

VOLUMEN ESPECIAL DE LA REVISTA:

GEOFISICA

ISSN 0016 - 7169

INTERNACIONAL

REVISTA DE LA UNION GEOFISICA MEXICANA, AUSPICIADA POR EL INSTITUTO DE
GEOFISICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Vol. 28

México, D. F., 1o. de abril de 1989

Núm. 2

Contenido

	Págs.
<i>I. HERRERA: El sistema acuífero de la Cuenca de México - Introducción</i>	
E. VAZQUEZ-SANCHEZ y R. JAIMES-PALOMERA: Geología de la Cuenca de México.	133
R. RODRIGUEZ C. y C. OCHOA A.: Estudio geoelectrico del sistema acuifero de la Cuenca de México.	191
R. RODRIGUEZ-CASTILLO y T. GONZALEZ-MORAN: Comportamiento hidrodinámico del sistema acuífero de la subcuenca de Chalco, México.	207
R. JAIMES-PALOMERA, A. CORTES-SILVA, E. VAZQUEZ-SANCHEZ, R. ARAVENA, P. FRITZ y R. DRIMMIE: Geoquímica isotópica del sistema hidrogeológico del valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México.	219
E. VAZQUEZ-SANCHEZ, A. CORTES, R. JAIMES-PALOMERA, P. FRITZ y R. ARAVENA: Hidrogeología isotópica de los valles de Cuautla y Yautepec, México.	245
A. CORTES, R. D. ARIZABALO y R. ROCHA: Estudio hidrogeoquímico isotópico de manantiales en la Cuenca de México.	265

(Pasa a la contraportada)

Nota técnica

El sistema acuífero de la cuenca de México¹

Ismael Herrera Revilla
Alejandra Cortés Silva

Instituto de Geofísica, UNAM

LA UNAM y la Universidad de Waterloo, Canadá, trabajan en el desarrollo de un estudio multidisciplinario que tiene como objetivos principales ampliar el conocimiento sobre el sistema acuífero de la cuenca de México, su constitución geológica, su comportamiento hidrodinámico y su susceptibilidad a diferentes mecanismos de contaminación. La primera etapa del proyecto, iniciada en 1986, tuvo una duración de tres años. A la fecha, los logros más importantes son: integración de un modelo geológico, establecimiento de un modelo computacional tridimensional de flujo y transporte, caracterización isotópica de la precipitación y del agua subterránea, parametrización geoeléctrica del acuífero y el estado y evolución de la hidroquímica general del agua subterránea. En este trabajo se presenta un resumen de los resultados más relevantes de cada disciplina.

Con objeto de presentar los resultados de las investigaciones multidisciplinarias sobre el sistema acuífero de la cuenca de México, desarrolladas por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en colaboración con el Centro para Investigación del Agua Subterránea de la Universidad de Waterloo (UW), Canadá, se llevó al cabo en el Palacio de Minería, del 26 al 29 de abril, un simposio en el que participaron más de 20 investigadores nacionales y extranjeros.

Estas investigaciones se enmarcan en el contexto de un proyecto de cooperación internacional entre la UNAM y la UW Aquifer Development, que cuenta con el patrocinio del Consejo Nacional para el Desarrollo de la Investigación del Gobierno de Canadá y el apoyo de la Comisión Nacional del Agua. El simposio fue organizado por los codirectores del proyecto, profesores Ismael Herrera Revilla, Director del Instituto de Geofísica, y el profesor Robert N. Farvolden, del área de Hidrogeología Regional de la UW.

Los objetivos principales del estudio son conocer el sistema acuífero de la cuenca de México, su constitución geológica, su comportamiento hidrodinámico y su susceptibilidad a diferentes mecanismos de contaminación. Incluyó estudios

geológicos, hidrogeológicos, hidrogeoquímicos, isotópicos, geofísicos y de modelación computacional, enfocados hacia el análisis y el entendimiento de la dinámica del sistema acuífero de la cuenca, fuente primordial de abastecimiento de agua para la metrópolis.

