

Nota técnica

Módulo experimental de recarga de acuíferos

Nelson Piñón Martínez

Comisión del Lago de Texcoco, CNA

En el Valle de México, la extracción de agua subterránea ha provocado la sobreexplotación de los acuíferos, ya que la recarga es bastante menor que la extracción; debido a esto, ha surgido la necesidad de aprovechar las aguas residuales que se originan en el valle. La recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas, se considera como uno de los métodos más atractivos, dependiendo de la recarga para el fin que se requiera el agua, de la disponibilidad de superficies y de las características del subsuelo en que se infiltrará. Con fines de investigación, en el Ex-Lago de Texcoco se efectúan trabajos experimentales con la infiltración de aguas tratadas a nivel terciario por medio de pozos de absorción, a profundidades de 80 a 200m para determinar si las características físico-químicas y bacteriológicas del agua sufren cambios importantes al atravesar los estratos permeables; establecer las posibilidades físicas de aplicar recarga en la zona del valle y la factibilidad de utilizar intensivamente esta tecnología.

Antecedentes

La cuenca del Valle de México, con una superficie de 9 600 km², tiene una precipitación media anual de 700 mm equivalente a un gasto de 213.0 m³/s y una evapotranspiración potencial media anual de 600 mm que corresponde a 181.4 m³/s. Por otro lado, la recarga por infiltración representa 27.0 m³/s y se extraen de los acuíferos 53.0 m³/s, por lo que la sobreexplotación es de 26.0 m³/s, es decir, casi el 100%, (CIEPSCS, 1984).

En estas condiciones y por la necesidad de satisfacer las demandas de la gran metrópoli, se considera poco factible suspender a corto plazo la extracción de agua subterránea, por lo que las acciones para incrementar la infiltración, o la aplicación de recarga artificial son las únicas opciones para aumentar los volúmenes de agua subterránea en el Valle de México y reducir el desequilibrio geohidrológico existente.

La recarga artificial de los acuíferos es uno de los métodos más atractivos, cuya finalidad contempla tres objetivos básicos:

Almacenamiento y control

Permite aumentar la disponibilidad de las aguas

subterráneas, reducir el desequilibrio existente en las zonas con deficiencias por sobreexplotación y funciona como barrera hidráulica para impedir el paso de aguas contaminadas o salinas hacia los acuíferos de mejor calidad.

Tratamiento

El flujo lento de un influente a través de un medio permeable produce una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos como filtración, absorción, nitrificación, desnitrificación, intercambio iónico y remoción de virus y bacterias, lo que mejora la calidad del agua, dependiendo de las características hidrogeológicas y químicas del suelo y de la calidad del agua incorporada.

Dilución

Agua de mejor calidad se mezcla con otra de calidad inferior a fin de obtener características que satisfagan un uso específico del producto.

Los influentes comúnmente utilizados son las corrientes superficiales de ríos, deshielos, o lluvia, o bien aguas residuales tratadas, según la disponibilidad y las características geológicas. Los métodos empleados para la infiltración son:

los campos de recarga en zonas permeables naturales o excavadas, que se aplican en regiones con buena permeabilidad superficial formadas por gravas y arenas (materiales aluviales), y con superficies disponibles donde construirlos.

El otro gran grupo de técnicas recurre a pozos de recarga a presión o sin ella, para infiltrar el agua en estratos específicos; se emplean en sitios donde no existe disponibilidad de superficies para recarga, o donde los estratos superficiales son poco permeables y de espesor considerable (CIEPSCS, 1984).

En nuestro país, los primeros intentos de recarga de acuíferos se realizaron en los años cincuenta, al construirse tres pozos en la Presa Mixcoac en el D.F., a fin de infiltrar los escurrimientos en la época de lluvias. Sin embargo, por tratarse de escurrimientos torrenciales, continuamente se azolvaban por lo que requerían de un intenso mantenimiento y limpieza (Murillo y Piñón, 1985).

Con este marco de referencia, la Comisión del Lago de Texcoco (CLT) inició a mediados de 1985 un proyecto denominado *Módulo experimental de recarga de acuíferos*, tendente a definir la factibilidad técnica y económica de recargar artificialmente los acuíferos con agua residual tratada a nivel terciario.

