

Hidrología subterránea en el valle de México

Dirección General de Construcción y Operación
Hidráulica/Secretaría General de Obras/DDF

Una de las acciones de mayor prioridad del Departamento del Distrito Federal (DDF), es la preservación de las fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de México. En virtud de esto, cada año, entre otras actividades, se realizan mediciones de la profundidad del agua del acuífero del valle de México, el cual representa la fuente de abastecimiento más importante para la ciudad, ya que de él se obtiene el 66% del caudal suministrado. Con estas mediciones, se realizan los análisis que permiten determinar la evolución de los niveles del agua en el acuífero, su flujo y el cambio en su almacenamiento.

Características del acuífero

El acuífero de la zona sur del valle de México ha sido dividido en tres subsistemas de acuerdo con su ubicación y tipo de rocas que lo conforman: (1) zona metropolitana, incluyendo Xochimilco; (2) valle de Chalco y (3) ex lago de Texcoco (véase ilustración 1). El primero abarca de hecho toda la zona urbana de la capital; está constituido esencialmente por materiales granulares de permeabilidad media y baja, y sus sitios de recarga se ubican básicamente en la sierra de las Cruces y los alrededores de Tlalpan. Además, al oriente de la ciudad, a la altura del aeropuerto, existe un flujo subterráneo que corre en dirección este-oeste hacia la zona centro. Dentro de este subsistema existen dos conos piezométricos: uno se localiza en el área de Azcapotzalco y el otro en la de Tlalpan-Xotepingo-Cuemanco.

El segundo corresponde al valle de Chalco, y su esquema de flujo se ha independizado del resto del valle. En este caso, la recarga se realiza por la infiltración del agua de lluvia en las estribaciones de las sierras de Santa Catarina, Chichinautzin y Nevada, que lo limitan al norte, sur y este, respectivamente.

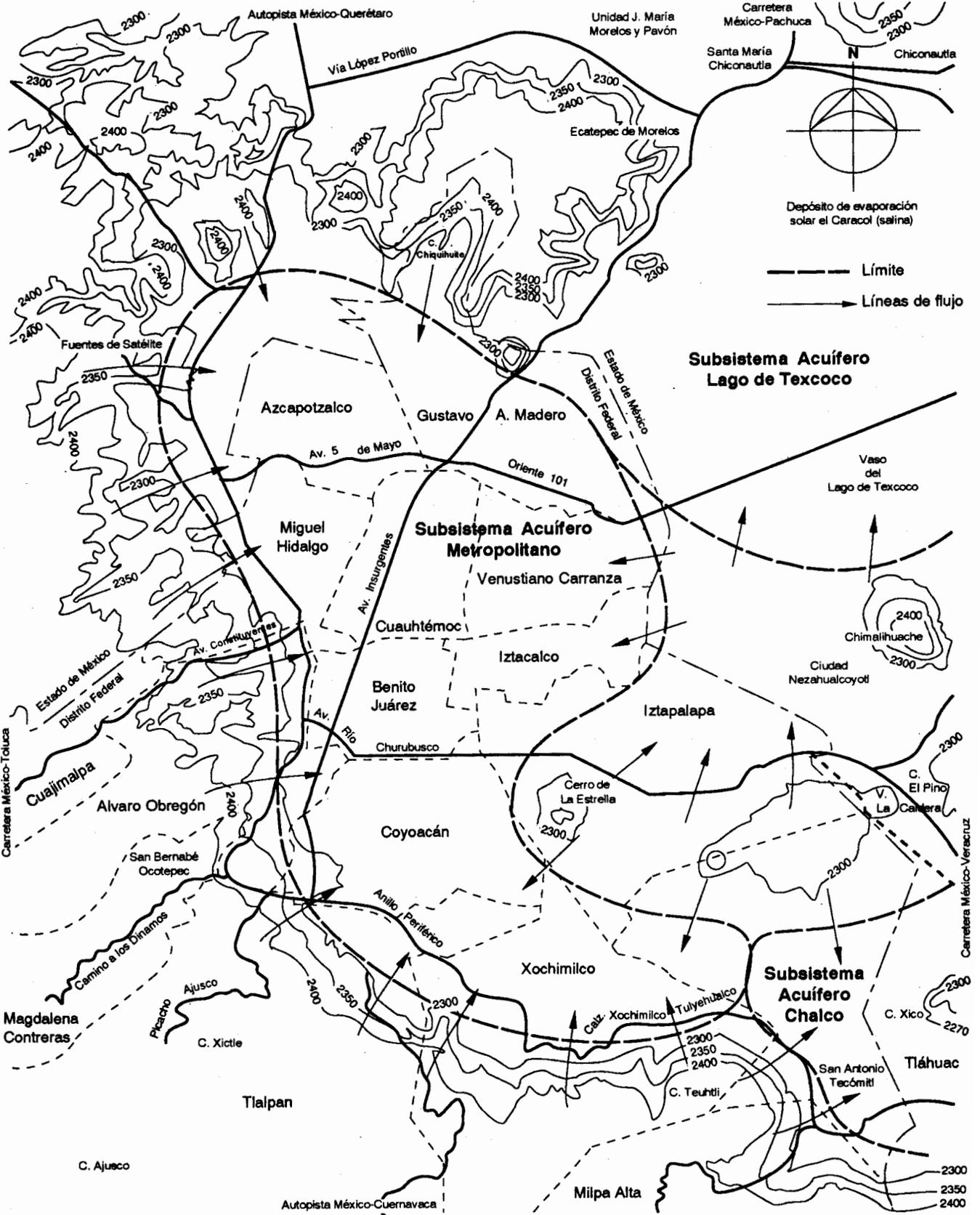
Las rocas que forman las sierras al norte y sur del valle corresponden principalmente a basaltos