La primera etapa, iniciada en 1986, tuvo una duración de tres años. A la fecha, los resultados más importantes obtenidos son: integración de un modelo geológico, establecimiento de un modelo computacional tridimensional de flujo y transporte, caracterización isotópica de la precipitación del agua subterránea, parametrización geoeléctrica del acuífero y el estado y evolución de la hidroquímica del agua subterránea. La ciudad de México, la más grande del mundo por su población, requiere alrededor de 50 m³/s para mantener su actividad. De ellos, 40 m³/s (80%) proviene del subsuelo y solamente 12 m³/s (20%) de agua superficial, a pesar de que la precipitación pluvial media anual es cercana a los 1000 mm. Estos últimos son suministrados por medio de obras de muy alto costo: los sistemas Temascaltepec y Cutzamala; de allí la importancia de los estudios presentados durante el simposio. A continuación se presentan los resultados más relevantes de cada disciplina.

Geología

La información existente, la geología e hidroestratografía del subsuelo se obtuvieron considerando la geología superficial para interpretar cortes litológicos recopilados de las siguientes obras hidráulicas: multipiezómetros (SARH, 1979), pozos de extracción pertenecientes a la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), Departamento del Distrito Federal (DDF) y Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento del Estado de México (CEAS), así como de las perforaciones profundas exploratorias (PEMEX, 1987 y SCHP, 1986). También se interpretaron los siguientes trabajos geofísicos: sondeos eléctricos verticales (SARH, 1986 y 1987), perfiles de sísmica de refracción (SCHP, *op. cit.* y CFE, 1987), y de reflexión (Pérez-Cruz, 1988), los registros sísmicos de porosidad y de densidad compensada de los pozos profundos (PEMEX, *op. cit.*).

Desde el punto de vista geológico, la cuenca de México constituye un sistema multiacuífero potencial, del que hasta el momento sólo se conoce parcialmente el funcionamiento del acuífero en explotación y se desconocen datos fehacientes que aporten información de los acuíferos profundos, como es el origen y características de los mecanismos de recarga y zonas de descarga, velocidad y dirección de flujo, parámetros hidráulicos (KTS), y si los acuíferos profundos tienen conexión hidráulica con el acuífero somero.

El acuífero regional profundo confinado lo constituyen calizas y dolomías cársicas plegadas, fracturadas y falladas de las facies de banco submarino de las Formaciones Morelos y Cuautla. Probablemente, la dolomitización de la Formación Morelos haya causado un incremento en la porosidad, mientras que la conductividad hidráulica de este acuífero puede disminuir hacia el norte, donde existen calizas arcillosas con pedernal e intercalaciones de lutita, pertenecientes a la facies de cuenca de la Formación El Doctor. Se ha inferido un espesor máximo del orden de 1500 m para el acuífero calizo. No se tiene información acerca del tipo de basamento hidrogeológico subyacente al acuífero calizo; sin embargo, con base en las evidencias de la extensión de la plataforma marina Guerrero-Morelos hacia la cuenca de México, se piensa que el miembro inferior anhidrítico de la Formación Morelos compone el basamento acuitardo. Lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Mexcala podrían funcionar en zonas de sinclinales como acuitardo confinante del acuífero

calizo. La parte inferior del Grupo Balsas, compuesta de conglomerados calizos compactos, arenas, limos y arcillas, conteniendo lentes yesíferas y anhidríticas, igualmente funcionaría como confinante superior del acuífero calizo.

Rocas intrusivas de composición variable de basáltica a dacítica, pertenecientes a la parte superior del Grupo Balsas, del Oligoceno-Mioceno (Tomv y Tomp) y del Mioceno Medio-Tardío (Tmv), componen el acuífero volcánico de espesor variable entre 500 y 2000 m, ya que en conjunto forman una secuencia alterada y fracturada, integrada por intercalaciones de tobas, brechas volcánicas, aglomerados, derrames lávicos y capas aluviales. Es posible que la conductividad hidráulica y porosidad de este conjunto de rocas decrezcan con el tiempo geológico, debido a la compactación, alteración arcillosa y relleno de huecos por minerales secundarios.

