

**COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO DEL SISTEMA ACUIFERO
DE LA SUBCUENCA DE CHALCO, MEXICO**

R. RODRIGUEZ-CASTILLO*
T. GONZALEZ-MORAN*

RESUMEN

El sistema acuífero de la Subcuenca de Chalco, en la porción sur de la Cuenca de México, presenta un comportamiento hidrodinámico controlado por las características tectónico-estructurales del marco geológico y por el régimen de recarga.

Se definió la geometría del acuitardo que actúa como semiconfinante del acuífero actualmente en explotación a través de la reinterpretación de 100 sondeos eléctricos verticales SEV's con aperturas electródicas AB de 1.2, 1.6 y 2.0 km, realizadas en la zona. El espesor máximo del paquete arcilloso es de 400 m. Su distribución espacial es explicada en términos tectónico-estructurales y de los procesos lacustres de sedimentación.

ABSTRACT

The aquifer system of the sub-basin of Chalco in the south of the Basin of Mexico presents a hydrodynamical behavior controlled by the geological frame and the recharge regime.

The proposed geometry of the aquitard is based on the reinterpretation of 100 Vertical Electrical Soundings VES's with electrodoical distances AB = 1.2, 1.6 and 2.0 km. The aquitard is a leaky aquifer overlying the aquifer in exploitation at present. The maximum distribution is explained in terms of a geological process like the lacustrine sedimentation.

* *Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, México, D. F., MEXICO.*

INTRODUCCION

El sistema acuífero que se encuentra en la Subcuenca de Chalco está constituido por una formación arcillosa de baja permeabilidad (acuitardo) que actúa como un acuífero semiconfinado (Rodríguez, 1986) el cual sobreyace a un acuífero confinado en la parte central y libre hacia las márgenes. Este sistema presenta estratificación en la mineralización del agua subterránea. El primer paquete contiene agua con mineralización mayor o igual a 1100 mg/l, en tanto que en el segundo ésta es del orden de 200 - 300 mg/l.

La presencia de estos cuerpos de agua ha sido explicada en términos de la composición geológica del acuitardo, ya que está constituido por depósitos lacustres y formaciones arcillosas de baja permeabilidad (Rodríguez, 1987).

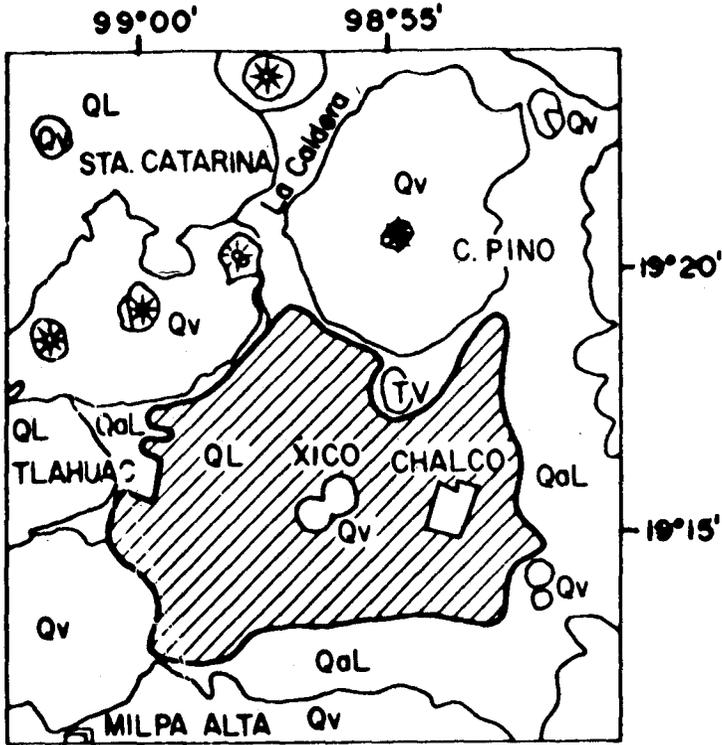
El entendimiento de la hidrodinámica del sistema es importante, ya que se han identificado varias fuentes potenciales de contaminación (un relleno sanitario, un canal de aguas negras, un número considerable de fosas sépticas) que pueden alterar la calidad del agua subterránea.

El conocimiento de la geometría de la capa semiconfinante es también importante desde el punto de vista de la modelación matemática de flujo y transporte que permitirá decidir sobre alternativas viables para el manejo de este recurso subterráneo.

La información geofísica obtenida en la zona a raíz del sismo de Septiembre de 1985 puede ser reinterpretada desde la particular óptica del agua subterránea y proporcionar elementos de apoyo en estudios hidrogeológicos.

