

AGM
V CONGRESO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
HERMOSILLO, SON, 2005-08-30

EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Por: Ing. Juan Manuel Lesser Illades
Lesser y Asociados, S. A. de C. V.
lesser@prodigy.net.mx
Ing. David González Posadas
gonzalezdavidgeo@prodigy.net.mx

RESUMEN

En los últimos 18 años, el Sistema de Aguas del Distrito Federal (antes DGCOH), ha llevado a cabo la medición de los niveles estáticos en los pozos piloto ubicados en los Valles de Texcoco, Chalco y Distrito Federal. Con ello, se da seguimiento al comportamiento del acuífero que es una importante fuente de abastecimiento de agua potable para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se analizó la variación de la profundidad y elevación del nivel estático de cada año, así como de hidrógrafos de los pozos. La red piezométrica esta constituida por 450 pozos, que incluye tanto a pozos particulares como a municipales. En su mayoría corresponden a pozos de agua potable y en menor proporción a pozos de riego; estos últimos predominan hacia los Valles de Texcoco y Chalco.

La profundidad al nivel estático para 1985 en el Aeropuerto Internacional se encontraba a 20 metros y en el 2003 a 40 metros; alrededor del Cerro de la Estrella en 1985 se ubicaba a 40 metros y en el 2003 a 70 metros. Por lo que se refiere a la elevación del nivel estático, se han venido formando conos piezométricos, en Azcapotzalco, Xotepingo y Chalco. Los hidrógrafos de pozos de los últimos 18 años, muestran que ha existido un abatimiento continuó del nivel estático asociado a la extracción de agua subterránea. Una excepción es el área de Tlalpan, donde no existe drenaje y las aguas tanto de lluvia como domésticas se infiltran al subsuelo, lo cual ha provocado una progresiva recuperación de los niveles. La observación sistemática del nivel estático ha permitido conocer detalladamente la evolución del esquema de flujo del acuífero, lo cual a su vez permite simular con detalle, mediante modelos matemáticos, el comportamiento futuro del agua subterránea.

GEOLOGÍA Y GEOHIDROLOGÍA

El valle de México se caracteriza por estar constituido por materiales volcánicos (lavas y piroclásticos) intercalados con aluviones y cubiertos en la parte central del valle por arcillas lacustres. Los volcánicos son de edad Terciario y Cuaternario; los aluviones son del Cuaternario y las arcillas lacustres son de Edad Reciente.

La historia de México indica que la ciudad inició su construcción dentro de un islote en la parte central de un lago. Este lago cubría una extensa área que se continuaba hacia el sur hasta Xochimilco. Los Aztecas ganaron terreno al lago construyendo chinampas, que son acumulaciones de material arcilloso arriba del nivel del agua, sitios donde llevaban a cabo sus cultivos. Por otra parte, se construyeron bordos para evitar la inundación de áreas que se incorporaban al cultivo, a fin de ganarle tierra firme al lago. Ya en el siglo XIX, se

iniciaron obras para el drenaje de la ciudad, lo cual aceleró el secado de los lagos. Las arcillas producidas como azolve de estos lagos, geohidrológicamente juegan un papel importante, por una parte su baja permeabilidad hace que se comporte como un acuitardo y por la otra confinan al acuífero en aluviones que las subyacen, dando lugar a un acuífero de tipo semiconfinado o bien, las arcillas recargan el acuífero, mediante el drenado vertical de las arcillas.

Fisiográficamente, el Valle de México forma parte del denominado Eje Neovolcánico o Faja Volcánica Transmexicana, el cual se extiende en dirección este-oeste atravesando la República Mexicana. Manuel Alvarez Jr (1958), denominó a esta provincia como Zona de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente. Mencionó que esta provincia fisiográfica esta caracterizada por predominar en ella derrames basálticos, numerosos volcanes y lagos, cuya morfología, orientación y distribución sugieren estar situados en fosas tectónicas y de allí el nombre que le asigna; se encuentran en la zona rocas ígneas tales como riolitas, dacitas, andesitas y traquitas generalmente cubiertas por basaltos que, forman la masa de las montañas. Los valles que originalmente habían sido cuencas lacustres profundas, han sido llenados con materiales fluviales y lacustres derivados de las montañas, así como con enormes masas de cenizas de volcanes más recientes. Numerosos aparatos volcánicos se encuentran en esta provincia fisiográfica, desde el Iztaccíhuatl que tiene una cresta alargada formada por una sucesión de mantos delgados de lavas y brechas que fueron arrojados por cráteres que actualmente han desaparecido, hasta el volcán Parícutín, que después de 9 años de actividad, se extinguió aproximadamente en el año de 1951 y el Popocatépetl que en los últimos años ha presentado actividad. La presencia de numerosos volcanes de gran tamaño hacen de esta provincia una región eminentemente volcánica. Además del Iztaccíhuatl y el Popocatépetl, se encuentra el Volcán de Colima, el Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y La Malinche, todos ellos alineados este-oeste. Existen también conos volcánicos de menor magnitud y en especial una gran cantidad de pequeños conos cineríticos que forman un paisaje volcánico típico, siendo una de sus principales expresiones el Valle de México.