y materiales piroclásticos de alta permeabilidad, algunos de los cuales presentan prolongaciones hacia el centro del valle intercaladas con aluviones. Al este, se encuentran andesitas y materiales piroclásticos de permeabilidad media a baja; el flujo subterráneo se dirige, de las elevaciones topográficas mayores, hacia el valle de Chalco. En la parte central de éste se presenta un cono piezométrico, alrededor de la batería de pozos Tláhuac-Neza.

El tercer subsistema acuífero corresponde al área del ex lago de Texcoco, y de acuerdo con estudios recientes, podría ser geológicamente independiente del resto del valle, aunque existe una correlación hidráulica con el subsistema metropolitano. Cuenta con una recarga procedente de la sierra, ubicada al oriente de Chicoloapan de Juárez, la cual fluye en dirección al vaso del ex lago de Texcoco.

Los materiales que constituyen esta zona son de baja permeabilidad, no existen extracciones considerables y el gradiente es casi nulo; el agua en el lago aparentemente no tiene movimiento, sin embargo, en la porción oeste del vaso, a la altura del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, se presenta un flujo subterráneo en dirección este-oeste, que incrementa el gradiente y pasa al primero de los subsistemas comentados.

1. Sistemas acuíferos del Valle de México



Configuración de la profundidad del nivel estático

Con los valores de la profundidad del nivel estático obtenido de la red de pozos del DDF, durante el mes de julio de 1991, se trazó la configuración de la profundidad y la elevación del nivel estático que se muestra en las ilustraciones 2 y 3, respectivamente.

En la zona metropolitana de la ciudad, las mayores profundidades, entre 180 y 70 m, se localizan al oriente de la sierra de las Cruces, en el área de las Lomas de Chapultepec, Santa Fe, el suroeste de Tlalpan y el sur de Xochimilco; estas profundidades se deben a la alta topografía en los flancos de la sierra.