MARCO GEOLOGICO

La Cuenca de México es una cuenca endorreica de carácter lacustre, donde la corteza ha sufrido grandes esfuerzos, produciéndose un intenso fracturamiento. Está circundada por elevadas montañas y cubierta en diferentes puntos por áreas lacustres producto de lagos que existieron al final de la época glacial. Al cerrarse la Cuenca, en el Cuaternario Superior, las aguas pluviales quedaron encajonadas, formando un conjunto de lagos someros. Podrían mencionarse en el centro, el Lago de México, al este el de Texcoco, al sur los de Xochimilco y Chalco, que formaban uno solo, y al norte el de Zumpango.



- | | | |
|---------------------------|---|---|
| Depositos
cuaternarios | { | QL Depósito lacustre |
| | | QaL Aluvión alrededor de zonas lacustres |
| | | Qv Lavas, cenizas y depósitos epiclasticos de composición eminentemente basáltica ó basáltico-andesítica |
| Rocas del
terciario | { | TV Incluye derrames de lava de composición andesítica-dacítica |

Fig. 1. Mapa geológico simplificado del área.

La subcuenca de Chalco se localiza al sur de la Cuenca de México y de la zona urbana de la ciudad de México. Queda limitada al norte por las estribaciones de la Sierra de Santa Catarina, constituida principalmente por lavas fenobasálticas y tobas del Plioceno y del Cuaternario, ubicándose también el Cerro El Pino, caracterizado por rocas más antiguas que la Sierra de Santa Catarina. Presenta sucesiones de lavas basáltico-andesíticas, con intercalaciones de piroclastos. También se observan algunos depósitos calcáreos en las partes altas (indicios de niveles que tuvo el antiguo lago). Forman parte de esta formación los conos cineríticos de San Nicolás y Xaltepec y un par de conos conocidos como La Caldera, que constituyen una prominente estructura que se eleva directamente del piso del antiguo lago. Estos conos parecen ser morfológicamente intermedios entre conos de escoria y anillos de tefra, pero parecen estar constituidos por material piroclástico con muchas de las características de los anillos de tefra (Francis and Thorpe, 1974). La permeabilidad de las formaciones de Santa Catarina es de media a alta. Al sur encontramos algunas estructuras constituidas por tobas, andesitas, dacitas y riolitas, pertenecientes al grupo Chichinautzin. Al oeste se encuentra el área chinampera de Tlahuac, sobre depósitos lacustres y aluviales. Este paquete sedimentario se encuentra constituido principalmente por cenizas volcánicas, material piroclástico, tobas, brechas y arcillas. Al este se encuentra limitada por la Sierra Nevada.

En su parte central se encontraba el antiguo Lago de Chalco, que corresponde a una planicie lacustre adonde llegaban el río de Ameca, que nace en la parte sur del Iztaccihuatl y el río de La Compañía. Dentro del área previamente cubierta por el lago encontramos un anillo de tefra de 100 metros de altura y 1 500 de diámetro, resultado de la interacción de magma basáltico con agua, denominado el Cerro Xico, fusionado con otra estructura semejante (Xico Viejo).

La subcuenca de Chalco se ha venido formando a través de una serie de procesos (intemperismo, erosión y acumulación de sedimentos) y tectonismo que a su vez provocó volcanismo. A grandes rasgos, esta área de estudio está representada por un paisaje de conos cineríticos, abanicos volcánicos, laderas, colados de lavas andesíticas y andesíticas-basálticas, todos ellos afectados por erosión reciente, así como cañadas, valles, planicies lacustres y otro tipo de paisajes de menor importancia. Una de estas planicies lacustres la constituye el área del antiguo Lago de Chalco (figura 1).

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL AREA

El sistema acuífero local está constituido por un acuitardo y un acuífero confinado, cambiando su carácter hidráulico en las márgenes de la cuenca, donde actúa como libre.

La permeabilidad del paquete sedimentario presenta un amplio rango de variación debido, sobre todo, a la inhomogeneidad del material granular.

El régimen del flujo subterráneo, a nivel regional, se caracteriza por tener una dirección preferencial N-S (Lesser, 1984) en la parte norte de la subcuenca de Chalco y la dirección contraria en la parte sur, resultado de la ubicación de las sierras circundantes que actúan como zonas preferenciales de recarga del sistema. Este flujo alimenta directamente al material granular, los piroclastos y rocas fracturadas que constituyen el acuífero en explotación y que se encuentran bajo los depósitos lacustres.