El Valle de México presenta al oriente dos grandes aparatos volcánicos que son el Popocatépetl y el Iztaccíhuatl. La zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se encuentra limitada por elevaciones topográficas de origen volcánico como son la Sierra de Guadalupe al norte, la Sierra de Las Cruces al poniente, La Sierra del Chichinautzin al sur, el volcán del Ajusco al suroeste y la Sierra Nevada al oriente. Dentro del valle existen algunos aparatos volcánicos aislados, siendo los principales los que forman la Sierra de Santa Catarina, además de algunos otros que aparecen en forma aislada como son el Peñón del Marqués, el Peñón de los Baños y el Cerro de La Estrella.

Lo que ahora constituye el Valle de México, antiguamente drenaba hacia el sur. Las corrientes superficiales que circulaban en dicha dirección fueron interrumpidas por la salida de productos volcánicos a través de conos, que dieron origen a la Sierra del Chichinautzin. Ello, dejó al Valle de México sin drenaje al exterior, razón por la que se acumuló agua en su parte central formando los lagos de Zumpango, Texcoco, México, Xochimilco y Tlahuac.

Los materiales que constituyen el subsuelo del Valle de México corresponden a una intercalación de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas, que incluyen materiales granulares transportados por ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas. Cubriendo a dichos materiales y en espesores variables, se

