ACTA GEOLÒGICA HISPÀNICA. *Homenatge a Lluís Solé i Sabarís.* t. 14 (1979) pàgs. 405-409

Variaciones de la piezometría en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid

por Fernando LÓPEZ VERA

Seccion de Investigación de Recursos Hidráulicos. Instituto Lucas Mallada. C.S.I.C. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid 3.
Direccion actual: Departamento de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco. Madrid 34.

RESUMEN

Las variaciones de la piezometría en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid es conocida a escala regional, estando determinada por el sistema de flujo local, medio y regional del agua subterránea. Sin embargo, la existencia de heterogeneidades geológicas a macro y megaescala, pueden producir desviaciones importantes del modelo teórico.

Aparte de las variaciones piezométricas debidas a la dinámica del agua subterránea, existen variaciones originadas por el régimen de recarga y la explotación concentrada en algunos puntos, cuyo conocimiento enriquece la información disponible sobre el comportamiento del acuífero.

INTRODUCCIÓN

El Terciario detrítico que se extiende por la zona noroeste de la fosa de Madrid, constituye un extenso acuífero de unos 6.000 km² de superficie y más de 1.800 m. de espesor. Sobre él se instalan importantes áreas metropolitanas como Madrid, Toledo y Guadalajara. Pero aparte del interés práctico que supone el estudio de las posibilidades de explotación de este acuífero, que se puede considerar como prototipo de otros que ocupan decenas de miles de km² en las cuencas del Duero y Ebro principalmente, presenta también un interés científico. La investigación geológica de grandes cuencas continentales, rellenas de materiales poco consolidados —de la que nuestra fosa del Tajo es un magnífico ejemplo— ha despertado el interés de numerosos investigadores, sobre todo en la última década (López Vera, 1977, a). Esto fue puesto de manifiesto en el Congreso de Budapest de 1976, que tuvo como tema monográfico la Hidrogeología de las grandes cuencas sedimentarias. Durante los cinco últimos años hemos colaborado con varias publicaciones al conocimiento del origen, dinámica, características físicas del medio geológico, quimismo y calidad de las aguas subterráneas y su contaminación. En esta nota nos proponemos presentar algunos datos y comentar diversos aspectos del comportamiento piezométrico del acuífero, tema estrechamente relacionado con la dinámica y explotación de las aguas subterráneas.

VARIACIONES DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO DE ACUERDO CON LA DINÁMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Desde el último tercio del siglo pasado se ha recurrido a diversas teorías para explicar el artesianismo de los pozos en los valles del Jarama y Manzanares, así como sus variaciones piezométricas (López Vera, 1977, a). Una explicación más moderna, a la luz de la teoría sobre el movimiento del agua subterránea de Hubbert (1950) fue expuesta por Llamas Madurga, y López Vera (1974), completando el modelo conceptual de la dinámica de las aguas subterráneas de acuerdo con las teorías de Tóth (1963), Freeze, y Whiterspoon, A. (1967) y Freeze (1971) en López Vera (1975) y argumentándose este modelo con diversos datos geomorfológicos, hidrogeológicos, piezométricos, isotópicos y geoquímicos. Dicho modelo considera la existencia de un flujo local e intermedio. Llamas Madurga (1976) y Llamas Madurga, y Cruces de Abia (1976), realizan un modelo digital multicapa con el que logran reproducir un comportamiento piezométrico semejante al observado en la realidad para las tres capas consideradas en su modelo. Dicho modelo fue verificado para la subcuenca del río Manzanares por Martínez Alfaro (1977), para el Guadarrama por Rebollo (1977), para el Henares por Villarroya (1977) y Guatén por Octavio de Toledo (1976).

Posteriormente, mediante criterios hidrogeoquímicos, se logró determinar de forma semicuantitativa la existencia de un flujo regional (López Vera, 1977, c).