El acuífero principal en explotación es de origen volcánico sedimentario y se considera de carácter anisotrópico heterogéneo, debido a que lo forman las siguientes facies hidrogeológicas: tobas, brechas volcánicas y aglomerados no consolidados de unidades volcánicas del Plioceno y Cuaternario, cuya composición es andesítica-dacítica, y su contenido de gravas, arenas, limos y arcillas aumenta hacia el norte. La distribución del tamaño de grano en estos depósitos varía lateral y verticalmente; además, se interdigitan hacia las Sierras Las Cruces-Monte Alto, Nevada-Río Frío, Guadalupe y Tepozotlán, con intercalaciones de derrames lávicos fracturados y depósitos piroclásticos poco litificados. Otra facies la forman flujos lávicos fracturados-vesiculares-cavernosos, los cuales en algunas partes son autobrechados con intercalaciones de ceniza, lapilli y escoria, preferentemente basálticos y de las formaciones El Pino, Chichinautzin y de las rocas máficas (Tpb) del norte. Gravas, arenas, limos y arcillas aluviales del Cuaternario, con lentes locales de cenizas, travertino y calizas lacustres, constituyen también parte de este acuífero.

El acuífero volcánico-sedimentario tiene un espesor máximo promedio de 1000 m en las planicies lacustres y en las sierras circunvecinas. Es un acuífero libre en las regiones montañosas, en los abanicos piroclásticos, en las llanuras y cono aluviales; por otra parte, es confinado en las planicies por depósitos lacustres arcillosos (Qla) del Cuaternario, los cuales se extienden desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el

cerro Chapultepec. Este acuitardo arcilloso tiene espesores que varían entre 30 y 300 m.

Palinología y paleoambientes pleistocénicos

Se analizó el contenido palinológico de un sondeo de 80 m del ex-lago de Texcoco, para establecer una palinoestratigrafía a través del análisis paleoecológico y paleoclimático. Los cambios detectados están apoyados por los cambios geoquímicos registrados en los sedimentos lacustres. La secuencia palinoestratigráfica se explica en términos de variaciones climáticas, conjuntamente con las alteraciones que sobre la cubierta vegetal y los suelos produjo el volcanismo de la cuenca. Las arcillas lacustres del sondeo comprenden desde el final del Pleistoceno medio hasta el Pleistoceno superior. Se establecen zonas con base en el contenido palinológico y características geoquímicas de los sedimentos:

Zona A (*Pleistoceno medio superior*)

Dominada por polen de bosques de pino y encino y la presencia polen de bosque mesófilo; clima templado húmedo. Las evidencias paleolimnológicas señalan la existencia de un lago de agua dulce durante este periodo.

Zona B (*Pleistoceno medio superior*)

Presenta variaciones importantes en el contenido palinológico; domina el polen de comunidades herbáceas; se registra un enfriamiento importante que se correlaciona con la glaciación Tomicoxco. Hay gran aporte de material detrítico alóctono y los valores de N_a y K se elevan. También hay un aumento considerable de la susceptibilidad magnética y se detecta una importante reducción del nivel lacustre. Hacia el final de la zona el nivel del lago aumenta; se recuperan las comunidades boscosas y hay una retracción de las comunidades herbáceas.

Componentes de nitrógeno en agua subterránea

El estudio de los compuestos del nitrógeno en agua subterránea fue motivado por la clausura de un conjunto de pozos en la parte sur del valle de México, determinada a su vez por las altas concentraciones de amonio. Se intentó determinar si las fuentes de los compuestos de nitrógeno en el agua subterránea

eran antropogénicas, particularmente las aguas de desechos (aguas negras). Estas aguas son conducidas a través de toda la ciudad por una red de canales no revestidos, que también se utilizan dentro del valle para la irrigación. Se optó por el estudio de los nitrógenos en particular, ya que son ampliamente reconocidos en los desechos domésticos y sus procesos geoquímicos son razonablemente bien comprendidos. El principal riesgo conocido de los compuestos del nitrógeno en el agua destinada al consumo humano es la metahemoglobinemia, una patología de la infancia temprana. El límite máximo para nitratos recomendado por la Organización Mundial de la Salud, es 10 mg/l como N.

Se tomaron muestras de agua de pozo y agua superficial contaminada y se analizaron parámetros geoquímicos e isótopos ambientales. Los resultados fueron intercomparados en un intento por identificar la presencia del agua superficial en el agua de pozo. Las características del agua superficial no resultaron, en general sustancialmente diferentes de las del agua de pozos como para determinar si la contaminación antropogénica ocurría en forma generalizada.

Carácter hidrogeoquímico y evolución de las aguas subterráneas

Este estudio trata sobre la calidad de agua subterránea de la cuenca, su génesis, distribución y transformación. Está basado en información facilitada por la Comisión de Aguas del Valle de México y en un muestreo específico realizado expresamente.