Actualmente dicha Comisión cuenta con una capacidad instalada para tratar a nivel secundario 1.5 m³/s de aguas residuales del Río Churubusco, por lo que existen volúmenes de aguas residuales susceptibles de aprovecharse en actividades agrícolas o industriales, o bien, para su infiltración en los acuíferos mediante el tratamiento previo requerido en cada caso. Los principales objetivos consisten en determinar las posibilidades técnicas, la conveniencia y el costo de aplicación de la recarga en pozos de infiltración mediante aguas tratadas a nivel terciario, en las que se evalúan las variaciones de los niveles piezométricos y las características físico-químicas y bacteriológicas, y se establecen las condiciones que influyen en la instalación, operación y conservación del sistema, los principales beneficios y desventajas del proceso y las modificaciones requeridas para mejorarlo.

Características del proyecto

Este proyecto se localiza en la zona federal del Ex-Lago de Texcoco en un área aproximada de 1 km², entre el lago Dr. Nabor Carrillo, la Planta de Tratamiento de Nivel Secundario,

el Lago Recreativo y las Lagunas Facultativas. Comprende ocho piezómetros de 2" de diámetro y 80m de profundidad, y otros dos de 6" de diámetro y 180 y 160m de profundidad, respectivamente, así como tres pozos, dos de 200m y uno de 160m de profundidad y un tubo ranurado a 12m (véase ilustración 1). Además existe una línea de conducción de 8" de diámetro que parte del tanque de cloración de la planta de tratamiento terciario y llega hasta los pozos RA-1 y RA-2. Esta línea es la que dotará del agua por infiltrar a los pozos y tiene una longitud de 100m. Aledaña a esta zona se encuentra la planta de tratamiento terciario que consta de un fraccionador de espuma, un tanque de floculación, un filtro de arena antracítica, un tanque de carbón activado y otro de cloración. Esta planta tiene una capacidad instalada de 50 l/s.

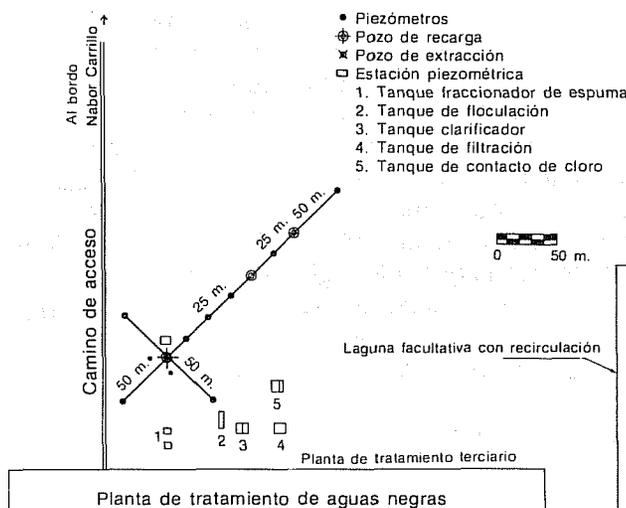
Trabajos realizados

Trabajos previos

A fin de llevar a cabo este proyecto, primero se recopiló la información existente sobre la subcuenca de Texcoco y después se analizó para conocer el sitio donde se podría aplicar. A partir de lo anterior, se consideran cuatro formaciones en la zona:

- Volcánica. Constituida por los cerros ubicados al norte y sur del Ex-Lago de Texcoco, consistente en rocas ígneas y materiales piroclásticos (tezontle).
- Aluvial. Localizada al este del ex-lago, con estratos intercalados de materiales permeables

1. Zona de recarga



e impermeables, sometida a una explotación de los acuíferos.

- Lacustre. Con estratos impermeables de 50m de espesor.
- Aluvial profunda. Ubicada bajo el ex-lago, con algunos estratos arcillosos y limosos intercalados en estratos arenolimosos y arenosos a profundidades mayores de 50m (SARH-Planimex, 1981).

La estratigrafía utilizada para la geohidrología se basó en la obtenida de los pozos perforados en la zona, en los años 1979 a 1981; estos pozos tienen una profundidad que va de 150 a 200m. Además, se basó en la información proporcionada en la publicación *El Proyecto Texcoco* (SHCP, 1969).

Como apoyo a estos trabajos, se pidió la colaboración de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cual corrió registros eléctricos en los pozos perforados para recarga de acuíferos (véase ilustración 2), con los cuales se determinó la estratigrafía al compararse con los resultados antes señalados. Esta estratigrafía es la que se aplica a este proyecto de *Recarga de Acuíferos* (véase ilustración 2). Se clasifica en general de la siguiente manera:

de 0 a	30m =	arcilla
30 a	40m =	1ra. capa dura (limos-arenosos)
40 a	60m =	arcilla
60 a	68m =	2da. capa dura (limos-arenosos)
68 a	80m =	arcilla
80 a	200m =	depósitos profundos (gravas, limos y arenas)

Se decidió aplicar infiltración al acuífero profundo en la zona central del ex-lago por todo lo anterior y por disponer de agua residual tratada, contar con un acuífero poco explotado y con aprovechamientos para fines no domésticos, con superficie suficiente y con posibilidades de ampliar la zona de estudio.