Sahuquillo et al. (1975) estudiaron el componente vertical del flujo mediante un modelo y recientemente López-Camacho y Camacho (1977) ha estudiado también mediante un modelo digital los aspectos cuantitativos de flujo y la ley de recarga-descarga, simulando una sección vertical partiendo de la hipótesis de la continuidad hidráulica que considera el acuífero único, continuo, anisótropo y heterogéneo. En el referido trabajo se simula la distribución del potencial hidráulico en una sección vertical.

En la fig. 1 se muestra un perfil geológico de todo el acuífero del Terciario detrítico al norte de Madrid, desde Torija a Talavera de la Reina. Sobre él se ha representado la distribución de los flujos locales en forma esquemática y sólo algunos casos a título de ejemplo, por la dificultad que presenta su dibujo a esta escala, las zonas de flujo intermedio y el flujo regional.

La piezometría variará de acuerdo con este modelo, disminuyendo el potencial piezométrico del interfluvio de los ríos Henares y Jarama al potencial mínimo en la confluencia de los ríos Tajo y Alberche, de acuerdo con la geometría y morfología de la Fosa de Madrid.

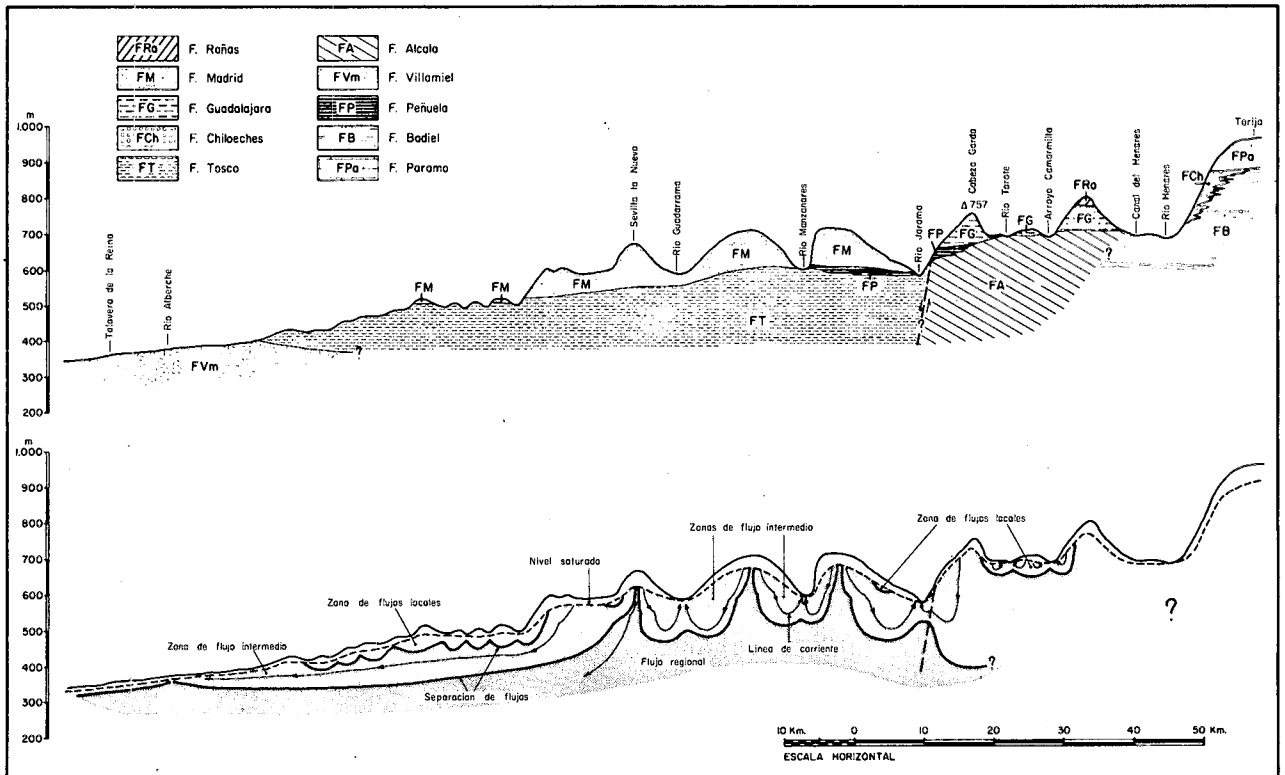


Fig. 1.- PERFILES GEOLOGICOS Y SISTEMAS DE FLUJO DEL TERCIARIO DETRITICO DE MADRID

La existencia de flujos intermedios implica que el nivel piezométrico disminuye con la profundidad de los pozos en la zona de interfluvio, habiéndose encontrado en el interfluvio Henares-Jarama un gradiente de descenso de 0,40 (Villarroya, 1977, pág. VI-28) y en el interfluvio Jarama-Manzanares de 0,17 (Martínez Alfaro, 1977, pág. VI-26). Para los fondos de los valles del río Henares, el gradiente de ascenso del nivel piezométrico con la profundidad del pozo es de 0,10, según Villarroya (1977), y en el Manzanares de 0,06, según Martínez Alfaro (1977). La diferencia de gradientes puede ser justificada por las características topográficas y litológicas en ambos valles.