El agua del acuífero de la cuenca ha sido secularmente suficiente y saludable para sus habitantes. Los procesos que en el presente pueden afectar la calidad del recurso se relacionan tanto con factores naturales como con factores inducidos-inevitables y controlables:

- Factores naturales. Aguas subterráneas con características químicas que limitan su uso y que se presentan en forma natural en diversas zonas o estratos.
- Factores inducidos-inevitables. El bombeo induce captaciones horizontales y verticales de zonas vecinas de distinta calidad que las originales. También induce por despresurización un aporte de aguas de distinta calidad proveniente de la consolidación de las arcillas.
- Factores inducidos-controlables. El bombeo induce recargas verticales, afectadas en mayor o menor grado por la acción antropogénica, la

que puede modificarse si en superficie se cambian las condiciones. Los factores inducidos-controlables representan el riesgo mayor de afectación al recurso. A este respecto, la carencia de información específicamente tecnógena (concentraciones de clorobenzenos, tetracloruro de carbono..., en el agua subterránea y la caracterización de fuentes potenciales de contaminación) ha representado una limitación para este estudio.

Entre las conclusiones más relevantes se pueden mencionar las siguientes:

- El análisis histórico mostró al régimen del sistema de flujo subterráneo de la cuenca sensible a fluctuaciones externas en tiempos de respuesta de una misma estación.
- En respuesta a la explotación actual, el régimen del sistema ha evolucionado a una situación bastante generalizada de recarga potencial vertical. En este nuevo estado el sistema descarga en los pozos, el yacimiento acuífero. La transformación parece haberse completado hace unos 40 años. Los regímenes en las montañas han sido los menos afectados.
- La planicie lacustre presenta actualmente diversas zonas donde los gradientes piezométricos verticales en los estratos superficiales favorecen la infiltración. Estas zonas se han denominado vulnerables a causa de la actividad humana, posiblemente degradativa. También coexisten algunas zonas sin gradientes y lugares aislados con gradiente vertical ascendente.
- El pie de monte es ahora zona vulnerable y en algunos lugares zona de riego de contaminación.
- Existen indicios de dos tipos genéticos naturales de aguas subterráneas: el agua de origen lacustre, agua de arcillas (asociada a los sedimentos) y el agua recargada en montañas, agua profunda (asociada al acuífero, bajo los estratos arcillosos). El agua de arcillas pudiera ser en general relativamente más mineralizada que el agua profunda. Otro tipo concebible, el antropógeno, no ha podido caracterizarse. El agua de pozo puede resultar de una mezcla de esos ingredientes.
- El metamorfismo químico natural del agua profunda no fue controlado por la mineralización del agua de sus antiguos lagos.
- Aguas profundas con diversas mineralizaciones naturales han existido siempre. Las zonas antiguas de mala calidad aún persisten.
- El carácter isotópico de las aguas de los pozos del sur de la cuenca (Pozos del Sur y el

Ramal Tláhuac) es diferente al de los pozos del norte de la cuenca (Ramales Ecatepec, Reyes-Ferrocarril, Tizayuca-Pachuca). Los del norte se muestran más marcados por un proceso de evaporación. Esto es probablemente debido a mezcla con agua de arcillas.

- Se detectaron dos tipos hidrogeoquímicos típicos de aguas de pozos. EL primer tipo (Ramales Tizayuca-Pachuca, Atlamica, Satélite y Pozos del Sur), que parece asociarse fundamentalmente con agua de recarga. El segundo (caracterizado por mayores concentraciones de sodio y cloruros, relativas al primer tipo y un ambiente reductor) se localiza en pozos de la planicie lacustre (Ramales Ecatepec y Reyes Ferrocarril-Este); la diferencia de tipos puede relacionarse a distintos procesos de evolución hidrogeoquímica o a mezclas con agua de arcillas.
- Los patrones de distribución de los cloruros resultan muy simples: aguas de baja concentración en las zonas montañosas, aguas profundas de mayores concentraciones hacia el centro de las zonas lacustres. La relativa alta mineralización de las aguas profundas en zonas centrales se relaciona a aguas que han recorrido un mayor trayecto hasta su descarga. El esquema del sistema de flujo regional dentro de la cuenca se satisface; éste incluye a sistemas locales internos. Los parteaguas superficiales de la Sierra de Guadalupe y Cerro Gordo definen cada uno un sistema de flujo local. La situación no es clara para el parteaguas de la Sierra de Iztapalapa y está poco documentada para otros parteaguas internos.
- Algunas zonas vulnerables se correlacionan con sitios donde otros estudios han detectado afectación desde la superficie al acuífero, específicamente las zonas lacustres de Chalco-Xochimilco y Sosa-Textcoco, y en zonas lacustres de pie de monte (Cromados de México, en Lechería, estado de México). Esta situación favorece la hipótesis de que los procesos de contaminación, donde éstos se detecten, no serán manifestaciones de procesos locales sino zonales. El estudio ha detectado por tritio recargas recientes (menos de 35 años) en algunos pozos localizados en zonas vulnerables.
- El nitrógeno en forma de nitrato se presenta en pozos desarrollados en ambientes oxidantes y no muy reductores. Además, el nitrógeno en forma de amonio se presenta en ambientes muy