En la parte central de la ciudad, en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez e Iztacalco, el nivel estático se encuentra a 40 m de profundidad y, hacia el oriente, en los alrededores de San Juan de Aragón, el aeropuerto internacional y Ciudad Nezahualcóyotl, se localiza a 30 m, en tanto que en el sur, en la zona de Coyoacán, se ubica entre 50 y 70 metros.

Por lo que respecta al valle de Chalco, el nivel estático varía de 10 a 100 m; los valores mayores se localizan hacia las estribaciones de la sierra de Chichinautzin, rumbo a Milpa Alta y San Francisco Acuautla. En la zona plana, la profundidad es de 25 a 40 m, con excepción de una porción al suroeste de Chalco, donde es menor a 20 metros.

En el vaso del ex lago de Texcoco, el nivel estático se encuentra a menos de 50 m; los valores altos se localizan al este y se hacen más someros, menores de 30 m, hacia el centro, donde el gradiente es muy bajo.

En el área comprendida entre Chiconautla y Ecatepec, la superficie piezométrica del acuífero se encuentra entre 40 y 50 m; los valores mayores se localizan hacia las sierras de Guadalupe y Chiconautla.

Elevación del nivel estático

La posición del nivel estático medida en los 300 pozos de la red piezométrica, se estableció teniendo como referencia el nivel del mar y utilizando las cotas de los brocales de dichos pozos, con lo cual se trazó la configuración de la elevación del nivel estático para el mes de julio de 1991 (véase ilustración 3).

Los valores más altos, de 2220 msnm, se localizan en la porción sur del valle, al pie de la

sierra del Chichinautzin y disminuyen gradualmente de las estribaciones de las sierras hacia el valle, hasta los 2200 msnm, al norte de la Ciudad Universitaria. Hacia la parte central y el norte del valle de México, se vuelven a detectar, al igual que para años anteriores, los conos piezométricos. En los alrededores de Azcapotzalco se encuentra uno de estos conos que abarca de la curva 2190 a la 2175. El gradiente hidráulico varía de 0.003 a 0.01.

En el área de Tlalpan-Xotepingo-Canal Nacional, se observa otro cono piezométrico demarcado por la curva 2185 msnm, que se ha estado formando desde 1986. En la zona central y sur de la ciudad se presentan las cotas más bajas de agua, a 2190 metros sobre el nivel del mar.

En el valle de Chalco, el acuífero es recargado por el este, norte y sur, donde se marcan las curvas 2210 y 2220 msnm. El flujo subterráneo circula hacia el centro del valle con un gradiente bajo, del orden de 0.003 en las orillas del mismo, y menor hacia el centro.

En el vaso del ex lago de Texcoco se detectó un flujo piezométrico del este al oeste en los alrededores de Chicoloapan marcado por las curvas 2205 y 2210 msnm que llega a los límites del ex lago. A la altura del aeropuerto internacional, existe un flujo hacia el oeste.

En el área de Chiconautla-Ecatepec, se definen curvas de 2210 y 2200 msnm, que indican un flujo subterráneo hacia el centro del valle, proveniente de la sierra de Guadalupe y del cerro de Chiconautla.