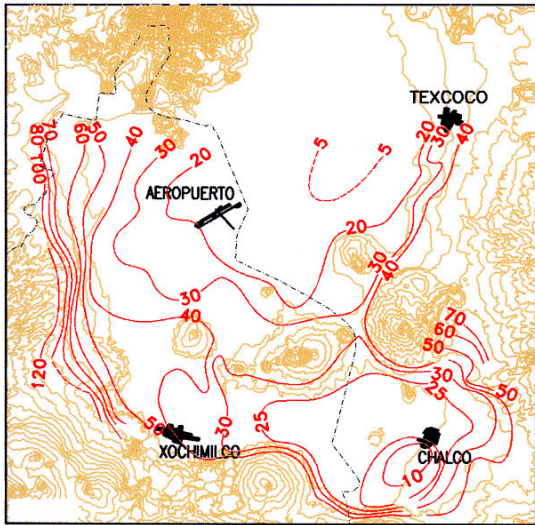


Figura 1. Profundidad al nivel estático (m), 1985

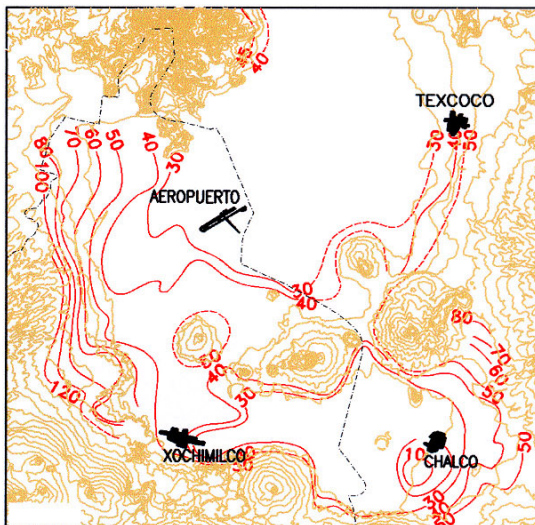


Figura 2. Profundidad al nivel estático (m), 1990

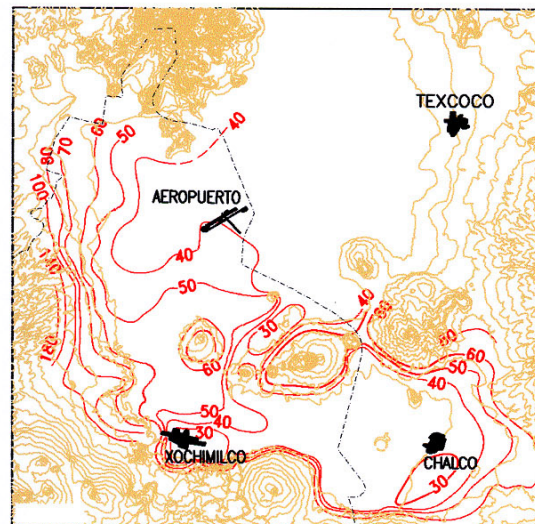


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 1995

encuentran arcillas y arenas finas que son el producto del sedimento o azolve de los antiguos lagos.

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

Para el año de 1985, los valores menores de profundidad al nivel estático se encontraban hacia el área del aeropuerto, con 20 metros de profundidad. La profundidad al nivel del agua aumentaba hacia el poniente para, en Azcapotzalco, presentar entre 40 y 50 metros. En los lomeríos del poniente de la ciudad y debido a la elevación de la superficie del terreno, la profundidad al nivel del agua subterránea se profundizaba. En algunos pozos perforados en la parte alta de los lomeríos, el nivel se encontraba a más de 120 metros de profundidad (figura 1).

En la parte sur de la Ciudad de México y para el año de 1985, el nivel del agua fluctuaba entre 30 y 40 metros alrededor de Xochimilco, mientras que hacia la zona de Chalco se encontraba ligeramente más somera, con profundidades al nivel del agua entre 10 y 25 metros. De igual manera, para las estribaciones de las elevaciones topográficas el nivel se profundizaba, detectándose hasta 40 metros al pie de la Sierra del Chichinautzin y hasta 70 metros en el noreste del Valle de Chalco.

Para 1990, en la zona central-oriental del Distrito Federal, alrededor del Aeropuerto Internacional Benito Juárez, la profundidad era cercana a los 30 metros, o sea 10 metros más profunda que en 1985 (figura 2). En la porción central de la ciudad el nivel del agua se encontraba a entre 30 y 50 metros de profundidad. En el sur, alrededor de Xochimilco, a entre 30 y 50 metros de profundidad, mientras que en el Valle de Chalco a entre 10 y 30 metros de profundidad. Se hace notar que en el área de Chalco siempre se han detectado valores someros al sur de la población, considerándose que existe un horizonte superficial que se ha venido registrando