reductores, principalmente en Tláhuac y al norte de la Sierra de la Villa.

- La Cuenca de México se manifiesta hidrogeológicamente cerrada también a la contaminación. Las sustancias que se incorporan al sistema de flujo subterráneo de la cuenca viajan hacia sus pozos y aprovechamientos. Los fenómenos de retención o transformación son totalmente desconocidos.

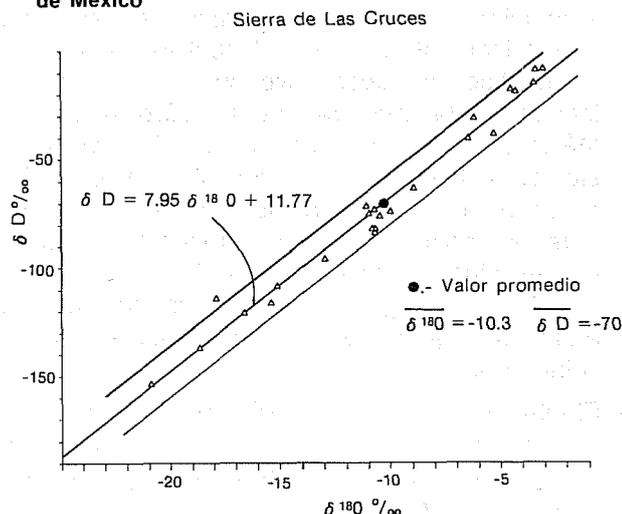
Investigaciones hidrológicas con isótopos ambientales

Debido a que las sierras que forman la cerradura sur de la cuenca de México son parte de la principal zona de recarga para los acuíferos, se realizó un estudio, solicitado al Instituto de Geofísica por la Gerencia de Aguas del Valle de México-CNA, a fin de determinar la posible comunicación hidráulica entre el sur de la cuenca de México y las subcuencas del estado de Morelos.

Posteriormente, se amplió la investigación con estudios más detallados y la inclusión del uso de otros isótopos que no habían sido utilizados de manera sistemática y combinada en estudios geohidrológicos dentro del país, como oxígeno-18, deuterio, azufre-34, tritio y carbono-14.

Los resultados isotópicos en el contenido de oxígeno-18, deuterio y tritio de los acuíferos superiores y su relación con la variación en la altitud de la Sierra Chichinautzin, establecieron que la recarga subterránea para las dos regiones involucradas se origina en dicha sierra. La confirmación se obtuvo con la distribución de los parámetros climatológicos, así como con la

1. Composición isotópica de la precipitación para la cuenca de México



dirección de flujo subterráneo y las implicaciones de la composición química de estos acuíferos.

Por otro lado, en las subcuencas del estado de Morelos existen dos cargas del acuífero calizo profundo con más de 40 años de infiltración (0.8 UT). La similitud en el contenido de isótopos estables con respecto a los acuíferos superiores evidencia que su recarga se produce también en la Sierra Chichinautzin.

Los resultados permitieron postular que la recarga producida en dicha sierra, aunada a la presencia de fallas normales plio-cuaternarias sepultadas por la formación Chichinautzin, formaron una barrera hidráulica que impide el flujo subterráneo entre las regiones involucradas, tanto para acuíferos superiores en explotación como posiblemente para el acuífero calizo profundo extendido en las dos regiones.