Construcción de pozos

Con auxilio de la Dirección de Aguas Subterráneas de la Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos de la SARH, se perforaron dos pozos a 200m de profundidad y uno a 160m, en el lapso comprendido entre diciembre de 1985 y febrero de 1987 (Comisión del Lago de Texcoco, 1987), pensando en inyectar en uno de ellos y utilizar los otros dos para

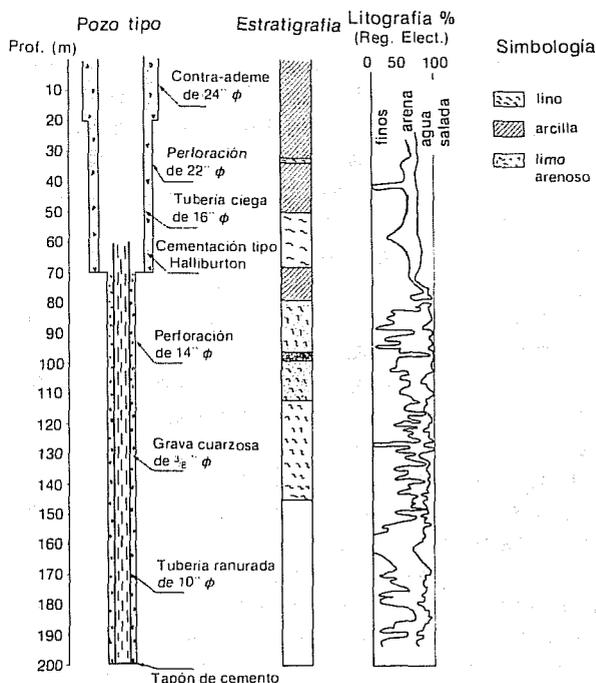
observación. Los tres se realizaron en tres etapas y después se aforaron y limpiaron, entre abril y noviembre de 1987; la limpieza únicamente se realizó en dos de ellos por no contar con presupuesto (Comisión del Lago de Texcoco, 1986). Los tres se construyeron iguales a los realizados en la zona federal, aprovechando así la experiencia de la Comisión.

Los pozos perforados cuentan con un ademe telescópico que comienza con un tubo de 24" de diámetro de ademe externo, y llega hasta la tubería de 10" de diámetro en la parte inferior. El ademe es ciego de 0 a 70m y ranurado de 70 a 200m (véase ilustración 2). El diseño de tres pozos iguales proporciona flexibilidad en la operación, además de que permite aplicar la inyección a presión en etapas posteriores si así se requiere. Su proyecto corresponde esencialmente a un pozo de bombeo, lo que permitirá ampliar las experiencias a otras zonas del país y, en su caso, emplear los pozos de bombeo existentes para recargar los acuíferos, es decir que cumplan con la doble finalidad de extracción y recarga.

Fuentes de inyección

El agua de infiltración se obtendrá en la planta

2. Proyecto de pozo, estratigrafía y registro eléctrico



piloto experimental que consta, en su primera etapa, de un sistema fraccionador de espuma, mezcla rápida de reactivos, floculador mecánico, clarificador de placas paralelas, sistema de filtros rápidos, filtros de carbón activado y tanque de contacto de cloro. Para una siguiente etapa, se complementará con una unidad de remoción de amoníaco, otra de recarbonatación, y un sistema de lirio acuático y ósmosis inversa. Esta planta se puede alimentar con los efluentes de la planta de lodos activados, de la laguna facultativa o del lago Nabor Carrillo cercanos al área de experimentación y que actualmente se encuentran en operación.

En el lago Nabor Carrillo se descargan las aguas tratadas, que mejoran ahí su calidad debido a su largo tiempo de retención, por lo que es la opción de más factibilidad. La operación del sistema de tratamiento terciario y del de infiltración se realizará, inicialmente, en forma independiente para establecer los procedimientos, los niveles óptimos de eficiencia y los de estabilización operativa; posteriormente, se trabajará en forma conjunta. Para llevar el agua de la planta de tratamiento terciario –y del tanque de cloración– a la boca de los pozos, se construyó una línea de 100m de longitud y de 8" de diámetro, en material PVC. Además, se colocó una bomba de 50 l/s, de 40 HP, con potencia suficiente para hacer llegar el agua hasta los pozos.