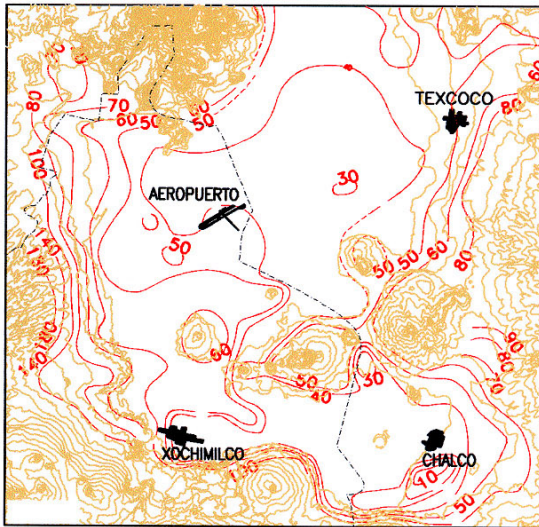


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2000

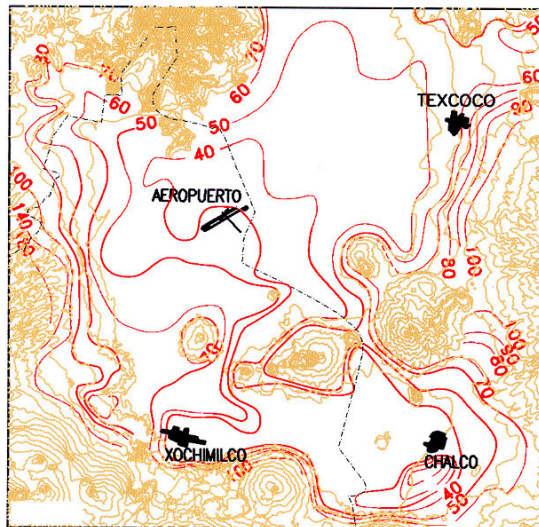


Figura 5. Profundidad al nivel estático (m), 2003

junto con los datos del acuífero regional. Durante la década de los 80's, se incrementó la extracción de agua a través de pozos nuevos localizados en la porción sur-occidental de la ciudad de México, en el área denominada Tlalpan-Xotepingo-Periférico. Para esta extracción se perforaron alrededor de 80 pozos cuya operación permitió auxiliar al abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México. La concentración de la perforación y su extracción de agua en esta porción, se debió a la alta permeabilidad de los materiales que constituyen el acuífero, lo cual permite la obtención de grandes caudales de agua por pozo.

En las figuras 3 y 4 se muestran las configuraciones de la profundidad al nivel estático en 1995 y 2000 las cuales se comparan con las anteriores y se observan las fluctuaciones que se han registrado. En especial el incremento de los niveles estáticos.

La profundidad al nivel estático en la configuración elaborada para el año del 2003, incluye curvas que van de 10 a 180 metros. Los valores menores de 40 metros son locales y se encuentran al pie de la Sierra de Santa Catarina en el área de Iztapalapa y en el Valle de Chalco (Figura 5).

En el Valle de Chalco, desde hace varias décadas se ha detectado un nivel somero al sur del poblado del mismo nombre, que actualmente presenta valores menores de 10 metros y donde en la configuración se forman curvas concéntricas de hasta 30 metros de profundidad.

Profundidades del orden de 40 metros se ubican en una franja sobre el límite poniente del Distrito Federal, entre el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y la Sierra de Santa Catarina, que continua hacia Xochimilco y Chalco. Las profundidades al nivel estático se incrementan gradual y paulatinamente a 50 y 60 metros hacia los flancos de los valles y, en los lomeríos y sierras, las profundidades al nivel del agua se incrementan en relación a la superficie del terreno, llegando a presentar entre 70 y 180 metros de profundidad en el poniente de la ZMCM; entre 60 y 100 metros al oriente de Texcoco y; entre 40 y 140 metros hacia la Sierra del Chichinautzin.

En general en la zona plana del valle el nivel estático se encuentra a una profundidad entre 40 y 60 metros.