Así mismo, se inició una investigación de hidrología de montañas para conocer el comportamiento de las zonas y características de recarga y descarga. En su primera fase comprendió la caracterización isotópica del agua de precipitación para relacionar este comportamiento con la caracterización isotópica de la zona en explotación.

La segunda etapa se inició con un estudio sobre la influencia de una tormenta en la descarga natural del agua subterránea en una subcuenca situada en la Sierra de Monte Alto. Posteriormente, con base en los resultados obtenidos, se podrá proponer un modelo estocástico del comportamiento hidrológico de las principales zonas de recarga y correlacionar, de esta manera, otras disciplinas para determinar coeficientes de infiltración y comportamiento. La información obtenida permitirá evaluar cuantitativamente volúmenes de recarga.

Finalmente, debido al alto número de obras hidráulicas en la cuenca de México y a la incapacidad tanto técnica como económica para hacer por lo menos dos muestreos, se decidió muestrear temporalmente, en época de lluvias y estiaje, 39 manantiales que pueden ser considerados como manifestaciones directas del sistema hidráulico de la zona. A estas manifestaciones se les realizaron análisis de oxígeno-18, deuterio y químicos, con el fin de caracterizar familias de agua y principales zonas de recarga.

Investigaciones de flujo en las arcillas del Lago de Texcoco

En este trabajo se investiga el comportamiento hidráulico del sistema salino de Texcoco, mediante

la evaluación de datos históricos, estudios de campo y análisis numérico del flujo subterráneo, así como el transporte de solutos dentro de un gran campo de pozos de donde se extraen aguas salobres para fines industriales. Los dos acuíferos de poco espesor que se explotan en esta área están limitados por acuitardos de alta compresibilidad, los cuales proporcionan enormes volúmenes de agua a los acuíferos, por filtración.

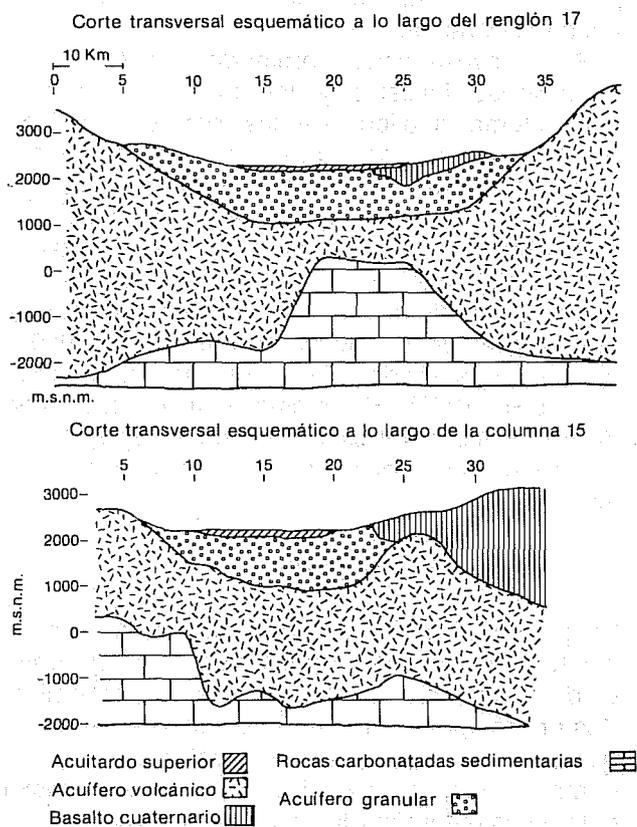
Para el modelo del flujo se utiliza un sistema de ecuaciones integrodiferenciales cuasi-tridimensional que se resuelve numéricamente mediante un sistema triangular de elementos finitos. El modelo de transporte masivo de solutos está basado en el método de características combinado con un rastreo de partículas. Ambos modelos están calibrados con precisión, de acuerdo con las mediciones piezométricas de campo y los datos de distribución de concentraciones provenientes de los pozos explotados. Los nidos piezométricos instalados en el acuitardo arcilloso superficial indican que en las áreas intensamente bombeadas la infiltración pluvial diluye las concentraciones de agua de las porosidades del acuitardo, lo que podría explicar las concentraciones decrecientes observadas recientemente en los pozos explotados.