Seguimiento y control

Para determinar los efectos tanto en el subsuelo como en la calidad del agua, se efectuó un análisis físico-químico del agua de los pozos, así como del agua tratada en la planta de lodos activados y del influente de la planta de tratamiento terciario (Instituto de Ingeniería, 1987), con la finalidad de conocer la calidad del agua que va a ser tratada en la planta terciaria, de tal manera que el control y el seguimiento indiquen los cambios efectuados en el agua subterránea.

En el estudio realizado se indica, como dato interesante, la conveniencia de cambiar de sitio la obra de toma para la planta de tratamiento terciario, aunque esto todavía será discutido y apoyado por tomas de muestras donde se investiguen los contenidos de nitrógeno y coliformes. Además de lo anterior, se realiza el seguimiento de las variaciones de pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO, sólidos suspendidos totales y disueltos, coliformes fecales y totales, sulfatos, cloruros, sodios, potasio, calcio, magnesio, plomo y nitrógeno en todas

sus formas, en agua de los pozos de recarga y en los piezómetros de 6" de diámetro. Desde la instalación de los piezómetros, se han realizado mediciones periódicas con una frecuencia mínima de 4 por mes y los resultados se han graficado con respecto al tiempo en hojas especiales. En los resultados arrojados por los piezómetros profundos e intermedios instalados en la zona, se observan niveles localizados entre los 20 y 24m de profundidad. El nivel del agua freática en la zona se ha localizado entre 0.6 y 1.19m, en tanto que los niveles estáticos en los pozos se detectaron entre los 22 y 26m en promedio. Los niveles dinámicos fluctuaron entre los 38 y 39m para un gasto de cincuenta litros por segundo. En cuanto a las permeabilidades, se hicieron pruebas, tanto de laboratorio como de campo y se obtuvo una variación promedio entre 10(-2) y 10(-4) cm/s (Comisión del Lago de Texcoco, 1986).

Trabajos complementarios

A fin de tener bases sólidas en este proyecto, se han realizado varios estudios como el de geofísica en el área de recarga, que permitió localizar cuatro unidades; las dos primeras son superficiales y de baja resistividad, con profundidades hasta de 50m, constituidas posiblemente por arcillas lacustres. La unidad 3 puede corresponder a arcillas o bien a materiales granulares saturados con aguas saladas y tiene un espesor promedio de 110m. La última puede estar formada por grava o arena saturadas con agua de mala calidad (Comisión del Lago de Texcoco, 1986b).

Otro de los estudios fue el de inyecciones de fluoresceína, que permitió observar la baja transmisibilidad del acuífero y la dirección del flujo, que resultó diferente de la pensada originalmente, ya que va de oriente a poniente (Comisión del Lago de Texcoco, 1987).

Paralelamente a los trabajos de campo, el Instituto de Ingeniería, contratado por esta Comisión, realizó un modelo numérico simulando la distribución de ciertos elementos en el subsuelo y su velocidad de propagación (Instituto de Ingeniería, 1986). Este modelo se aplicará cuando se conozca la calidad del agua por infiltrar.

Pruebas de inyección

El 26 de noviembre de 1987 se realizó una serie de pruebas de inyección de agua potable con la finalidad de conocer la capacidad de infiltración en dichos pozos, para lo cual se usaron 3 pipas

de 10 000 l de capacidad cada una. La primera comenzó a las 11:22 horas cuando el nivel estaba a 23.30m y se utilizó únicamente una pipa con una descarga de 4" de diámetro, que desalojó toda el agua en 10 minutos. La segunda prueba se inició a las 12:13 horas con un nivel estático de 23m, se utilizaron las 3 pipas, que en conjunto hacían una descarga de 10" de diámetro. Esto ocasionó que el pozo se llenara a los 7 minutos, por lo que se redujo el área de descarga dejándolo en 6" de diámetro, y se mantuvo así el nivel del agua aproximadamente a los 15 metros.

Con esto se obtuvo un gasto de infiltración de 20 l/s. Se considera que este gasto tenderá a disminuir con la operación continua debida a la sobre-saturación de los estratos y al taponamiento de la tubería, sin embargo, considerando que su comportamiento sería diferente entre la extracción y la recarga, se hicieron pruebas de inyección con aguas blancas, obteniéndose para infiltración exclusivamente por gravedad, con una carga de 25m de agua, capacidades de 27 l/s/pozo. Puesto que la planta de tratamiento terciario tiene capacidad para 50 l/s, se cambió el proyecto y se utilizarán dos de los pozos para inyección y el tercero para observación.