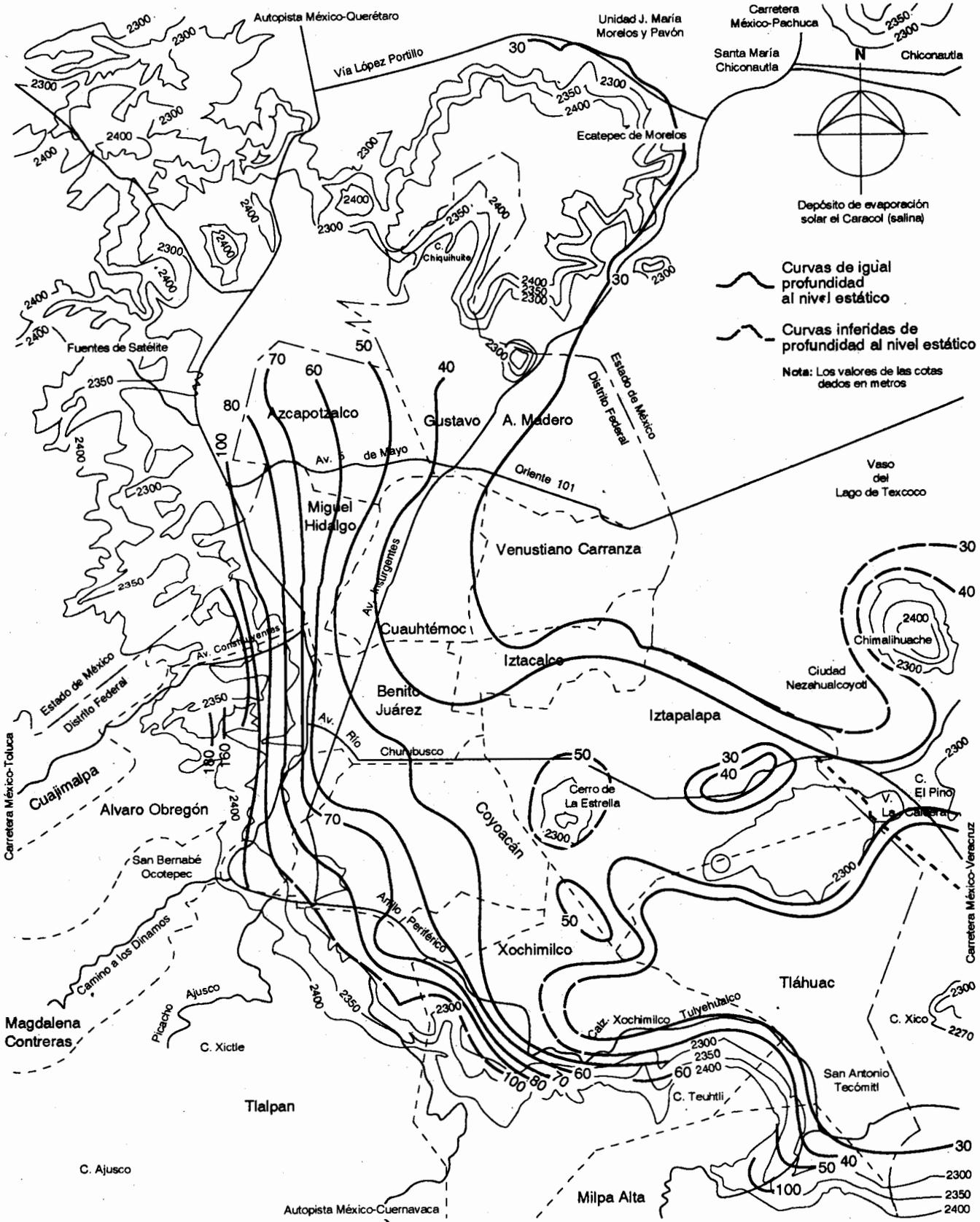
Evolución del nivel estático (1986-1991)

Con las observaciones piezométricas obtenidas en agosto de 1986 y julio de 1991, se calculó la evolución del nivel estático (véase ilustración 4). Se observa que la profundidad de dicho nivel ha aumentado y solamente en puntos aislados, como la porción nororiental de la sierra de Santa Catarina y San Antonio Tecómitl, y al norte de Azcapotzalco, se registraron pozos que muestran una recuperación del nivel.