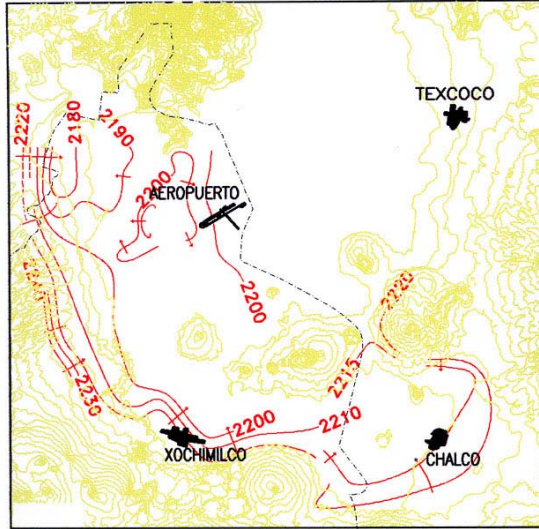


Figura 6. Elevación del nivel estático (msnm), 1985

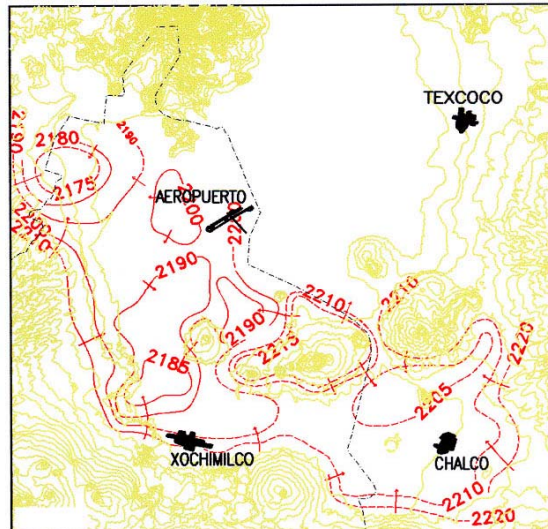


Figura 7. Elevación del nivel estático (msnm), 1990

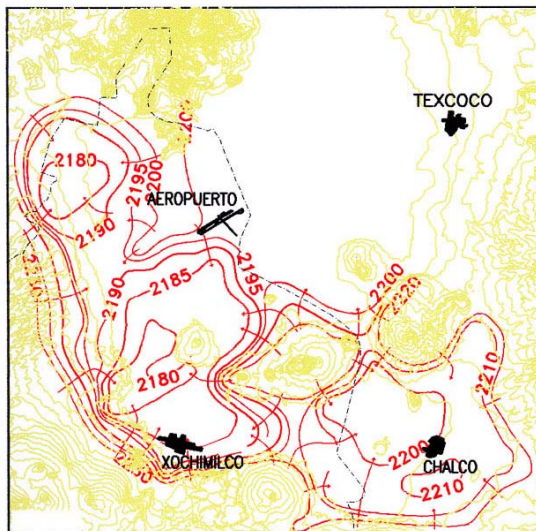


Figura 8. Elevación del nivel estático (msnm), 1995

ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

La elevación del nivel estático respecto al nivel del mar en los años de 1985, 1990, 1995 y 2000, se incluye en las figuras 6 a 9. Una comparación entre ellas muestra la modificación que ha existido, donde destaca el crecimiento de los conos piezométricos de Azcapotzalco y Tlalpan-Xotepingo.

Las curvas de elevación del nivel estático en el 2003 (figura 10), presentan valores de hasta 2260 metros sobre el nivel del mar al oeste de Ciudad Universitaria. Al pie de los lomeríos del poniente de la ciudad, la elevación del nivel estático es de 2190 msnm y continúa disminuyendo hacia el centro de la zona plana de la ciudad, donde se han formado dos conos de abatimiento. El primero ubicado en el área de Azcapotzalco en cuya parte central se delimitó la curva 2180 msnm y alrededor de ella la curva 2185 msnm. El segundo cono de abatimiento se ubica la mitad sur de la Ciudad de México, en el cual se presentan curvas de 2185, 2180 y 2175 msnm.

En esta porción, el flujo subterráneo circula del poniente y el oriente, hacia el centro del valle, para concentrarse tanto hacia el cono de abatimiento de Azcapotzalco como hacia el cono de abatimiento ubicado entre la Ciudad Universitaria, el Cerro de la Estrella y Xochimilco.

Hacia Texcoco las curvas piezométricas presentan valores desde 2240 metros al noreste de poblado del mismo nombre, las cuales disminuyen hacia el centro del antiguo lago donde se presenta la curva 2190 msnm. En la Sierra de Guadalupe, se tienen las curvas 2200 y 2195 msnm que disminuyen hasta la curva 2190 msnm, permitiendo marcar un flujo subterráneo de poniente a oriente. En general se puede mencionar que en el vaso del antiguo lago de Texcoco, el

gradiente subterráneo es muy reducido.

Hacia Chalco, las curvas piezométricas alcanzan 2220 msnm en los flancos de las sierras y disminuyen a 2195 msnm hacia el centro del valle, entre el Cerro de Xico, el poblado de Chalco.

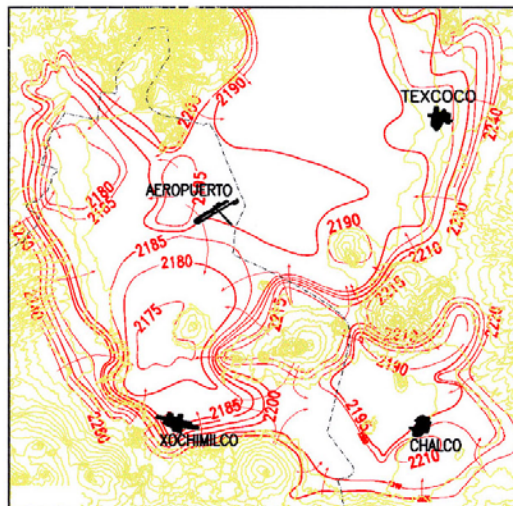
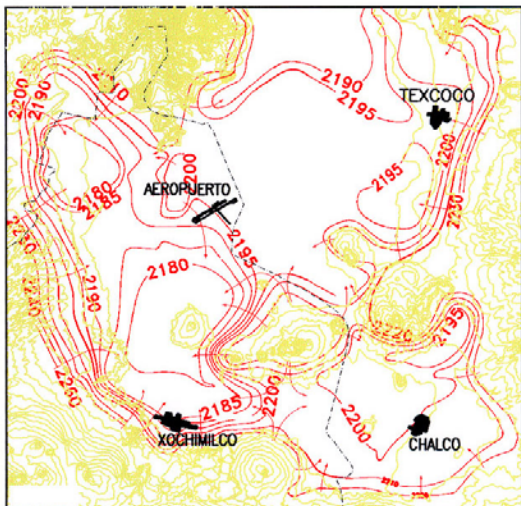


