

SOBREEXPLORACIÓN Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Rosío Ruiz¹ y Gerardo Ruiz²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, UNAM, Circuito Exterior s/n, CP 04510, México D.F., MEXICO, e-mail: rosruur@yahoo.com.mx;

²Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado de Ingeniería, UNAM, Circuito Exterior s/n, CP 04510, México D.F., MEXICO, email: gerardui@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento de agua en la zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM); el suelo de esta zona es de tipo volcánico formando mantos acuíferos. La lluvia desempeña un papel importante en la recarga de los mantos ya que, al escurrir por la superficie del suelo se infiltra directamente en el subsuelo hasta llegar a los acuíferos.

Actualmente el volumen de agua que extraemos de los acuíferos es mayor que la que se recupera naturalmente por la lluvia, se extrae del subsuelo 45 m³/s y sólo se reponen 25 m³/s. En consecuencia se compacta el suelo y propicia el hundimiento, de 0.10 m por año, aunque en ciertos lugares como Xochimilco, Tláhuac, Ecatepec, Netzahuacóyotl y Chalco el suelo se ha compactado hasta 0.40 m en tan solo un año; por ello el agua que se extrae contiene cada vez mayor cantidad de minerales, que la hacen de menor calidad. Registros estadísticos muestran hundimientos anuales de 0.15 a 0.25 m alrededor del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, ver Figura 1.

Se analizaron 225 pozos en la Ciudad de México, midiendo el nivel estático y dinámico, en el año 2009. En varios pozos se pudo medir ambos niveles, pero en ocasiones sólo se midió uno de los niveles, ya sea por desuso del equipo de bombeo o que no se podía dejar de operar el pozo.

Con el análisis multitemporal se analizó y comparó las áreas de abatimiento y recarga de cada uno de los sistemas con los que cuenta la red de pozos de la Ciudad de México que se dividen en: Sistema Centro, Sistema Norte, Sistema Oriente, Sistema Poniente y Sistema Sur. También se pudo conocer el grado de sobre explotación del acuífero.

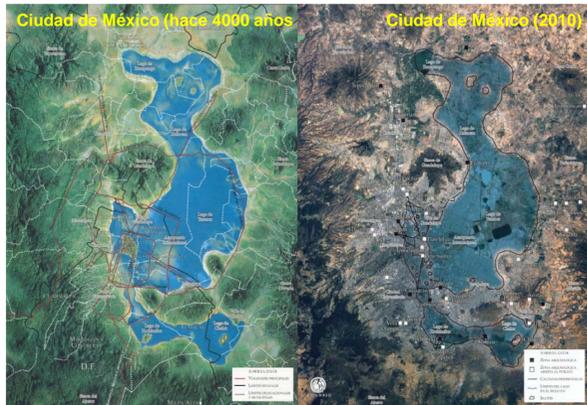


Figura 1. Evolución de la Ciudad de México.

ANTECEDENTES Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

En el Distrito Federal se distribuye por medio de tuberías que se forman por una red principal y una secundaria. La red principal de tuberías está formada por 690 km de longitud con tubos que miden de 0.5 m y 1.73 m de diámetro. La red secundaria de más de 10,000 km de tubería, con diámetro inferior 0.5 m y cuenta con 243 tanques de almacenamiento con una capacidad de 1'500,000 m³ con 227 plantas de bombeo que aumentan la presión en la red.

La necesidad de traer agua desde cuencas fuera del Valle de México obedeció en gran parte al hundimiento de la ciudad de México, ocasionado por los primeros impactos de la extracción de agua del subsuelo. El intenso crecimiento de la población a partir de los años cincuenta hizo evidente que las fuentes subterráneas no serían suficientes para abastecer la demanda de miles de nuevos habitantes metropolitanos.