Por último, el análisis de los datos de campo indica también que el acuitardo superficial está fracturado, y es probable que la red de fracturas juegue un papel importante en el movimiento de solutos en el acuitardo. Los modelos aquí descritos se utilizan en la actualidad para investigar las posibles estrategias alternativas para su manejo, con el fin de optimizar la producción de campo del bombeo industrial.

Contribución para la administración científica del agua subterránea

En esta investigación se presenta un nuevo modelo del sistema acuífero de la cuenca de México, constituido por cuatro cuerpos con características y funcionamiento hidráulico diferentes. El superior lo forma un acuitardo con valores promedio de 70 m de espesor, en el que el flujo es esencialmente vertical. Bajo esta formación se localiza el acuífero granular con 800 m de espesor medio, en cuyos 300 m superiores se lleva a cabo la extracción del agua subterránea. Aún más abajo de estas formaciones se encuentra un acuífero volcánico de 2000 m de espesor medio, limitado inferiormente por

2. Cortes transversales esquemáticos



rocas carbonatadas sedimentarias de espesor y características desconocidas.

Este sistema se modeló en tres dimensiones con cuatro capas y 1344 celdas por capas; el acuitardo se simuló a través de la formulación integrodiferencial de Herrera. Los resultados preliminares indican que para tiempos medios del orden de 15 años, la alimentación desde el cuerpo carbonatado sedimentario no es significativa en el comportamiento de los cuerpos superiores.

Condiciones de frontera hidráulicas naturales, usando modelado matemático

Para conocer la respuesta del sistema acuífero del valle de México, se prepararon algunos modelos matemáticos de la zona metropolitana y sus alrededores (Herrera *et al*, 1982; Cruickshank *et al*, 1982). Sin embargo, estos modelos han utilizado condiciones artificiales de frontera para simular el sistema acuífero, ya que las fronteras hidráulicas naturales y las condiciones iniciales de flujo no se habían analizado con anterioridad. Un conocimiento hidrogeológico más preciso de las condiciones iniciales y las de frontera naturales

permitirán un mejor modelado de los recursos de agua subterránea.

Esta investigación pretende identificar las condiciones iniciales y las fronteras naturales del sistema acuífero de las partes centro-sur de la cuenca, con base en las evidencias hidrogeológicas de campo y en el modelado matemático de las condiciones de flujo que existieron antes de que empezara la explotación intensa del acuífero, hace aproximadamente 60 años. El estudio apoya el modelado tridimensional del acuífero de la cuenca (Herrera *et al*, 1989) y se basa en el Modelo Geológico de Vázquez E. y Jaimes R. (1989). El sistema de flujo del acuífero de la cuenca de México también se apoya en el análisis de flujo regional estudiado por Ortega G. y Farvolden (1988).

Investigaciones geofísicas

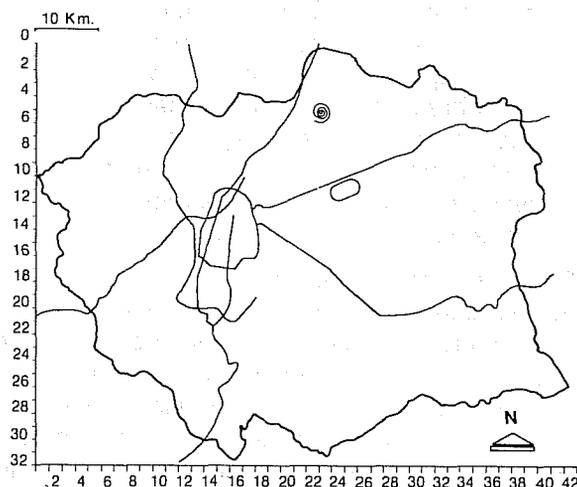
La parametrización geoelectrica de un sistema acuífero con un marco geológico complejo como el de la cuenca de México, donde predominan dos grupos geoelectricos cuyos rangos resistivos dificultan la identificación geológica de sus componentes, requiere de una buena correlación entre la estratigrafía y los valores resistivos.

En el área de estudio, con una superficie de más de 9000 km², se caracterizaron geoelectricamente 12 unidades geológicas relacionadas con el acuífero a través de un macroperfil geoelectrico W-E, integrado por 70 sondeos eléctrico-verticales SEV's, con distancias electródicas AB = 1.2, 1.6 y 2.0 km, distribuidos en la parte central-norte de la cuenca.