Aunque no se dispone de datos precisos de la variación de los gradientes de ascenso o descenso de los niveles piezométricos para pozos que cortasen el flujo regional, en teoría los gradientes tanto ascendentes como descendentes disminuirían desde el flujo local al regional. En este sentido tenemos justificadas sospechas por la profundidad de los pozos en los que se ha estimado estos gradientes en la cuenca del río Henares, que representan un valor medio de la variación del gradiente del flujo local y medio, mientras que en el río Manzanares representaría un valor medio del gradiente correspondiente al flujo local, medio y regional.

Por tanto, aunque es conocida en su forma general la distribución de los valores de la piezometría a escala regional, se desconoce la posición exacta de las líneas de separación de flujos (fig. 1) y por tanto la variación exacta del nivel piezométrico para pozos de distintas profundidades que cortasen una o varias de estas zonas.

HETEROGENEIDADES DEL MEDIO GEOLÓGICO A ESCALA MACROSCÓPICA Y MEGASCÓPICA

En las variaciones de la piezometría por el esquema de flujo propuesto, pueden existir notables desviaciones de estos valores por efecto de las heterogeneidades del medio.

A la escala de la decena de metros, la principal heterogeneidad que se nos presenta son los canales rellenos de gravas y arenas englobados en un paquete limo-arenoso menos permeable, como corresponde a los sedimentos de un abanico aluvial (López Vera, 1975). En la fig. 2 se muestra la distorsión de la red de flujo por la presencia de este canal más permeable que se manifiesta con una disminución del gradiente de potencial, pudiendo este fenómeno originar variaciones locales «anómalas» de la piezometría. En los rellenos de canal, K varía entre 0,8 y 9/mdía, mientras que todo el conjunto tiene una permeabilidad media de 0,37 m/día.

A escala mayor, del orden de la centena de metros, se nos presenta otro tipo de heterogeneidad. Es la que constituye la superposición de diversas unidades litológicas o capas de diferente permeabilidad media, tal como se muestra en el perfil geológico de la fig. 1. La existencia de estas diferentes unidades fue puesta de manifiesto por López Vera, 1975; Martínez Alfaro, 1977; Rebollo, 1977; Villarroya, 1977 y Sastre, 1976. En la fig. 3 se muestra el efecto sobre la red de flujo de la existencia de tres capas de diferente permeabilidad, tal como las encontradas en el terciario detrítico de Madrid y cuyo efecto, de forma cualitativa, se ha recogido en la fig. 1, donde las líneas de corriente, al pasar de un medio de

