

*CONSIDERACIONES PRELIMINARES, BASADAS EN RESULTADOS  
GEOELECTRICOS, SOBRE LA INTERFASE AGUA MINERALIZADA—  
AGUA DULCE EN EL AREA DE STA. CATARINA YECAHUITZOL,  
DISTRITO FEDERAL, MEXICO*

R. RODRIGUEZ C.\*

*(Recibido: 1o. de agosto de 1986)*

*(Aceptado: 19 de septiembre de 1986)*

RESUMEN

Los resultados de 12 sondeos eléctricos verticales con separación electrodica  $AB = 1.6$  km, interpretados con modelos directos e inversos permitieron definir la existencia de una capa parcialmente confinante y explicar la presencia de dos cuerpos de agua, uno mineralizado y el otro de buena calidad, en aparente discordancia, el primero sobre el segundo.

La modelación geoelectrica se basó en registros eléctricos de pozos sin columna litológica y en la evolución piezométrica de la zona.

ABSTRACT

The results of 12 vertical electrical soundings with an electrode separation  $AB = 1.6$  km, are interpreted with direct an inverse models permitting the definition of a partially confined unit and the existence of two separate bodies of groundwater, one highly mineralized and the other of very good quality in apparent discordance as the mineralized water overlies the fresh water.

The geoelectrical modeling is based on electric logs from local wells and on the piezometric evolution in the zone. No stratigraphic logs were available for the interpretation.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM, MEXICO.*

## INTRODUCCION

El agua del sistema acuífero del Valle de Chalco presenta estratificación en su mineralización, esto es más acentuado hacia el área de Sta. Catarina Yecahuitzol.

La génesis de la estratificación se da en términos del origen lacustre de los sedimentos, principalmente de las formaciones arcillosas. La presencia de lentes delgadas de arcilla (1-10 m) debe propiciar la interdigitación de material granular saturado con agua mineralizada y agua de buena calidad.

Se seleccionó esta zona de estudio (Fig. 1) por las siguientes razones:

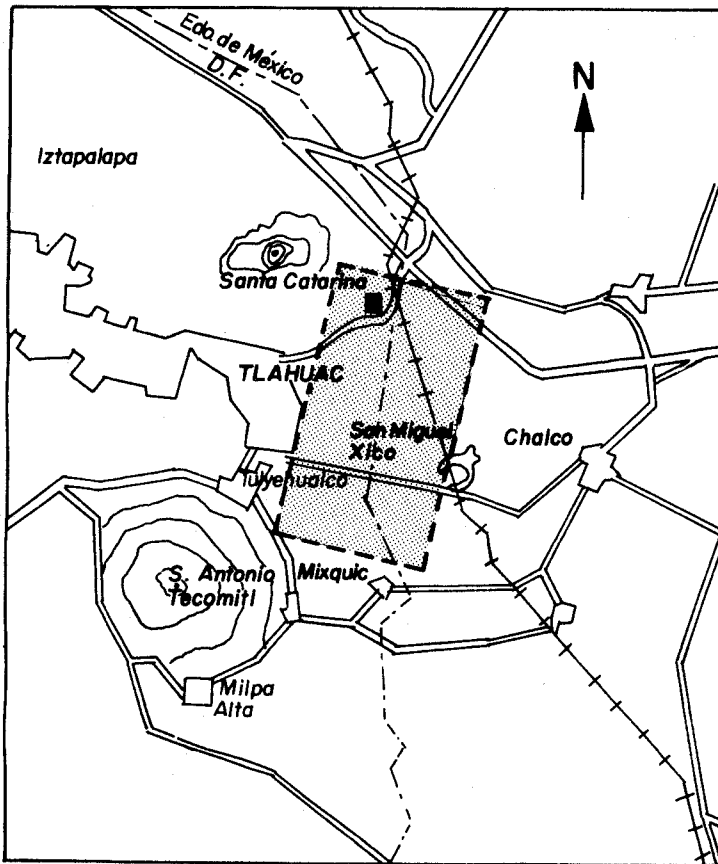


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio.