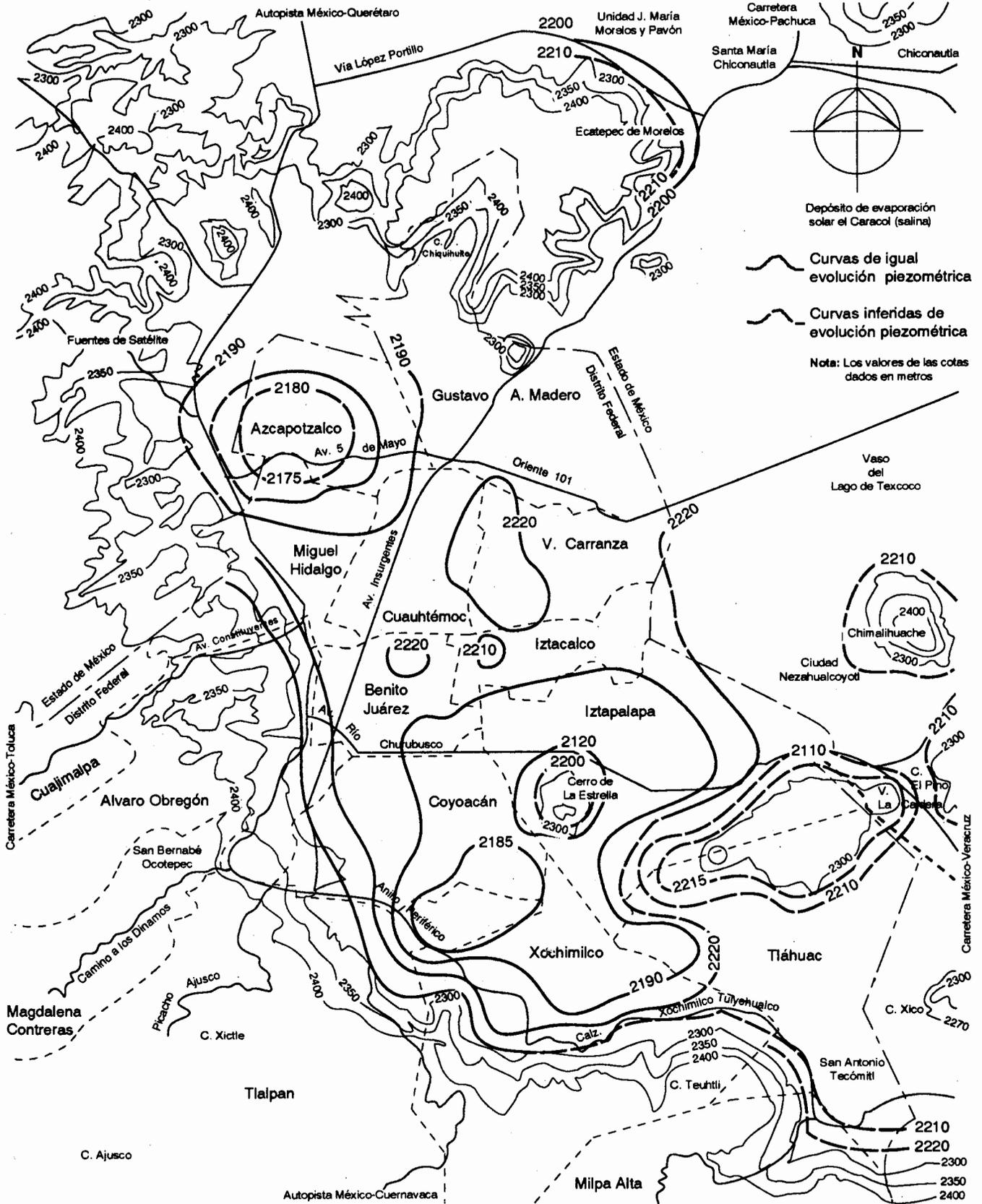
En la porción norte y noroccidental del valle de México se presentan abatimientos mayores de 5m, detectándose 3 zonas que forman conos cuyos abatimientos máximos, hacia la porción central, son de 6 m en Azcapotzalco, 7 en el área de Chapultepec y 6 entre las delegaciones Benito Juárez e Iztacalco.