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

3. Ilustración en planta de las celdas del modelo



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 por los procesos lacustres de sedimentación.

En la porción noroeste de la cuenca (Municipio de Tultitlán, estado de México) se encuentra un depósito de desechos industriales que contiene grandes cantidades de cromato (cromo hexavalente (CrVI)) y sulfato de sodio, compuestos de alta solubilidad. El agua de lluvia, al infiltrarse por el depósito, provoca lixiviación y contamina el agua subterránea.

En esta área se realizó un estudio geoelectrico consistente en 51 calicatas con distancias electródicas AB = 40m. Su análisis e interpretación permitieron obtener un esquema geométrico tridimensional del volumen del terreno contaminado.

Para obtener mayor información sobre los avances del estudio, los interesados pueden dirigirse con los autores al Instituto de Geofísica de la UNAM, a los teléfonos 5 50 52 15, ext. 4657, y 5 50 54 15.

¹ En este trabajo se presenta un avance del contenido del Número Especial de Geofísica Internacional. Vol. 28, 2-1989.

GEOFISICA INTERNACIONAL es una revista trimestral destinada a la publicación de trabajos en las ciencias geofísicas en español, inglés ó francés. Solamente se aceptan artículos y notas originales cuyos manuscritos deberán presentarse en alguna de las lenguas mencionadas, con resúmenes en español y en la lengua usada por el autor. Aceptado el trabajo para su publicación se notificará al autor y se entregarán *gratuitamente* 20 sobretiros, cobrándose los excedentes a un precio nominal. Los autores recibirán pruebas de imprenta en una sola ocasión para revisarlas antes de publicarse sus trabajos.

GEOFISICA INTERNACIONAL is a quarterly journal devoted to the publication of papers on the geophysical sciences in Spanish, English or French. Only original articles and notes are accepted. Manuscripts should be presented in one of the above mentioned languages, with abstracts in Spanish and the language used by the author. Once the paper has been accepted for publication, the author will be notified, and receive 20 reprints *free of charge*. Additional reprints can be supplied at a nominal charge. Authors will receive only one set of galley proofs for correction before publication.

GEOFISICA INTERNACIONAL est une revue trimestrielle dédiée à la publication de travaux dans les sciences géophysiques qui se publie en espagnol, anglais ou français. On acceptera seulement des articles et des notes originaux, dont les manuscrits devront être présentés dans une des langues mentionnées, avec des résumés en espagnol et en la langue usitée par l'auteur. Après l'acceptation du travail pour sa publication, l'auteur sera notifié et recevra 20 tirés-à-part à titre *gratuit*, mais devra payer les excédents à un prix nominal. Les auteurs recevront seulement une fois des épreuves d'imprimerie pour leur revision avant la publication des travaux.

Gerardo Suárez
Director,
Instituto de Geofísica, UNAM

David J. Terrell
Presidente,
Unión Geofísica Mexicana

EDITOR: I. Herrera Revilla
PRODUCCION EDITORIAL: Francisco Graffé
Instituto de Geofísica
Sección Editorial
Circuito Científico
Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán
04510 México, D. F., MEXICO

(Viene de la portada)

- M. A. ORTEGA: Las condiciones de frontera hidráulicas naturales en la Cuenca de México, usando modelado matemático. 283
- I. HERRERA, R. MARTINEZ y G. HERNANDEZ: Contribución para la administración científica del agua subterránea de la Cuenca de México. 297
- S. LOZANO-GARCIA: Palinología y paleoambientes pleistocénicos de la Cuenca de México. 335
- D. L. RUDOLPH, I. HERRERA y R. YATES: Groundwater flow and solute transport in the industrial well fields of the Texcoco saline aquifer system near Mexico City. 363
- T. GONZALEZ-MORAN y R. RODRIGUEZ-CASTILLO: Monitoreo geofísico en el entorno de un basurero industrial de desechos de cromo. 409
- M. C. RYAN: An investigation of inorganic nitrogen compounds in the groundwater in the Valley of Mexico. 417
- A. CORTES, L. R. JAIMES y R. N. FARVOLDEN: Hidrología isotópica de la influencia de una tormenta en la descarga natural del agua subterránea en la Sierra de Monte Alto. 435

* * *

Publicada con la ayuda del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

●
MEXICO
1989