RESULTADOS

La configuración de la elevación del Nivel Estático, muestra que la carga hidráulica varía de 2035 a 2240 msnm. En la Figura 2 se observa que las cotas más altas de 2240 msnm se encuentran en la zona poniente y descienden hacia el centro de la ciudad. Asimismo, en la zona Sur en Santiago Tepalcatlapan, cotas de 2225 msnm y descienden a la zona de Coyoacán hasta alcanzar valores del orden de 2175 msnm en las faldas del cerro de la estrella en Iztapalapa, ver Figura 3. En el parteaguas subterráneo dinámico con carga hidráulica de 2180 msnm que se localiza entre las delegaciones Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza, corresponde al límite entre los acuíferos de la Ciudad de México al poniente y el de Texcoco al oriente.

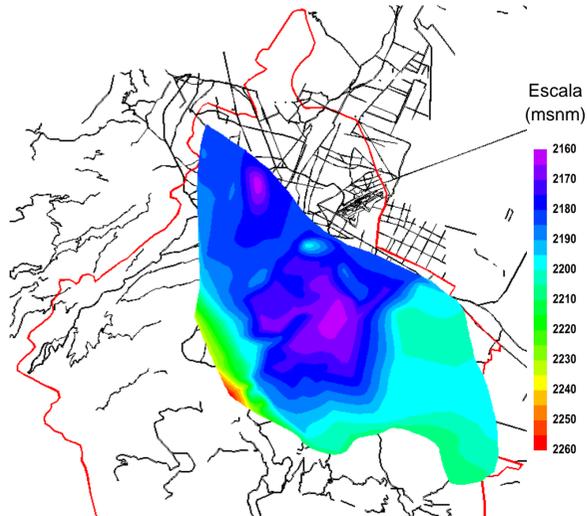


Figura 2. Nivel estático medido en 2009 respecto a msnm del acuífero de la Ciudad de México.

La configuración de la elevación de los niveles dinámicos del agua subterránea medidos en el 2009, se ven en la Figura 3, se usó el mismo procedimiento descrito en la elevación del nivel estático. Se muestra que la carga hidráulica varía de 2030.15 a 2261.45 msnm. Debido a que se tiene un menor número de mediciones en el nivel dinámico comparativamente con el estático, se aprecian un menor número de cotas, sin embargo se aprecia claramente la tendencia en la dirección de flujo que se presenta en los pozos medidos.

Se observa que las cotas más altas se encuentran en la zona sur y descienden hacia el centro de la Ciudad de México. Aunque existe un punto aislado de 2230 msnm cercana a Xochimilco que provoca un descenso del flujo hacia la zona de Iztapalapa, ver Figura 4.

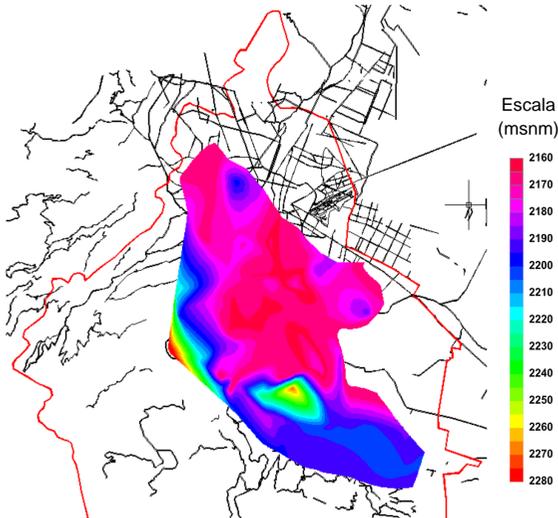


Figure 3. Nivel dinámico medido en 2009 respecto a msnm del acuífero de la Ciudad de México.

Evolución del nivel estático 1985-2009

Con base en los datos piezométricos de la red de pozos obtenidos en 1985, comparados con los medidos en 2009, ver Figura 4, se obtiene la evolución, con base en mediciones, del acuífero en el periodo. Se observan valores de abatimiento y de recarga que van de 36.93 m a 33.87 m respectivamente, ambos presentándose en el sistema Sur, el pozo No. 165 tuvo el mayor abatimiento y el pozo Per-9 la mayor recarga.