Figura 9. Elevación del nivel estático, (msnm) 2000 Figura 10. Elevación del nivel estático (msnm), 2003

EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO RESPECTO AL TIEMPO

Se calculó la evolución sufrida por el nivel estático en el período comprendido entre 1985 y 2003. Los menores abatimientos se presentan en las áreas de Azcapotzalco y Perisur, con -5 metros. Alrededor de la Sierra de Santa Catarina se reportó un abatimiento de 6 metros para este período.

Hacia el centro de la Ciudad de México la evolución alcanzó -20 metros en Xochimilco y el Aeropuerto Internacional -15 metros, mientras que al norte del Valle de Chalco, alrededor de los poblados de Ayotla e Ixtapaluca, han existido abatimientos, de hasta 25 metros, lo cual es debido a la concentración de un gran número de pozos tanto de riego como de abastecimiento de agua potable.

En la evolución del N. E. de los últimos 5 años, 1998-2003, se registró abatimiento en el nivel estático del acuífero en prácticamente toda la zona estudiada con excepción de la parte sur-poniente de la Ciudad de México correspondiente a la zona de Tlalpan donde se registraron incrementos en el nivel estático de entre 0 y 6 metros. Este efecto es debido a la continua infiltración o recarga de agua al acuífero proveniente tanto del drenaje pluvial como del agua doméstica, ya que no existe drenaje en esta zona.

Hacia la parte plana de la Ciudad de México las evoluciones en el período de 1998 al 2003 variaron en su mayor parte alrededor de los -4 metros, con zonas puntuales que presentan valores poco mayores a los -5 metros. En el área de Azcapotzalco el abatimiento es menor al producido hacia el centro y sur de la Ciudad de México, registrándose -2 metros.

Por lo que se refiere a la zona de Texcoco, en esta porción es donde se registran los mayores abatimientos debido al gran número de pozos en esta región en donde

aparentemente no existe un control ya que se encuentran un gran número de pozos perforados a corta distancia entre si. Un reflejo de esta fuerte extracción es el abatimiento del nivel estático que en el período entre 1998 y el 2003, llegó a alcanzar -8 metros alrededor de Texcoco y en algunos sitios locales hasta -12 metros.

HIDRÓGRAFOS DE POZOS

El Valle de México ha estado sujeto a una fuerte extracción de agua subterránea, principalmente en las últimas dos décadas. Ello, ha ocasionado un paulatino pero constante abatimiento del nivel del agua.

Con los registros piezométricos anuales existentes, se trazaron hidrógrafos que muestran la evolución del nivel estático en cada uno de los pozos piloto del Valle de México, para el período entre 1985 al 2003.

El comportamiento o variación del nivel estático respecto al tiempo es una consecuencia de la extracción de agua subterránea y de la permeabilidad de los materiales que lo constituyen. Se marcaron 8 zonas dentro del Valle y de cada una de ellas se seleccionaron hidrógrafos representativos, los cuales se presentan en la figura 11 y se comenta a continuación.

HIDRÓGRAFOS ZONA AZCAPOTZALCO.- En esta zona existe un cono piezométrico que se ha desarrollado en los últimos años. El comportamiento de la profundidad del nivel estático en los hidrógrafos de Azcapotzalco es diferente a los del resto de la ciudad. Se seleccionaron 3 pozos correspondientes a los números 137, 142 y 145, cuyo hidrógrafo se muestra en la figura No. 11, donde se observa que, a partir del año 1988 el nivel del agua presentó una recuperación hasta los años de 1996-1997. A partir de estos años, se inició un nuevo descenso del nivel. El ascenso de 1988 a 1996 se considera fue ocasionado por el cierre de pozos particulares, entre ellos los de la Refinería de PEMEX en Azcapotzalco, lo cual permitió la recuperación del nivel del agua. El abatimiento que experimenta el nivel a partir de 1997 y hasta la fecha, es indicio de que se ha incrementado la extracción de agua subterránea en dicha zona. Aparentemente en pozos particulares. No se tiene conocimiento del número de pozos nuevos existentes; se recomienda la actualización del censo y de los volúmenes de extracción de agua del acuífero, en esta zona.