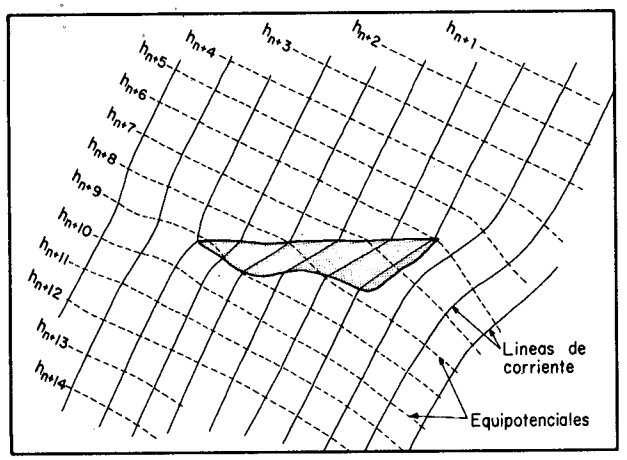


Fig. 2.-EFECTO DE UN CANAL MAS PERMEABLE SOBRE LA RED DE FLUJO

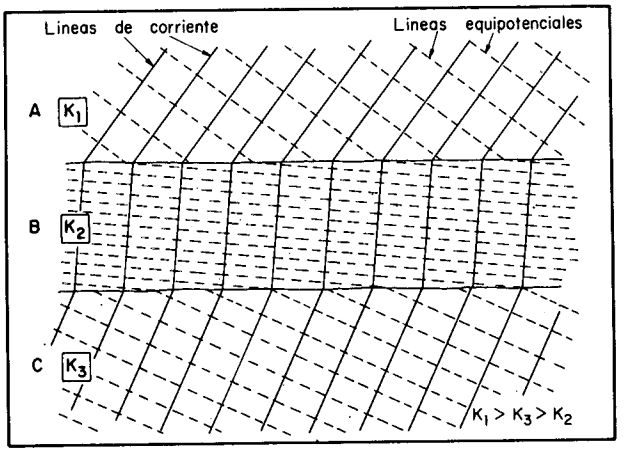


Fig. 3.- EFECTO DE CAPAS DE DISTINTA PERMEABILIDAD SOBRE LA RED DE FLUJO

permeabilidad k_1 a otro de permeabilidad k_2, sufren una desviación en su trayectoria similar a la refracción óptica que rige la ley:

$$\frac{K_1}{\text{tg}\,\theta_1} = \frac{K_2}{\text{tg}\,\theta_2}$$

siendo θ el ángulo que forman con la normal la línea de corriente incidente y refractada. Los elementos de la red de flujo se deforman igualmente al pasar de un medio a otro, transformándose los cuadrados iniciales en rectángulos más o menos alargados, de acuerdo con la permeabilidad del medio, superponiéndose a los efectos anteriores las variaciones de gradiente producidas por este tipo de heterogeneidad.

ANISOTROPIA HIDRÁULICA

Las heterogeneidades antes señaladas originan una anisotropía del flujo, siendo en principio, como en todo medio sedimentario estratificado, la permeabilidad horizontal mayor que la vertical.

Se ha podido comprobar (López Vera, 1975, pp. 109-112) estudiando el modelo de sedimentación de estos materiales y la distribución de caudales específicos, que en este acuífero existe una franja central de unos 10 kms de anchura, paralela al borde de la sierra, en la que los caudales específicos son mayores, mientras que éstos decrecen hacia las zonas de borde, tanto hacia la Sierra de Guadarrama como hacia las facies químicas o centrales, y dentro de esta franja central la permeabilidad crece de NE a SW.

Las variaciones de permeabilidad con la profundidad se estima que tiene efectos apreciables en las arcillas y limos por debajo de los 200 m. de enterramiento, mientras que las arenas, aunque se compacten rápidamente, conservan una porosidad y permeabilidad apreciable a más de 1.000 m. de profundidad (López Vera, 1975, pág. 109).