- (i) Se cuenta con una batería de 14 pozos de extracción con registros eléctricos, situados sobre una línea con una separación de 400 m; su profundidad es de 400 m.
- (ii) Las columnas litológicas de los pozos se extraviaron, contándose únicamente con alguna información superficial. La modelación geoelectrica requería entonces de un manejo especial.
- (iii) Los registros eléctricos (de resistividad normal y lateral y su potencial natural) no detectan una formación arcillosa continua que separe la zona saturada con agua mineralizada de la saturada con agua dulce.

#### ESTUDIO GEOELECTRICO

La respuesta geoelectrica de una formación granular saturada con agua mineralizada es similar a (i) una unidad arcillosa, a (ii) un paquete areno-arcilloso con lentes de arcilla o a (iii) un acuífero con agua de buena calidad con material con cierto contenido en arcillas. La diferenciación a este tipo de respuestas requiere curvas SEV (Sondeos Eléctricos Verticales) teóricas elaboradas a partir de modelos derivados de información litológica y/o de modelos propuestos considerando todos los casos posibles de calidad de agua y litología.

Se realizaron 12 SEV con apertura electródica AB de 1.6 km, distancia que se seleccionó en función de la profundidad de los pozos, se implementó un dispositivo Schlumberger. Ocho de los SEV se ubicaron en un perfil a lo largo de la batería de pozos y los cuatro restantes en otro situado perpendicularmente al primero (Fig. 2). La campaña de campo se llevo a cabo en el mes de abril de 1986, que corresponde a la época de estiaje.

#### MARCO GEOLOGICO

El área en estudio se encuentra en lo que fisiográficamente se denomina Faja Transvolcánica Mexicana, en concreto al centro de ésta en su porción central, en lo que se denomina Cuenca del Valle de México. Dentro de esta cuenca el área de estudio se localiza hacia la parte sur, en lo que se conoce como Subcuenca de Chalco.

Esta subcuenca se halla delimitada al Norte por rocas de Mioceno y Plioceno de

la Sierra de Sta. Catarina; al Sur por materiales ígneos asociados a la Sierra Chichinautzin y al Este y Oeste por depósitos aluviales y lacustres.

Las rocas más antiguas en el área de estudio son las volcánicas no diferenciadas del Mioceno que afloran en la Sierra de Sta. Catarina (Cerro Tlapacoya) al noreste de Chalco. En la parte norte de la misma Sierra se encuentran lavas fenobasálticas y tobas del Plioceno.