Hacia la zona sur, correspondiente al área de Tlalpan, Coyoacán y Coapa, existe otro cono piezométrico en el que se registran abatimientos

2. Profundidad al nivel estático (julio 1991)



3. Elevación del nivel estático (julio 1991)



que van de 5 a 7 m. En el área de la batería de pozos Tláhuac-Neza, los abatimientos varían de 3 a 10 metros.

Hacia la zona de Chalco, los valores de abatimiento son del orden de 3 m y se incrementan a 6 hacia las estribaciones de las sierras, donde se realiza la mayor explotación de agua subterránea.

En el área de Chicoloapan, al sur de Texcoco, el abatimiento del nivel estático varía de 3 a 7 m en la zona agrícola; su configuración tiene una forma alargada y se localiza a ambos lados de la carretera que comunica a la ciudad de México con Texcoco.

Evolución del nivel estático (1990-1991)

Con los datos de los meses de julio de 1990 y 1991, se configuró la evolución de la superficie piezométrica, la cual se muestra en la ilustración 5. En ella se observa que la mayor parte de la zona metropolitana presenta abatimientos que varían de 0.5 a 1 m, con algunas regiones locales con abatimientos mayores o con recuperaciones del nivel. Así, en el área cercana a la confluencia de las avenidas Universidad y Río Churubusco, se detectó una zona con recuperaciones de hasta 2 m; en tanto que en puntos aislados de las Delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Azcapotzalco, se encontraron algunos que alcanzan los 2 metros.

En los alrededores de Xochimilco, en la batería de pozos de Mixquic-Santa Catarina-Chalco, los abatimientos anuales son del orden de 1 m; en la zona de Chicoloapan, en su mayoría van de 0.5 a 1 metro.

Cuantificación del flujo subterráneo

Para medir el flujo subterráneo en áreas consideradas como de recarga, se aplicó la Ley de Darcy para una sección o celda, las cuales se delimitaron mediante dos curvas piezométricas y dos líneas de corriente (véase ilustración 6).

Gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico se obtuvo para cada celda mediante la diferencia entre las alturas que representan las dos curvas piezométricas que la limitan, dividida entre la distancia que existe entre ellas.

Las celdas del flanco oriental de la sierra de Las Cruces y la sierra del Chichinautzin presentan valores de 0.0069 a 0.0166, en tanto que las localizadas al pie de la sierra de Santa Catarina

tienen un gradiente de 0.010 y 0.0091, mientras en la zona oriente se tiene uno de 0.010.

Transmisibilidad

A partir de 1984, el DDF a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, ha realizado pruebas de bombeo en pozos ubicados dentro del área metropolitana de la ciudad de México, las cuales se han interpretado por los métodos de Thiess y Jacob. Los valores de transmisibilidad obtenidos varían de 0.4 a $393 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; algunas pruebas no han sido interpretables, debido a que los pozos en que se realizaron se encuentran perforados en materiales basálticos de muy alta permeabilidad. Aquéllas realizadas con un pozo de observación presentan coeficientes de almacenamiento de 2×10^{-6} a 1.7×10^{-2} .

Recientemente, se han efectuado pruebas de bombeo cuyos valores de transmisibilidad variaron de 0.1 a $460 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. A partir de los datos obtenidos mediante las pruebas de bombeo, se calculó la transmisibilidad media para las celdas delimitadas. En las celdas extremas, en el límite de la zona metropolitana de la ciudad de México, la transmisibilidad adoptada varía de 8 a $12 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Cálculo del flujo subterráneo

El caudal subterráneo que fluye a través de las celdas se obtuvo de acuerdo con la expresión siguiente:

$$Q = (T)(b)(i) \quad (1)$$

donde:

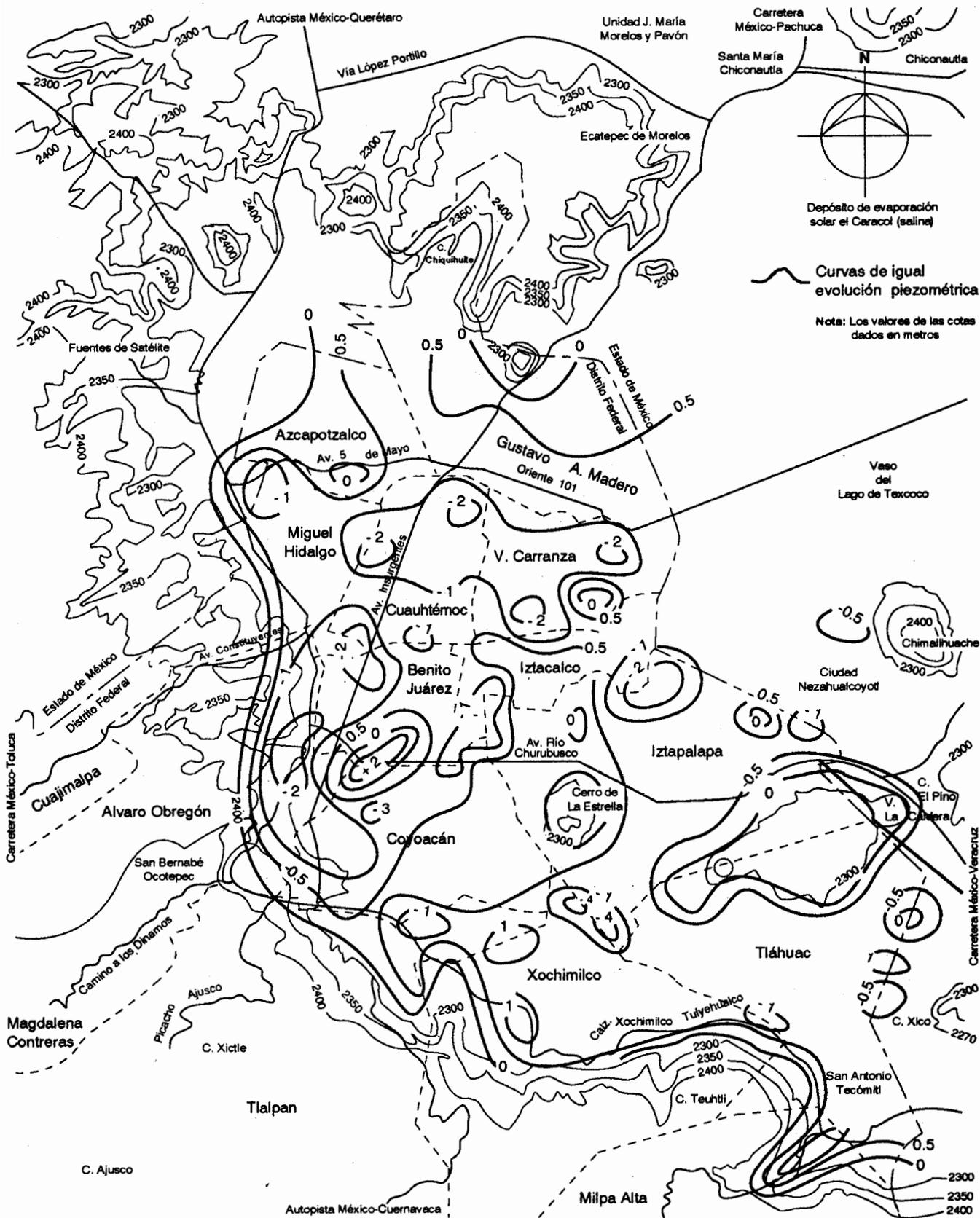
- Q = caudal en m^3/s ;
- T = transmisibilidad en m^2/s ;
- b = ancho de la celda en m;
- i = gradiente hidráulico.