HIDRÓGRAFOS ZONA CENTRO.- En el centro histórico de la Ciudad de México y sus alrededores, los pozos se caracterizan por presentar un abatimiento gradual pero de menor magnitud en comparación con las zonas circundantes. Los hidrógrafos de los pozos 16, 1439 y 2305, que han presentan un abatimiento del orden de 10 metros en un período de 15 años. Esto, es debido a que en el Centro Histórico de la Ciudad de México se ha procurado disminuir la extracción del agua subterránea, con el objeto de reducir los efectos que ésta causa sobre el asentamiento del terreno.

HIDRÓGRAFOS CERRO DE LA ESTRELLA.- En la parte central-sur de la Ciudad de México, alrededor del Cerro de La Estrella, el abatimiento de los niveles es relativamente fuerte. Se incluyen los hidrógrafos de cuatro pozos, donde se aprecia un abatimiento de entre 10 y 15 metros para los últimos 10 años.

HIDRÓGRAFOS ZONA TLALPAN.- En contraste con el resto de la zona estudiada, en el área de Tlalpan los hidrógrafos muestran una recuperación del nivel estático respecto al tiempo. Esto es debido a que la zona no cuenta con drenaje y las aguas tanto de lluvia

como domésticas, son infiltradas al subsuelo, el cual lenta pero continuamente ha mostrado una recuperación del nivel estático. Al no existir drenaje las aguas pluviales se canalizan al subsuelo a través de pozos de absorción, aprovechando que las rocas basálticas fracturadas presentan una muy alta permeabilidad, mientras que las aguas domésticas utilizan fosas sépticas.

HIDRÓGRAFOS ZONA TEXCOCO.- En el poblado de Texcoco y sus alrededores el nivel del agua ha ido paulatinamente descendiendo en los últimos años. En los hidrógrafos que se presenta de los pozos A-2361, En-445, EN-539 y EN-346, se muestra el abatimiento continuo a partir del año de 1985. El abatimiento es la consecuencia de la extracción de agua que se realiza tanto para uso potable como para riego. Comparando el crecimiento de la extracción y densidad de pozos entre Texcoco y el resto del área en estudio, se observa que ha sido mayor en Texcoco, por lo que se espera se agrave la disponibilidad del agua subterránea en los próximos años.

HIDRÓGRAFOS ZONA SANTA CATARINA.- En los alrededores de la Sierra de Santa Catarina existen varios pozos y de tres de ellos SC-1, SC-2 y A-155 se muestran su hidrógrafo, en donde se observa un abatimiento continuo de 1984 al año 2003. Sin embargo, el grado de abatimiento es menor que en el registrado, hacia el poniente y sur del área de estudio. La explotación del acuífero en esta zona es menor debido a que el agua natural presenta mala calidad, debido a la presencia de sales de origen volcánico acumuladas sobre los flancos de los conos volcánicos. Que constituyen a la Sierra de Santa Catarina.

HIDRÓGRAFOS ZONA CHALCO.- En el Valle de Chalco la extracción de agua subterránea que se ha venido incrementando en los últimos años, lo cual ha ocasionado un fuerte abatimiento del nivel del agua subterránea, como se muestra en los pozos A-78, A-101 y A-82. La profundidad al nivel estático ha aumentado alrededor de 18 metros en 18 años.

HIDRÓGRAFOS ZONA CHICHINAUTZIN.- Se seleccionaron los pozos TEC-21, TUL-2 y P-214 dentro del área al pie de la Sierra del Chichinautzin, observándose el abatimiento paulatino que ha existido en el nivel del agua a partir del año de 1985. Sin embargo, este abatimiento es menor al registrado en otras zonas de la ciudad como son el Cerro de la Estrella y Chalco. Ello, es debido a la alta permeabilidad de los materiales que constituyen el subsuelo de la Sierra del Chichinautzin.

REFERENCIAS

Sistema de Aguas de la Ciudad de México, GDF, 2003. Estudio de medición de los pozos piloto de la cuenca del Valle de México. Biblioteca del SACM.

Lesser, J. M., D. González y L. E. Lesser, 1998, Balance de agua subterránea del acuífero de la Ciudad de México. Revista Hidráulica Urbana, DGCOH, No. 4, julio 1998.