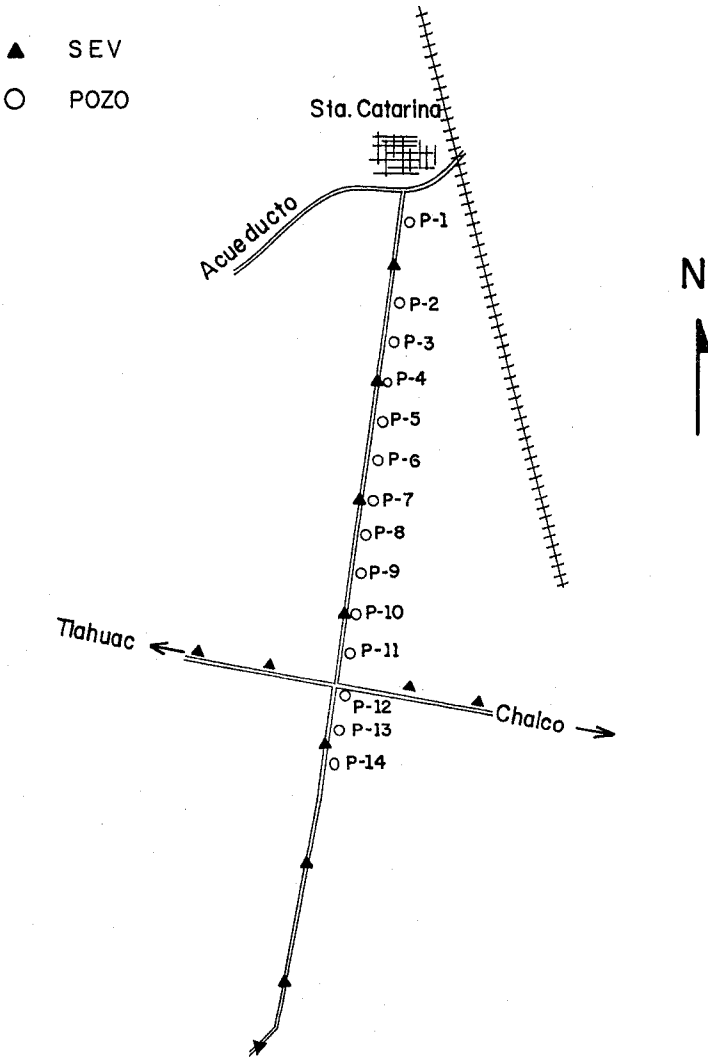


Fig. 2. Localización de SEV's y pozos - Línea Santa Catarina.

Al sur del área se presentan derrames de lavas y tobas (andecitas, dacitas y riolitas) que constituyen la Sierra del Chichinautzin. Su edad es del Cuaternario, al igual que la del volcán Xico.

El paquete sedimentario lo integran depósitos lacustres constituidos por derrames, cenizas, tobas, brechas y unidades arcillosas. Estos materiales se identifican como del Reciente.

### SITUACION HIDROGEOLOGICA

En el área de Sta. Catarina hasta antes de la perforación de la batería de pozos profundos (1981), sólo existían norias y pozos someros que producían agua mineralizada, con un contenido en sales entre 1 100 y 1 1600 mg/l (FI-UNAM, 1983) y nivel estático entre los 1-5 m de profundidad.

En 1981, con la construcción de la batería de pozos se pudo obtener un mejor panorama hidrogeológico de la zona. La información obtenida de las perforaciones se esquematizó en la Fig. 3.

Dado que los cortes litológicos de la zona no existen, la identificación de las unidades interceptadas se logró mediante el análisis de la información de pozos del área (Chalco, Tamamatla, Mixquic).

De este esquema se puede inferir que el acuífero se encuentra en sedimentos del Cuaternario (aluviones interdigitizados con cenizas volcánicas y arcillosas bentoníticas) principalmente depósitos lacustres. El espesor de éstos se estima mayor de 600 m (CAVM-SARH, 1984). En este paquete de sedimentos se identificaron dos lentes de arcilla de poca extensión y espesor. La zona saturada con agua mineralizada presentó un espesor medio de 220 m. Esta se encontró sobre un cuerpo de agua dulce cuyo espesor es difícil precisar considerándose un mínimo de 200 m. No sería sorpresivo que bajo él existieran otros de agua mineralizada. En la primera zona, en los pozos 8 y 9 de la batería se detectó una lente de agua de buena calidad, con un espesor de 36 m.

Los pozos se diseñaron con ademe ciego, los primeros 200 m y ranurado el resto (200) a fin de extraer únicamente el agua de buena calidad. La batería opera 24 hrs con gastos del orden de 90 l/s por pozo.