Se calculó que la entrada por flujo subterráneo a la zona urbana de la ciudad de México es de 224 millones de m^3 anuales; cabe mencionar que una cantidad importante de pozos se localiza fuera de las celdas definidas.

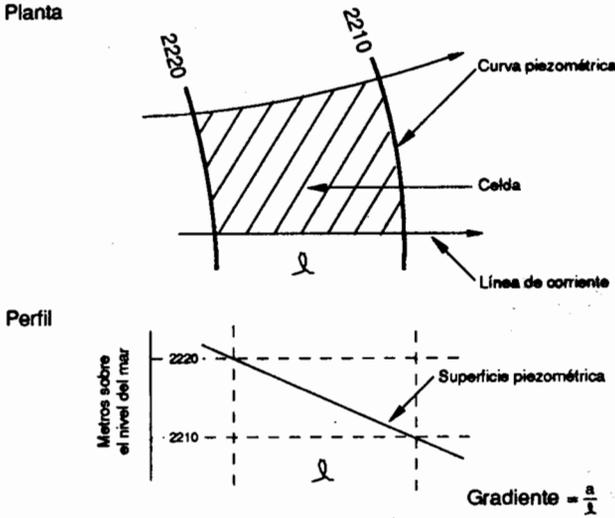
Cambio de almacenamiento

El cambio de almacenamiento sufrido por el subsistema acuífero de la zona metropolitana (véase ilustración 1), se calculó a partir de la evo-

5. Evolución del nivel estático (julio 1990 - julio 1991)



6. Celdas para el cálculo del flujo subterráneo



lución de los niveles piezométricos. Una vez cuantificada el área, se dedujo la evolución media anual, con un cambio de almacenamiento negativo de 26 millones de metros cúbicos anuales.

Ecuación de balance

La ecuación de balance volumétrico es:

$$Es + Iv = Ex \pm ds \quad (2)$$

donde:

- Es = Entrada subterránea
- Iv = Recarga vertical
- Ex = Extracción por bombeo
- ds = Cambio de almacenamiento

Las entradas de agua al acuífero son, principalmente, el flujo subterráneo procedente de las estribaciones de las sierras y la infiltración directa del agua de lluvia. Para la zona en estudio, la recarga vertical puede realizarse tanto a través de las grietas existentes como a partir de las arcillas, las cuales se comportan como un acuífero que

sobreyace al acuífero granular; al descender el nivel estático del acuífero por la extracción de agua, se reduce la presión hidrostática en la base del acuitardo, e inicia su aporte hacia el acuífero.

Las salidas subterráneas corresponden principalmente a la extracción de agua por bombeo. La ecuación general de balance volumétrico (2) se puede desglosar como sigue:

Los cálculos anuales obtenidos en el área comprendida en el balance son: entrada subterránea de 224 millones de m³ proveniente de las sierras; extracción por bombeo de 290 millones de m³; cambio de almacenamiento de 26 millones de m³, el cual se presenta como un decremento; e infiltración de 40 millones de metros cúbicos.

Referencias

Davis, Stanly N., 1966. *Hydrogeology*, John Wiley and Sons. Inc., EUA.

Custodio, Emilio y Llamas, Manuel. *Hidrología subterránea*, Ediciones Omega, Barcelona, España, 1976.

Comisión Federal de Electricidad. *Estudio eléctrico de resistividad de México y áreas circunvecinas*, México, 1987.

Comisión Federal del ex lago de Texcoco. *Geofísica en la zona federal del ex lago de Texcoco*, México, 1988.

Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. *Pruebas de bombeo y Medición de Caudales de Extracción en el valle de México*, México, 1983.

Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. *Actividades geohidrológicas en el valle de México*, 1985.

Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. *Actividades geohidrológicas en el valle de México para localizar sitios y estructuras para Recarga Artificial de Aguas Tratadas*, México, 1986.

Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. *Piezometría en el valle de México*, México, 1990.

Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. *Piezometría en el valle de México*, México, 1991.