Superficialmente, no se puede hablar de recarga por infiltración en toda la zona, debido al contenido de material de grano fino de los suelos, que confiere una baja permeabilidad a los mismos, por lo que en la parte central se observan acumulaciones someras de agua.

En las márgenes sur de la subcuenca de Chalco han existido manifestaciones superficiales del nivel freático (tanto manantiales de agua dulce como mineralizada) (Duraño, 1988), que han desaparecido en razón directa del descenso paulatino del nivel piezométrico, tomándose en sumideros que son actualmente aprovechados por los habitantes de la zona para canalizar sus desagües de aguas negras.

El acuífero actualmente en explotación puede presentar entre 300 y 400 metros de espesor en sus partes más profundas. Los pozos de explotación ubicados en él son diseñados con ademe ciego en su parte superior y ranurados en la inferior, para evitar afectar el cuerpo de agua mineralizada. El acuífero inferior presenta contenidos entre 200 - 300 mg/l de sales.

HIDRODINAMICA DEL SISTEMA

Se ha generado una zona de transición por el proceso de mezcla entre el agua mineralizada del acuitardo y la dulce del acuífero inferior (Rodríguez, 1988). La extrac-

ción se efectúa básicamente en la zona interior, lo que ha provocado flujo vertical descendente del acuitardo hacia el acuífero, por aportación por compactación del material. No es posible evaluar este aporte, ya que el acuitardo está constituido por una alternancia de material granular (arcilla, arenas) cuyos valores de compresibilidad y permeabilidad son variables y difíciles de evaluar.

El agua del acuífero proviene de la recarga por infiltración de la precipitación en las sierras de Chichinautzin y de Guadalupe. Su circulación es relativamente rápida, ya que se da a través de un medio fracturado de alta permeabilidad en las zonas de infiltración para fluir después por formaciones granulares de porosidad variable. La saturación del acuitardo ocurrió paralelamente al proceso de sedimentación en un ambiente lacustre, lo que provocó también su mineralización. Como los depósitos lacustres son de baja permeabilidad, el sistema permaneció en equilibrio dinámico hasta el inicio de su explotación (figura 2).

La configuración obtenida para la cima del acuitardo (figura 3) explica en parte la dirección del flujo regional, sugiriendo que la recarga proveniente de la Sierra de Guadalupe alimenta las partes más profundas del acuífero, ubicadas aproximadamente bajo la zona urbana de San Pedro Tlahuac. Sin embargo, la recarga por infiltración es mayor en las partes sur y este donde los espesores del acuitardo son menores; el flujo parece dirigirse hacia la misma zona, ya que la principal batería de pozos del área se encuentra ubicada en el flanco oriental del máximo espesor del paquete arcilloso.

CONFIGURACION DEL PAQUETE ARCILLOSO

En el área de estudio se han realizado, en diferentes épocas una serie de investigaciones geofísicas, empleando diferentes métodos.

Dado el contraste resistivo que presentan las formaciones arcillosas con el material granular (0.50 - 8.0 ohm-m vs 20.0 - 35.0 ohm) se decidió que para obtener la geometría espacial del acuitardo se analizara toda la información geoelectrica obtenida en el área. Se seleccionaron 100 sondeos eléctricos verticales (SEV's) efectuados por el Departamento de Recursos Naturales del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México en 1986 y 1987 (Rodríguez, 1986, 1987), así como los realizados por la Comisión Federal de Electricidad en 1986.