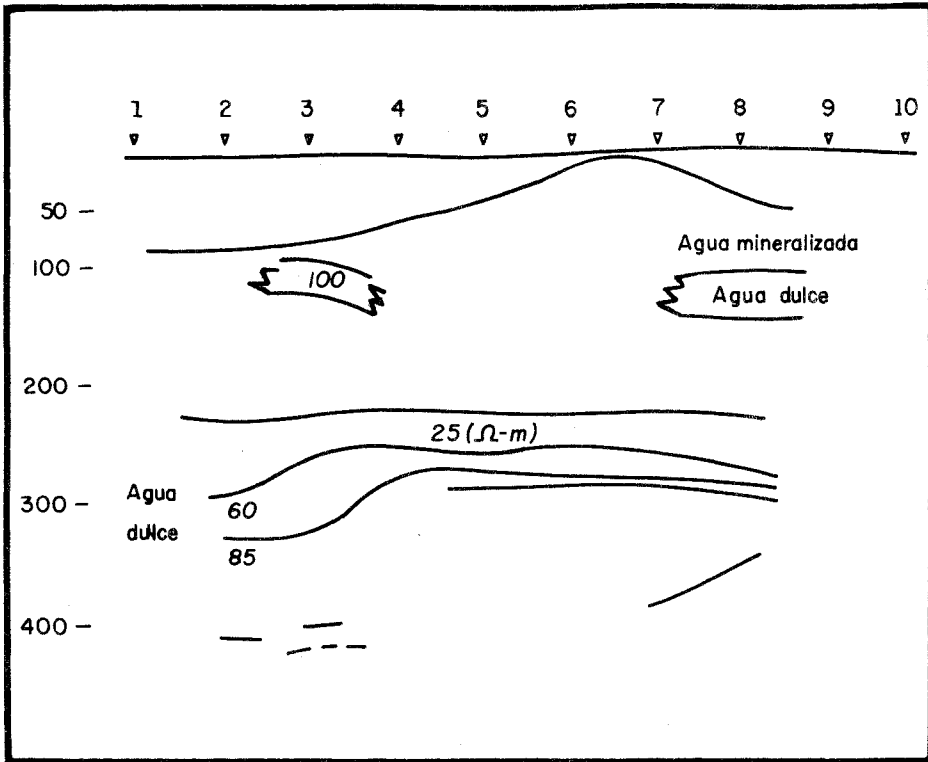


Fig. 3. Sección geoelectrica de la batería de pozos Santa Catarina.

### PROCESO DE INTERPRETACION

Se elaboraron ocho curvas SEV's sintéticas con la información de los pozos, espesores y valores medios de resistividad; además se construyeron 30 curvas teóricas tomando variantes de las seis situaciones posibles en la zona (Fig. 4). Estas curvas teóricas permitieron tener una idea del comportamiento geoelectrico del sistema.

Los SEV's de campo se interpretaron con un programa iterativo basado en filtros lineales (Lima, 1981) con un error medio mínimo del 5% y un máximo de 15% sobre la curva teórica y la de campo.

El proceso de interpretación se basó en la intercorrelación de las curvas de campo con las teóricas, tomándose criterios (Campos, 1986 y Campos *et al.*, 1984) para el manejo de traslapes y la asignación de valores de resistividad.