Cabe aclarar que cuando se hicieron las pruebas para la operación de la Planta terciaria (octubre de 1988), se aprovechó para llenar los pozos y verificar su capacidad de infiltración, que varió entre 20 y 23 l/s.

Conclusiones

La recarga artificial de acuíferos con aguas tratadas a nivel terciario representa una opción para liberar aguas subterráneas de buena calidad y destinarlas al uso doméstico, con lo que se pueden aprovechar adecuadamente tanto las aguas potables como las residuales; estas últimas son las únicas excedentes en la cuenca.

Los pozos perforados son semejantes a los requeridos para extracción de agua en toda la República Mexicana, por lo que, si este proyecto tiene éxito se aplicaría en pozos abandonados.

Los piezómetros indican un nivel aproximado de 23m de profundidad que coinciden con los niveles estáticos monitoreados en los pozos de recarga. Esto indica la posibilidad de que los piezómetros se encuentren en el mismo acuífero que los pozos, lo que permitirá hacer un seguimiento adecuado.

Se desarrolló un modelo matemático que se utilizará cuando se conozca la calidad del agua por infiltrar.

El influente de la Planta de tratamiento terciario aún no se ha definido, debido a que la zona de donde se pensaba extraer el agua, el Lago Dr. Nabor Carrillo, es de menor calidad que la de planta de lodos activados, por lo que será necesario continuar con el monitoreo para detectar el sitio más adecuado.

En las pruebas de inyección con aguas blancas se determinó que la capacidad de infiltración es de 20 a 23 l/s, por lo que se usarán dos pozos para inyectar y uno de observación.

En función de los diferentes trabajos desarrollados y de la información obtenida, es posible que se tenga que aumentar la carga hidráulica para poder infiltrar el agua de recarga y no únicamente vaciarla por gravedad, ya que se han obtenido permeabilidades y velocidades muy bajas, además de los problemas de taponamiento y saturación del suelo.

A fin de evaluar los beneficios y desventajas de la recarga con aguas tratadas, es necesario realizar experiencias a escala natural, que permitan conocer la evolución de la calidad del agua y la capacidad de infiltración y depuración del subsuelo. Así, el estudio en proceso ofrece una magnífica oportunidad para determinar la posibilidad física y económica de aplicar la recarga, así como de generar los procedimientos y experiencias para su aplicación intensiva, en caso de obtener resultados satisfactorios, o de definir la aplicación de otras técnicas, para mejorar las condiciones geohidrológicas en el Valle de México y otras regiones del país que presenten condiciones semejantes.

Referencias

- CIEPSCS, Estudio de aprovechamiento de aguas pluviales para recarga de acuíferos y uso habitacional e industrial, 1984.
- Comisión del Lago de Texcoco, Asesoramiento general en un módulo experimental de recarga de acuíferos, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1986.
- Comisión del Lago de Texcoco, Estudio geofísico de resistividad del módulo experimental de recarga de acuíferos, I, Pycsa, 1986.
- Comisión del Lago de Texcoco, Estudios de transmisibilidad del acuífero, LEOR-S.A., 1986.
- Comisión del Lago de Texcoco, Informe sobre desarrollo y aforo de pozos, Constructora LEG S.A., 1986.
- Comisión del Lago de Texcoco, Informe de trabajo para el Módulo experimental de recarga de acuíferos, PYCSA, VIII, 1986.
- Comisión del Lago de Texcoco, Módulo experimental de recarga de acuíferos, Instituto de Ingeniería, II, 1987.

Comisión del Lago de Texcoco, Perforaciones y cimentaciones, S.A.
Comisión del Lago de Texcoco, Segunda aplicación de trazadores en los pozos de recarga, LEOR S.A., 1987.
Dirección de Aguas Subterráneas, Informe de trabajos realizados en la construcción de tres pozos y el rescate de tuberías de perforación en apoyo a la Comisión del Lago de Texcoco, SH, VII, 1987.
Murillo R., y N. Piñón, Módulo experimental de recarga de acuíferos, Comisión del Lago de Texcoco, 1985.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Tratamiento y reuso de aguas residuales en el área del Ex-Lago de Texcoco, PLANIMEX, 1981.
Secretaría de Hacienda y Crédito Público, El proyecto de Texcoco, 1969.
Secretaría de Hacienda y Crédito Público, volumen Nabor Carrillo, 1969.
UNAM, Estado del arte referente a la predicción del mejoramiento de la calidad del agua por su paso al acuífero, Instituto de Ingeniería, II, 1985.