Se realizó un intento por conocer el factor de anisotropía a escala del centenar de metros, mediante la interpretación de diversos ensayos de bombeo, aplicando las fórmulas de McClelland para acuífero libre y anisótropo, obteniéndose en todos los casos permeabilidades verticales (K_v) mucho mayores que las horizontales (K_h), resultados claramente anómalos debido a que en los pozos se establece un flujo vertical a través del relleno anular de gravas, siendo los conos de depresión de reducido diámetro y muy profundos. En estudios teóricos de la anisotropía de este acuífero se asigna un factor de K_v/K_h de 1/10 a 1/100.

El efecto de la anisotropía sobre los niveles piezométricos se manifestará en un amortiguamiento de las variaciones en la vertical e indirectamente por la deformación que originan en la red de flujos.

OTRAS VARIACIONES EN EL NIVEL PIEZOMÉTRICO

Hemos expuesto anteriormente las variaciones de los niveles piezométricos de acuerdo con el sistema de flujo en un medio homogéneo, isótropo e hidráulicamente continuo. Posteriormente se expusieron los principales factores de heterogeneidad a escala de decenas y centenas de metros, así como el efecto de la anisotropía, factores todos ellos que controlan la dinámica de las aguas subterráneas y por consiguiente su piezometría.

Medidas periódicas en pozos y piezómetros ponen de manifiesto variaciones debidas a otras causas. En la fig. 4 se muestran los datos de once piezómetros recogidos entre 1974 y 1977.

Los datos del piezómetro uno (fig. 4) presentan fluctuaciones pequeñas, no pudiendo ser correlacionadas con las precipitaciones (López Vera, 1975, pp. 151-152), presentando la recta de ajuste una pendiente de 0,15. Se trata de un pozo de abastecimiento industrial y las fluctuaciones deben corresponder al régimen de explotación del pozo.

El número dos, es una perforación de pequeño diámetro (110 mm) y 80 m. de profundidad, que cuando fue construido (año 1960) era surgente, arrojando un caudal artesiano de 1,5 l/seg. Está situado sobre la segunda terraza del río Jarama y en un radio de cuatro kilómetros se instalan importantes urbanizaciones como Fuente el Saz, Ciudalcampo, Ciudad Santo Domingo y varias industrias farmacéuticas y de cervezas, todos estos centros abastecidos con aguas subterráneas. Presenta una oscilación media anual de 4 metros que se interpreta como la superposición de las fluctuaciones estacionales de la lluvia con el régimen de bombeo en la zona. La pendiente de su recta de regresión es 0,37.

El número tres es un pozo de explotación agrícola. Presenta las fluctuaciones paralelas al anterior (fig. 4) pero mucho más marcadas por coincidir el estiaje con el período de riego. Su recta de regresión tiene una pendiente de 0,6.

Los niveles de los pozos utilizados como piezómetros son estáticos, habiéndose medido éstos al menos doce horas después de haber sido bombeados.

El pozo número cuatro (fig. 4) no fue explotado en el período de tiempo en que se midió (Villarroya, 1977, pág. VI-32) presentando un descenso en un año de 1,25 m. Sus oscilaciones no tienen relación con la pluviometría pero sí con los bombeos realizados en pozos próximos.

El pozo número cinco, sobre materiales cuaternarios, presenta unas oscilaciones influidas por el próximo canal del Henares.

En la zona próxima a Alcalá de Henares se conoce un campo de ocho pozos de abastecimiento a una planta industrial que cuando fueron perforados, hace doce años, eran surgentes con presiones manométricas de 1 a 1,5 atmósferas. En la actualidad, el nivel estático medio se encuentra a unos 35 m. de profundidad habiéndose observado en el período 1972-1976 un descenso medio de 5 m/año. Sin embargo un campo de pozos próximo (Meco) es surgente.

En el piezómetro número seis (Villarroya, 1977, pág. VI-34), en un período de observación de diez meses, el nivel bajó más de 1 m., estando situado a corta distancia de otros pozos de producción.