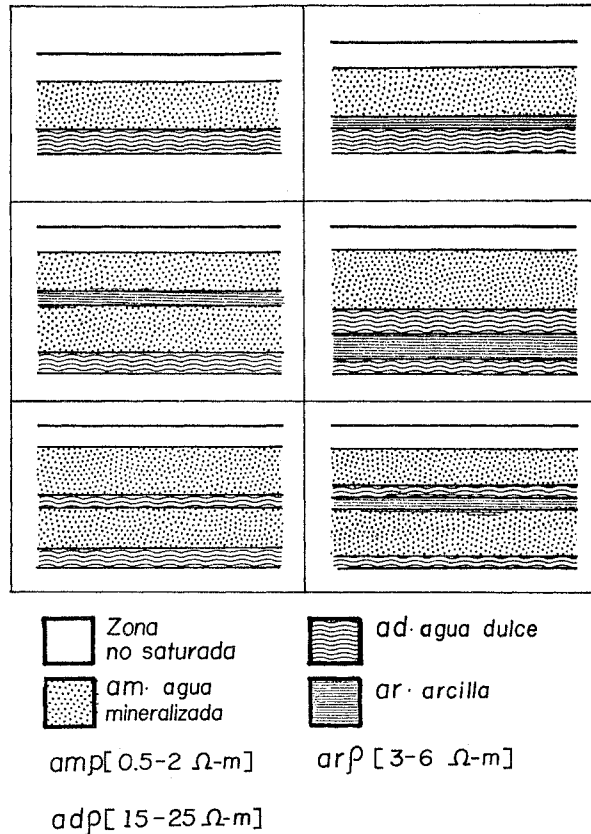


Fig. 4. Posibles situaciones geoelectricas.

No fue posible distinguir lentes de arcilla con rango resistivo 3 - 6Ω- m y espesores menores de 10 m, tal como era de esperarse de acuerdo con el principio de desaparición geoelectrico (capas de poco contraste resistivo y espesor pequeño en comparación con la distancia AB no son detectables por métodos resistivos clásicos).

Las lentes de agua dulce adyacentes a lentes de arcillas pueden aparecer como una sola capa. Su separación sólo es posible cuando sus contrastes resistivos son del orden de 10Ω- m (15 - 20 contra 5 - 10Ω- m). Los contrastes menores no son perceptibles en estas condiciones.

Los cuerpos de agua de buena calidad en estratos de agua mineralizada con espe-

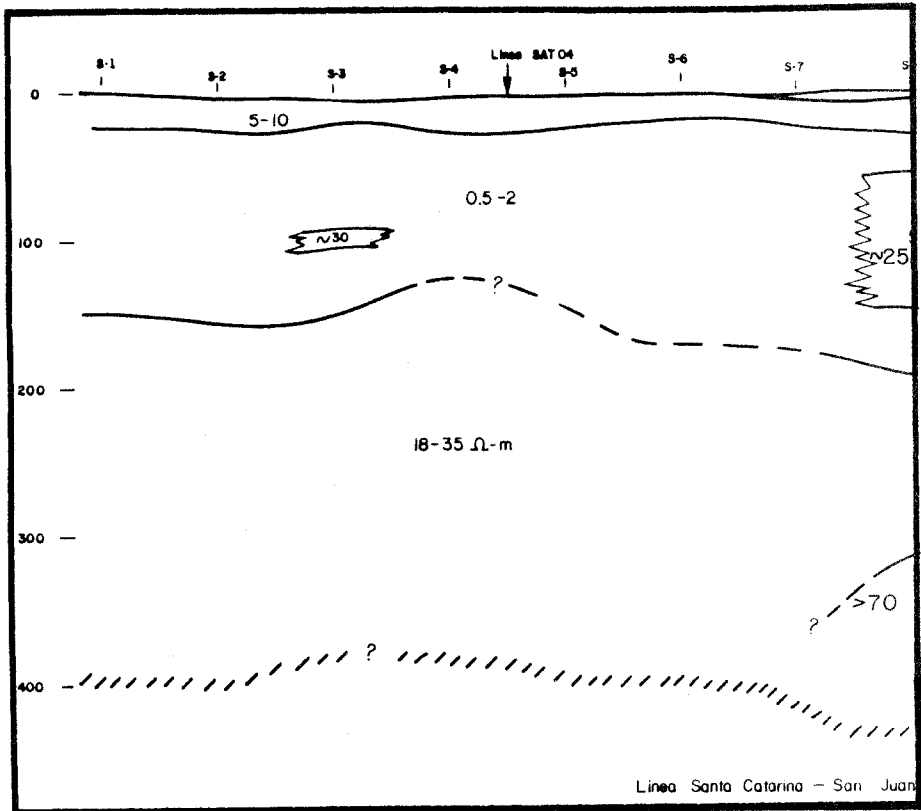


Fig. 5. Sección geoelectrica integrada con la interpretación de los SEV's.