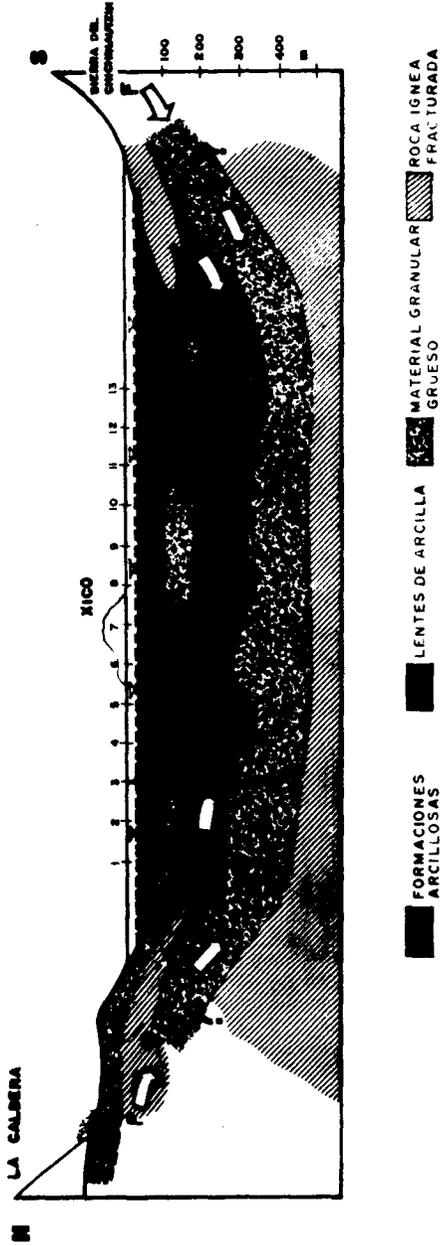


Fig. 2. Corte geológico esquemático N-S de la Subsecuencia de Chalco.

Las aperturas electródicas implementadas en el dispositivo Schlumberger fueron de 1.2, 1.6 y 2.0 km. La distribución de los SEV's se muestra en la figura 3.

Los SEV's fueron reinterpretados mediante un programa de computadora basado en el algoritmo de O'Neill (Aguas, 1989).

El proceso de interpretación se centró en la determinación del espesor del acuitardo, más que en la definición estratigráfica del mismo.

La figura 3 presenta la configuración de la base de las formaciones arcillosas.

Como puede observarse, el acuitardo tiene espesores máximos de cerca de 400 metros en la porción sur de la Sierra de Guadalupe. Esto indica que los remanentes lacustres que lo originaron tuvieron en esa zona sus máximas profundidades, aunque pudiera tratarse también de un reflejo de la tectónica del área o una combinación de ambos.

Hacia la zona de Ixtayopan-Mixquic se encontró un conjunto de zonas de máximo depósito que pudieran correlacionarse con la presencia de paleocanales que controlaron la depositación lacustre.

En el área comprendida entre la antigua isla de Tlapacoya y el Volcán Xico no se pudo obtener información, ya que el trabajo de campo se vio obstaculizado por el asentamiento irregular suburbano establecido en la zona, que genera ruido geoelectrico por la forma irregular de distribución de la corriente eléctrica.

Hacia la frontera oriental, como era de esperarse, el acuitardo pierde potencialidad rápidamente, pasando de 100 a 30 metros de espesor en un kilómetro.

El Cerro Tlapacoya, por la geometría obtenida de este paquete arcilloso, sólo parece continuarse a profundidad hacia el norte, ya que los espesores del acuitardo son del orden de 50 a 60 metros en las inmediaciones sur, este y oeste.

Hacia el norte, entre la Sierra de Santa Catarina y el Cerro El Pino, el comportamiento es similar al de la parte sur, adelgazándose la arcilla hacia el Volcán La Caldera.

