.20
Pozos de absorción, agua pluvial	2.0	19	20	39	$0.9 \times 0.92 = 0.828$	47	1.49
Rehab PTARs desuso, p/infiltr. vía riego ³	1.7	2.8 ptar, 4 eq riego	3 ptar, 0.2 rieg	10	$0.82 \times 0.25 = 0.205$	48	1.52
Nuevas PTARs anaer. p/infiltr.vía lagunas	7.5	5.4 ptar, 7 lag	3 ptar 8 lag	23.4	$0.82 \times 0.6 = 0.492$	48	1.52
Nuevas PTARs anaerob. p/infiltr.vía riego	5.8	5.4 ptar, 4 eq riego	3 ptar, 0.2 rieg	12.6	$0.82 \times 0.25 = 0.205$	61	1.98
Agua de Presa Madín	0.5	11	50	61	0.82	74	2.35
Agua Vaso de Zumpango	2.5	12	51	63	0.82	77	2.44
Agua Presa Guadalupe	2.0	13	52	65	0.82	79	2.50
Agua Lago Xico, incl. Form. de bordes	4.0	12, 40	51	104	0.88	118	3.75
PTARs PSRAVM, vía lagunas infiltración	11.0	23	38	61	$0.82 \times 0.6 = 0.492$	124	3.93
Agua Vaso Zumpango, c/recup. Bordes	2.5	12, 50	51	113	0.82	138	4.37
Recup. Vol. vía preven.fugas, 1ª etapa	6.0	(5 pesos/m3 ahorrado)	130	158	1.00	158	5.01
Cerro de la Estrella, pozos de inyección	1.0	7, 4	84	141	$0.82 \times 0.98 = 0.804$	175	5.56
Acuífero de Tula, sin incl. costo tratamiento aguas residuales infiltradas	5.0	33	84	117	0.63	186	5.90
Recup. Vol. vía prevención de fugas, 2ª etapa (10 pesos/m3)	6.0			315	1.00	315	10.0
Cisternas escolares, agua pluvial	0.3	478	0	330	1.00	330	10.46
Pozos de inyección, aguas tratadas ⁴	2.0	32	241	273	$0.98 \times 0.82 = .804$	340	10.78
Rehab Cutzamala	3.0	9.5	315	324.5	0.63	515	16.33
Acuífero de Tula, incl. costo tratamiento aguas residuales infiltradas	5.0	33 más 178 PTAR ⁵	84 más 93 PTAR	388	0.63	616	19.00

- Para compensar pérdidas en el traslado entre punto de captación/extracción y punto de entrega, se utilizaron los siguientes factores de ajuste: para volúmenes transferidos entre cuadrantes, se supone una entrega de 63% del volumen original; para volúmenes a ser entregados al interior de un cuadrante, se supone la entrega de 82% del volumen original, para uso local, se supone una entrega de 92% del volumen original.
- Basado en diseños realizados por el Monroy H., O., para la rehabilitación de seis PTAR en los municipios de Chalco e Ixtapaluca, 2008.
- Basado en los sistemas de riego en el sur y norte de la Cuenca, se estima que se podrá convertir a riego, con fines de lograr además la infiltración, 1000 has. por cada m3/s disponible para este fin, a un costo de \$40 mil/ha., basado en costo de equipamiento (plantas de bombeo y líneas primarias) de nuevas zonas de riego con agua tratada en Tláhuac, 2008; para dar un costo final de 40MDP en infraestructura de riego por cada m3/s a infiltrar por esta vía.
- Monroy Hermosillo, Oscar. "La gestión anaerobia como parte medular de la sustentabilidad." XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales: La sustentabilidad en las grandes ciudades. 24 abril 2008.
- Suponiendo tasa de interés de 8% anual, y pago del tratamiento de 23 m3/s facturables, para lograr los 5 m3/s a reimportar, como está previsto por el Proyecto PTAR Atotonilco (Conagua 2008).

MEDIDAS PARA REFERIRSE A LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA

Millones de metros cúbicos (Mm³):

Utilizada a nivel de cuenca para referirse a volúmenes de almacenamiento de presas, vasos, lagos. Ejemplos: Capacidad almacenamiento potencial de Vaso de Zumpango, 100 Mm³ de Lago de Xico, 106 Mm³.

Millones de metros cúbicos al año (Mm³/año):

Refiera a grandes flujos constantes de agua a nivel de cuenca. Utilizada para las concesiones de agua subterránea ó superficial. Ejemplo: Vol. agua para usos agrícolas concesionada a Casas GEO = 4.1Mm³/año.

Metros cúbicos por segundo (m³/s):

Refiere a flujos constantes ó instantáneos. Utilizada para cuantificar vol. de agua potable importados, extraídos, trasladados ó utilizados; gastos de aguas residuales y capacidades de PTAR; vol. de picos de lluvia; cap. de plantas de bombeo y de túneles de desalojo. 1 m³/s = 31.536 Mm³/año.

Litros por segundo (lps):

Utilizada para medir flujos menores, por ejemplo, de ríos, pozos para extracción de agua de acuíferos, capacidades de sistemas municipales y PTAR menores. 1000 lps = 1 m³/s.

1 m³/s provee 150 litros por día para 576,000 habitantes sin fugas, ó para 420,400 habitantes con pérdida de 37% perdida a fugas.

Un lago con 100Mm³ de capacidad de almacenamiento, puede almacenar y proveer 171 Mm³/año, lo cual, después de la evaporación (40 Mm³/año, si profundidad es 6 m) es equivalente a 4.15 m³/s, suficiente para 2.4 millones de habitantes. (1.75 millones, con 37% perdida a fugas).

ACRÓNIMOS

- BID: Banco Interamericano de Desarrollo
- CADAM: Comisión de Agua y Drenaje del Área Metropolitana
- CAEM: Comisión de Agua del Estado de México
- CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
- CONAFOR: Comisión Nacional Forestal
- CNA/Conagua: Comisión Nacional del Agua
- CONAFOR: Comisión de Recursos Naturales del Gobierno del Distrito Federal
- DDF: Departamento del Distrito Federal, ahora Gobierno del Distrito Federal
- DGCOH: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (ahora Sistema de Aguas de la Ciudad de México)
- EPA: Environmental Protection Agency (Estados Unidos)
- GDF: Gobierno del Distrito Federal
- GRAVAMEX: Gerencia Regional del Valle de México y Sistema Cutzamala (ahora Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México)
- IMTA: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- INE: Instituto Nacional de Ecología
- INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
- JBIC: Banco Japonés para la Cooperación Internacional
- LAN: Ley de Aguas Nacionales
- LDRS: Ley de Desarrollo Rural Sustentable
- LGAH: Ley General de Asentamientos Humanos
- LGDFS: Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
- LGEEPA: Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente
- MDP: Millones de pesos
- OPS: Organización Panamericana de Salud
- OCAVM: Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México
- ODAPAS: Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
- PMDU: Plan Municipal de Desarrollo Urbano
- PROBOSQUE: Protectora de Bosques del Gobierno del Estado de México
- PSAH: Programa de Pagos por Servicios Ambientales Hídricos
- PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- SACM: Sistema de Aguas de la Ciudad de México
- SEDESOL: Secretaria de Desarrollo Social,
- SEMARNAT: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- UACH: Universidad Autónoma de Chapingo
- UAM: Universidad Autónoma Metropolitana
- UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
- USAID: United States Agency for International Development