Por mayor de 100 m son detectables cuando presentan espesores de 20 m; los espesores menores dan respuestas similares a las lentes de arcilla.

La sección geoelectrica elaborada con los resultados de los SEV's de la batería de pozos (Fig. 5) muestra la siguiente distribución de capas geoelectricas:

Una primera capa superficial resistiva con  $80\Omega\text{-m}$  con un espesor que va de 1 - 3 m (que no se muestra por limitaciones de escala), que corresponde a los sedimentos no saturados.



Una segunda capa con rango resistivo  $5 - 10\Omega\text{-m}$  y espesor de  $15 - 22\text{ m}$  que se identificó como material granular con agua higroscópica con cierto grado de mineralización; este paquete contiene la zona de transición entre la capa saturada y la no saturada.

La tercera capa evidenciada a una profundidad media de  $22\text{ m}$  es altamente conductiva ( $0.5 - 2\text{ ohm-m}$  de rango resistivo). Su espesor es de aproximadamente  $160\text{ m}$  y su carácter conductivo hace imposible distinguir en ella otras entidades conductivas como lentes de arcilla o de agua de otra calidad con espesores del orden de los  $10\text{ m}$  o menos. Se identificó como un acuífero con agua mineralizada con más de  $1\ 000\text{ mg/l}$  de sólidos disueltos (Rodríguez, 1981). Únicamente se pudieron distinguir dos lentes arcillosas, una a la altura del SEV 3 con un espesor de entre  $15\text{-}20\text{ m}$  y poca continuidad lateral, con valor resistivo de  $28\text{-}30\ \Omega\text{-m}$  y otra mucho más potente (SEV 8) con valor cercano a los  $90\text{ m}$  de espesor y  $\rho$  de  $25\ \Omega\text{-m}$ , cuya extensión lateral debe ser mayor que la anterior. Su respuesta geoelectrica y su detección en los registros resistivos indican que se trata de un paquete arcillo-arenoso.

La parte inferior del perfil corresponde a un paquete granular saturado con agua de buena calidad (menos de  $400\text{ mg/l}$  de sólidos totales disueltos) su espesor es mayor de  $200\text{ m}$  y su rango resistivo  $18 - 35\text{ ohm-m}$ . Presenta una ligera elevación en las inmediaciones del SEV 4 que pudiera explicarse en términos de flujo profundo o del proceso de mezcla de aguas. De existir lentes de arcilla, éstas deben ser de  $1.6\text{ km}$  de longitud y espesor menor de  $10\text{ m}$ .

Hacia el SEV 8 se presenta una entidad resistiva de  $70\Omega\text{-m}$ , cuyo carácter geológico es difícil de precisar, pero que se puede asociar a un derrame de roca ígnea alterada o fracturada, derrame que puede estar relacionado con la frontera sur de la zona (IGF-UNAM, 1986).

#### DISCUSION DE RESULTADOS

Al comparar las secciones geoelectricas (Figs. 3 y 5), se observa que una de las lentes de arcilla no se evidenció con los sondeos eléctricos verticales, por sus dimensiones y su ubicación entre estaciones.

En 1981 la profundidad al nivel piezométrico era del orden de los  $0\text{-}7\text{ m}$ , en tanto que el determinado para 1986 por este estudio se encontró a los  $22\text{ m}$ . El nivel estático determinado en campo piezométricamente resultó de  $20\text{ m}$ , lo que significa

que el nivel obtenido geoelectricamente es el dinámico, pues los pozos, en el momento del levantamiento geoelectrico, estaban operando.

La interfase entre las dos masas de agua para abril de 1986 se encuentra a una profundidad de 180 m, en tanto que en 1981 estaba a los 200 m. Esto significa que no existe barrera geológica que las separe, como lentes de arcilla de carácter impermeable, ya que de existir se hubiesen evidenciado geoelectricamente y las profundidades no hubiesen variado, y además que existe un proceso de mezcla entre los dos cuerpos de agua, puesto que desde el momento de operación no se registró un aumento brusco en la mineralización del agua extraída.