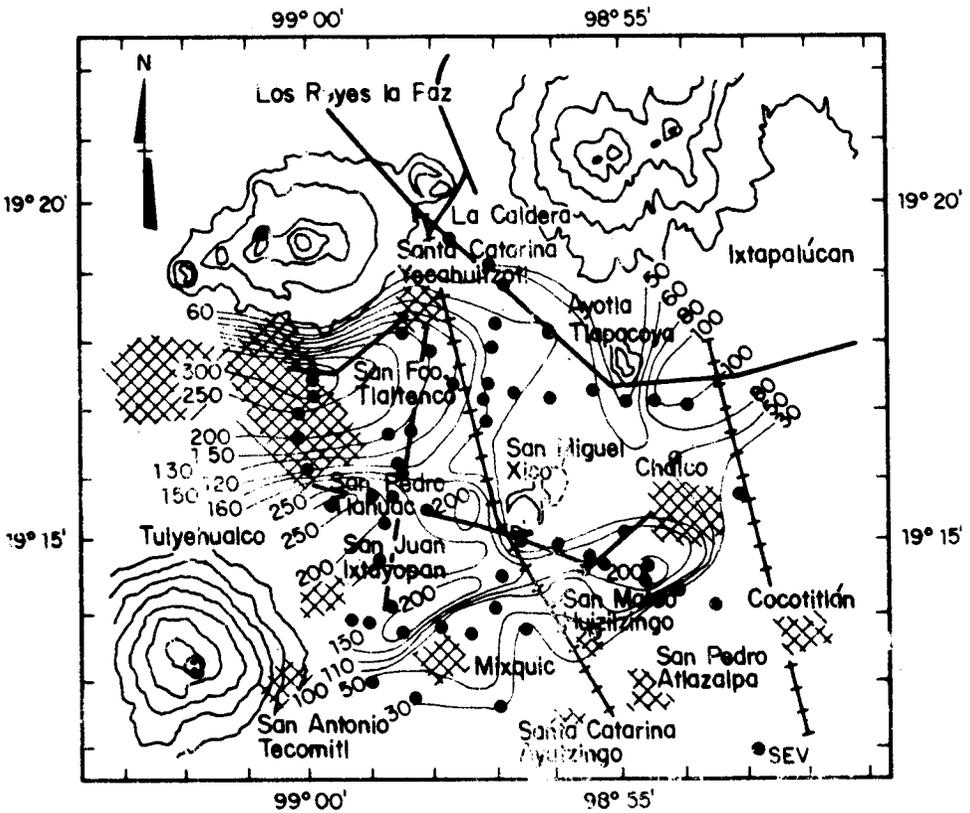


Fig. 3. Plano de isolíneas de resistividad aparente para la cima del acuitardo.

DISCUSION DE RESULTADOS

La hidrodinámica del sistema acuífero de la zona está íntimamente relacionada con la distribución espacial de las unidades que constituyen el acuitardo que ocupa más del 60% de la superficie de la subcuenca.

Este paquete arcilloso, por su baja permeabilidad, juega un papel importante en el proceso de recarga, ya que la minimiza en la parte central (figura 2).

Su función como retenedor de posibles contaminantes de origen antropogénico

(en la parte central norte se ha establecido uno de los asentamientos humanos más grandes del mundo) explica la buena calidad del agua saturante del acuífero en explotación y la nula evolución de la mineralización del acuitardo (1100 mg/l).

El paquete arcilloso modelado presentó espesores variables, teniendo sus máximos valores (400 m) en las inmediaciones de la Sierra de Santa Catarina.

Se tomó como resistividad representativa de dicho paquete el rango 0.5 - 8.0 ohm-m. Aunque el valor promedio de la resistividad de la arcilla en la Cuenca es del orden de 15 - 20 ohm-m (Ochoa, 1989), hay que tomar en cuenta que este paquete se encuentra saturado con un electrolito natural y que su composición es muy heterogénea, lo que explica su alta conductividad.

Dada la densidad de la información geoelectrónica recabada, en algunas zonas las tendencias fueron inferidas del comportamiento regional, apoyándose en la geología del área y en resultados parciales de datos gravimétricos y sísmicos.

Al norte, sobre la falda del Volcán La Caldera, se ubica el relleno sanitario de Santa Catarina, que fue uno de los más grandes de la metrópoli; su papel como posible fuente de contaminación por la lixiviación de los desechos depositados es también parcialmente explicado por la geometría obtenida del acuitardo, ya que la pluma contaminante asociada a este basurero no se puede desplazar lateralmente a través de él, pudiendo hacerlo a través del material volcánico de la Sierra Santa Catarina, ya que existen intercalaciones de colados "sanos" y fracturados que facilitan su circulación.

Hacia el sur, en la zona de contacto con el material volcánico de la Sierra Chichinutzin en donde encontramos pie de monte y aluviones, el paquete arcilloso pierde espesor. Esto pudiera favorecer en esa área tanto la recarga por infiltración como la percolación de contaminantes antropogénicos.

BIBLIOGRAFIA

AGUAS, R. S., 1989. Identificación de las principales formaciones acuíferas en la Subcuenca de Chalco. Tesis Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM (en desarrollo).

- FRANCIS, W. P. and R. S. THORPE, 1974. Significance of lithologic and morphologic variations of pyroclastic cones. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 927-930.
- LESSER, I., J. M. *et al.*, 1984. Actividades geohidrológicas en el Valle de México. Reporte Técnico 4-33-1-676 DDF. Tomos I - III, México, D. F.
- OCHOA, A., C., 1989. Propiedades geeléctricas de las principales unidades acuíferas de la Cuenca de México. Tesis Licenciatura, ESIA-IPN.
- RODRIGUEZ, R. C. y G. P. DIAZ, 1986. Perfiles al Sur del Valle de México. Reporte Técnico il 279 pp. IGF-UNAM, CAVM-SARH, México, D. F.
- RODRIGUEZ, R. C., 1987. Consideraciones preliminares basadas en resultados geeléctricos sobre la interface agua mineralizada - agua dulce en el área de Santa Catarina Yecahuitzol. México, D. F., *Geofís. Int.*, 26, 4, 573-583.
- RODRIGUEZ, R. C. y G. F. LARA, 1988. Proposal on the Hydrodynamical behavior of the Santa Catarina Aquifer System. México, D. F. Geoelectrical-Hydrological Analysis. *Geofísica*, 28.