La principal recarga al acuífero corresponde a la infiltración por lluvia que se genera por las elevaciones topográficas, principalmente en la porción sur, debido a la alta permeabilidad de las rocas, le siguen en importancia la Sierra de las Cruces al poniente con una permeabilidad media. El agua subterránea circula de las sierras hacia el centro del valle. Del total de valores reportados en 1985 y comparados con los medidos en este año, se observa que solo tres estaciones tuvieron recarga los cuales fueron: Santa Cruz Xochitepec, Periférico 9 y Periférico 19, lo anterior debido probablemente a industrias que dejaron de operar.

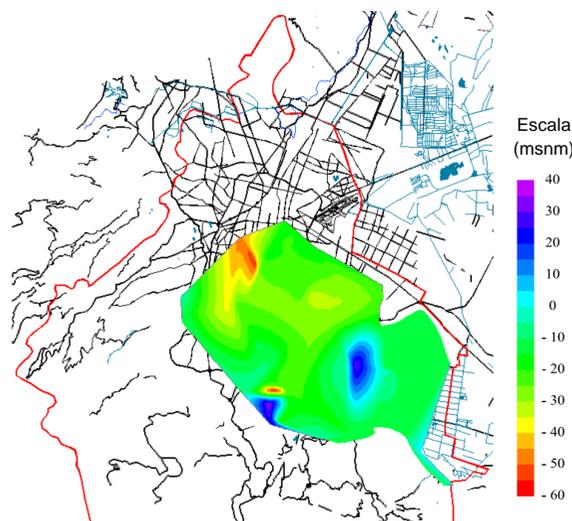


Figure 4. Evolución del nivel estático 1985-2009 del acuífero de la Ciudad de México, México.

Evolución del nivel estático 2005-2009

En la Figura 5 se muestra la configuración de la evolución que ha sufrido el nivel estático en el periodo 2005-2009. En este periodo, se ha presentado un abatimiento en el nivel del acuífero de 44.1 m, ubicado en el pozo denominado Santa Catarina No. 12 del Sistema Oriente y una recarga máxima en este periodo de 11.15 m en el pozo No. 69 Jardines del Pedregal, ubicado en el sistema Centro. De todos los sistemas que se compone la Ciudad de México el sistema con mayor recarga es el sistema Norte con recargas del orden de 2 a 4 m.

De acuerdo a la información que se presenta en el plano, se observa que la recarga del acuífero se encuentra en la zona suroeste y decrece hasta convertirse en fuertes abatimientos en las zonas de Iztapalapa y Venustiano Carranza.

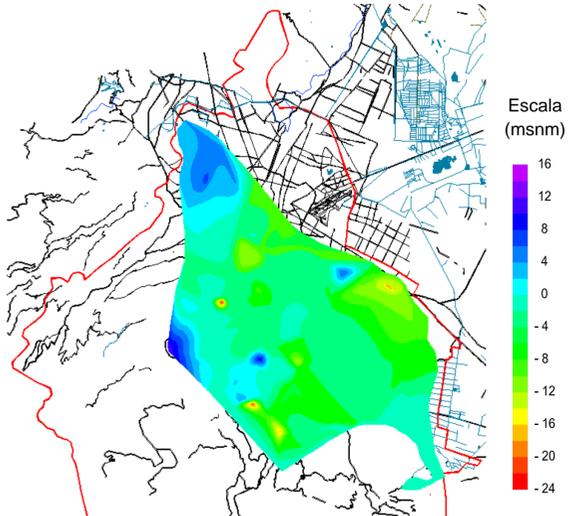


Figura 5. Evolución del nivel estático 2005-2009 del acuífero de la Ciudad de México, México.

Ecuación de balance

Para el balance de aguas subterráneas se registraron y evaluaron las entradas, salidas y el cambio en el volumen de almacenamiento, generalmente esto se hace para un determinado lapso de tiempo.

Es importante señalar que teniendo en cuenta la metodología y los alcances del estudio, los resultados que siguen no son definitivos ni representan el juicio de investigaciones exhaustivas.

Sobre la base de la información disponible, se valoró el Subsistema acuífero de la Ciudad de México, durante el periodo 2005 al 2009.

La ecuación de balance, establece: Las entradas son iguales a las salidas más el cambio en el almacenamiento.