Los piezómetros números siete (de 51 m.) y ocho (de 143 m.) realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas, próximos a la presa de El Pardo (según Martínez Alfaro, 1977, pág. VI-21), en el menos profundo oscila entre 0,20 m. sobre el terreno a 3 m. de altura, mientras que el más profundo, también artesiano, osciló entre 2,3 y 9 m. de altura, no existiendo una repercusión inmediata de la lluvia en la variación de los niveles, estando éstos controlados por el sistema de flujo y las explotaciones próximas.

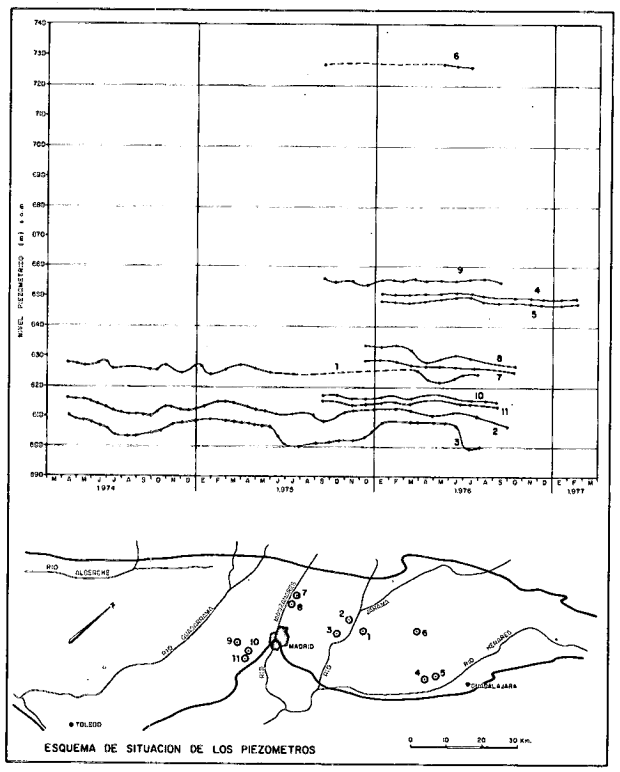


Fig. 4.- VARIACIONES DE LOS NIVELES PIEZOMETRICOS

El grupo de piezómetros números nueve, diez y once, también construidos por el S.G.O.P., presentan un gran paralelismo en su evolución, oscilando en el período de medida de 2,9 a 4 m. de descenso (Martínez Alfaro, 1977, pág. VI-21), presentando cierta influencia de las precipitaciones.

En conclusión, los datos de variación de niveles tienen un carácter local, predominando los efectos de la explotación sobre la influencia de las precipitaciones y la evapotranspiración, que sólo en unos pocos casos se ha podido observar su influencia.

CONCLUSIONES

De lo hasta aquí expuesto podemos concluir:

— La piezometría en el terciario detrítico de Madrid varía a escala regional, de acuerdo con el modelo de flujos locales, intermedios y regionales.

— La existencia de canales rellenos de materiales más permeables y de unidades litoestratigráficas, también de diferente permeabilidad, producen variaciones locales en la piezometría.

— La anisotropía es también otro factor de modificación que ejerce un fuerte control en el sistema de flujo en general.

— Debido a la reducida permeabilidad general de estos materiales, se producen profundos conos locales por sobrebombeo, que originan oscilaciones de niveles de unos pocos metros.

— La influencia de las precipitaciones y la evapotranspiración sobre los niveles es muy poco relevante o inexistente en algunas zonas.

Bibliografía

FREEZE, R. A. y WHITERSPOON, P. A. (1967): Theoretical analysis of groundwater flow, II. Effet of water table configuration and subsurface permeability variations. *Water Resources Research,* Vol. 3, pp. 623-634.

FREEZE, R. A. (1971). Three-Dimensional, Transient, Saturated-Unsaturated Fow in a groundwater Basin. *Water Resources Research,* Vol. 7, n.º 2, pp. 347-366.