Este proceso de mezcla se debe al régimen de explotación que alteró el equilibrio hidrodinámico del sistema.

El que el nivel de agua mineralizada sea de 22 m se traduce en una pérdida de cerca de 40 m en los volúmenes de la misma; su espesor es de 160 m en 1986, contra 200 m en 1981.

La calidad de las aguas extraídas no ha evolucionado drásticamente según la revisión de los análisis químicos mensuales de los pozos (1981-1986), lo que permite la proposición de la siguiente hipótesis:

El comportamiento del estrato con agua de mala calidad corresponde al de una capa parcialmente confinante, ya que ha retrasado la respuesta hidrodinámica (cambios en calidad de agua y valores potenciométricos) de todo el sistema. El nivel piezométrico regional se ha abatido hasta 22 m, en tanto que el espesor de la capa mineralizada ha disminuido el doble (40 m), hipótesis que también corrobora el hecho de que las aguas extraídas no hayan variado apreciablemente su calidad; su aportación debe ser mucho más lenta que la del acuífero inferior, por baja permeabilidad, debido probablemente a su alto contenido en arcillas (CAVM-SARH, 1979).

La composición geológica del acuitardo es muy parecida a la del acuífero, con un predominio de arcillas; la transición entre las dos capas geológicas no es violenta.

El entendimiento del régimen hidrodinámico del sistema es importante, ya que la batería de pozos está conectada a la red de distribución de agua potable de la zo-

na. De existir la capa parcialmente confinante, ésta controlaría la infiltración de contaminantes superficiales locales. La recarga por infiltración es mínima; el área permanece anegada durante varios meses después de la época de lluvias.

Situaciones hidrogeológicas como la descrita son frecuentes en la Cuenca de México. El estudio geoelectrico permitió conocer parte de la fenomenología. La siguiente fase de esta investigación la constituirá un estudio hidrogeoquímico para conocer en detalle la composición de la mezcla y la de los dos paquetes saturados, la datación de las aguas de los dos paquetes por medio de Tritio para conocer su permanencia e inferir sobre su origen, una ampliación de la red geoelectrica para conocer la distribución de las lentes arcillosas y llegar a determinar la estratigrafía del área, en especial de la capa parcialmente confinante.

#### BIBLIOGRAFIA

- CAMPOS C., G., 1986. Un nuevo método para la resolución del problema inverso en georesistividades considerando la distribución geométrica de los electrodos. Tesis: Maestría en Geofísica. Fac. de Ciencias, UNAM.
- CAMPOS, G. y R. RODRIGUEZ C., 1984. Análisis de traslapes de curvas SEV del Valle de Guaymas. *Geos, época II*, 2.
- Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, SARH, 1964. Investigación Geofísica de la zona Xochimilco-Chalco-Amecameca.
- CAVM-SARH, 1979. Hydrogeological surveys in the Caterina Area by means of VES. Reporte Interno. Núm. Cat. 56006.
- Facultad de Ingeniería, UNAM, 1983. Estudio hidrogeológico de las zonas de Chalco-Amecameca. Reporte Interno.
- LIMA, E., 1981. Programa interactivo para interpretación y cálculo de curvas de resistividad aparente. Instituto de Geofísica, UNAM.
- RODRIGUEZ C., R., 1981. Aplicación de los métodos electrométricos en las investigaciones hidrogeológicas. Serie Referat, Universidad de Bucarest. R. S. R.
- RODRIGUEZ C., R. y P. DIAZ, 1986. Perfiles geofísicos al sur de la Cuenca de México. Instituto de Geofísica, UNAM, CAVM-SARH. Reporte Técnico.