Entradas por flujo subterráneo (Es), salidas por Extracción por bombeo (Ext) y cambio de almacenamiento es el producido por la sobreexplotación (As)

Por lo tanto, la ecuación queda:

$$Es = Ext. + As \quad (1)$$

Entrada por flujo subterráneo

La entrada de agua al sistema corresponde al aporte por flujo subterráneo o entrada subterránea (Es) proveniente de las infiltraciones que se generan en las estratificaciones del acuífero.

El flujo subterráneo se calculó utilizando la Ley de Darcy, en donde se establece que el caudal Q que pasa a través de una sección de terreno es igual a la transmisividad "T" del material por la longitud "b" del área considerada, multiplicada a su vez por el gradiente hidráulico "I".

Es decir:

$$Q = T * b * I \quad (2)$$

donde:

I, gradiente hidráulico, es el cambio en carga hidráulica por unidad de distancia en una dirección dada, siendo esta dirección siempre hacia donde se reduce dicha carga y por lo tanto el gradiente es el que establece la dirección del flujo subterráneo.

l, espesor del medio poroso [L]

b, longitud de área [L]

Q, gasto [L³ T⁻¹]

T, transmisividad [L² T⁻¹] y que indica ser la medida del volumen de agua por unidad de tiempo que puede transmitirse horizontalmente a través del ancho unitario del espesor saturado de un acuífero bajo la influencia de un gradiente hidráulico, también unitario.

Δh, pérdida hidráulica entre dos puntos medidos [L]

Los valores de T, se obtienen mediante la interpretación de pruebas de bombeo, realizadas en pozos.

Salida del flujo subterráneo

En este estudio solo se contempló la extracción por bombeo. Con base en la información proporcionada por el Sistema de aguas de la Ciudad de México en cuanto a la extracción de agua mensual en los 225 pozos considerados en el periodo 2005-2009, se calculó el valor promedio de gasto de operación, ver Figura 6.

En la Tabla 1 se observa que el cambio de almacenamiento es negativo, indica que el volumen de la explotación es mayor que el de las entradas con una diferencia neta de 117,435,934.3 m³/año.

Tabla 1. Cambio en el almacenamiento

	Entrada	Salida	Almacenamiento
Volumen Total (m ³)	371,908,553	489,344,487	-117,435,934
Q total (m ³ /s)	11.793	15.517	-3.724
Sobre-explotación (%)			31.6

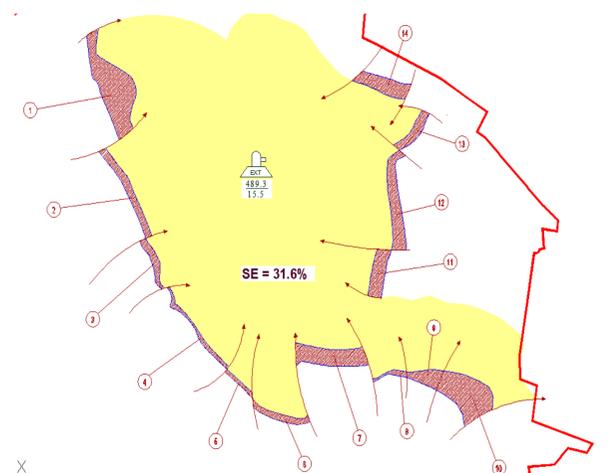


Figure 6. Porcentaje de sobreexplotación del acuífero de la Ciudad de México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan el agradecimiento al Sistema de Aguas de la Ciudad de México por los datos proporcionados y por el patrocinio del trabajo, así como a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México donde se realizó este trabajo.

CONCLUSIONES

La cuantificación de sobreexplotación del acuífero, está sujeta a dificultades metodológicas, deficiencias de datos e incertidumbres debido a:

La gran variabilidad espacial y temporal de los eventos de precipitación y escurrimiento.

La importante variación horizontal de los perfiles del suelo y de las condiciones hidrogeológicas.

Sin embargo, para efectos prácticos, es suficiente hacer estimaciones y afinarlas posteriormente por medio del monitoreo y el análisis de la respuesta de los acuíferos por la extracción a corto y mediano plazo.