HUBERT, M. K. (1940): The theory of groundwater motion. *Journal of Geology,* Vol. 48, pp. 784-944.

LÓPEZ-CAMACHO Y CAMACHO, B. (1977): Estudio del flujo del agua subterránea en medios heterogéneos y anisótropos mediante un modelo digital bidimensional. Aplicación a la Región de Madrid. *Col. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Edición multicopiada.*

LÓPEZ VERA, F. (1975): Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. *Memorias del I.G.M.E.* n.º 91. 227 pág. más 10 mapas. Madrid. 1977.

LÓPEZ VERA, F. (1977) (a): Estudios geológicos e hidrogeológicos sobre la Fosa media del Tajo. *Boletín Geológico y Minero.* T. 88 - 401-416.

LÓPEZ VERA, F. (1977) (b): Modelo de sedimentación continental del terciario detrítico de Madrid. *Revista Las Ciencias,* n.º 4, pp. 257-266.

LÓPEZ VERA, F. (1977) (c): Geoquímica de las aguas del Terciario detrítico de la Fosa de Madrid, en relación con el flujo subterráneo. *Estudios Geológicos,* Vol. 33, n.º 6. pp. 525-534.

LLAMAS MADURGA, M. R. y LÓPEZ VERA, F. (1974): Estudio sobre los recursos hidráulicos subterráneos del área metropolitana de Madrid y su zona de influencia: Avance de las características hidrogeológicas del terciario detrítico de la cuenca del Jarama. *Rev. Agua,* n.º88, pp. 36-55. Barcelona, 1975.

LLAMAS MADURGA, M. R. y CRUCES DE ABIA, J. (1976): Conceptual and digital models of the ground water flow in the tertiary basin of the Tagus river (Spain). Hydrogeology of great sedimentary basins. Conference of

. Budapest, May/June, 1976. *Ed. Annales Inst. Geol. Publici Hungarici,* Vol. LIX-Fasc. 1 4 pp. 186-202.

LLAMAS MADURGA, M. R. (1976): La utilización de aguas subterráneas en Madrid. De los «mayrat» musulmanes a los modelos digitales. *Estudios Geológicos* n.º 32, pp. 121-139. Madrid.

MARTÍNEZ ALFARO, P. E. (1977): Hidrogeología de los materiales terciarios y cuaternarios de la cuenca del río Manzanares. *Tesis doctoral. Fac. Ciencias Geológicas. Madrid. Ed. multicopiado.*

OCTAVIO DE TOLEDO, F. (1976): Hidrogeología de la zona de Parla. *Memorias Simposio Nac. de Hidrogeología.* Valencia. pp. 254-273.

REBOLLO FERREIRO, L. (1977): Estudio hidrogeológico regional de la Cuenca Media y Baja del río Guadarrama. *Tesis doctoral. Fac. Ciencias Geológicas. Madrid. Ed. multicopiado.*

SAHUQUILLO, A., MARTI, B., LÓPEZ-CAMACHO, B., BALLENILLA, A. y LÓPEZ, L. (1975): Modelo bidimensional para el estudio de la componente vertical del flujo en un acuífero de gran espesor. *II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica.* Buenos Aires. Rep. Argentina. Dic. 1975.

SASTRE MERLIN, A. (1976): Características hidrogeológicas de los materiales detríticos de edad terciaria y cuaternaria de los alrededores de Talavera de la Reina (Toledo). *memorias del Simposio Nac. de Hidrogeología.* Valencia. pp. 376-397.

TOTH, J. (1963): A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Journal Geophys. Res.* Vol. 68, n.º 16, pp. 4795-4812.

VILLARROYA GIL, F. I. (1977): Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y cuaternario de la cuenca del río Henares. *Tesis doctoral. Fac. de Ciencias Geológicas.* Madrid. Ed. multicopiado.

Recibido, junio 1978.