

## TRANSMISIVIDADES Y CAUDALES ESPECIFICOS EN EL ACUIFERO TERCIARIO DE LA CUENCA DEL DUERO (AREA DE ZAMORA-SALAMANCA)

F. JAVIER SANCHEZ SAN ROMAN \*

**RESUMEN.**— Este trabajo estudia la transmisividad de un sector del acuífero terciario de la cuenca del Duero y su relación con la geología. Se describe la medida de este parámetro mediante bombeos de ensayo y su evaluación a partir de los caudales específicos. Se definen estadísticamente los datos de caudales específicos, y se estudia su distribución espacial y su relación con el medio geológico.

**ABSTRACT.**— This paper deals with the study of the transmissibility and its relationship with the geology in the S.W. part of the Duero basin. The measurement by test pumping and the evaluation from specific yield data of this parameter are described. These data are statistically defined, and their superficial distribution and relationship with geological environment are analysed.

### INTRODUCCION. EL MARCO GEOLOGICO

Los materiales terciarios de la Cuenca del Duero constituyen un sistema acuífero muy complejo y de gran importancia para la economía de la región. En este trabajo se estudia el sector S.O. de dicha cuenca, limitado al N. por el río Duero, al E. por la divisoria entre los ríos Guareña y Trabancos, y al S. y al O. por el zócalo hercínico.

La geología de la zona ha sido ampliamente estudiada por diversos autores: JIMENEZ (1970, 1972, 1973, 1975), ARRIBAS y JIMENEZ (1970, 1972); CORROCHANO (1977, 80, 82), que trata el Paleógeno de Zamora; CORRALES et al. (1978), CORRALES (1982) y CORROCHANO et al. (1983) definen distintas facies en el Mioceno; ALONSO (1981) estudia el Paleógeno en el sector más meridional.

Es imposible relacionar con exactitud las unidades o facies definidas por los diversos autores citados. La mayor parte del área de estudio está constituida por materiales paleógenos, mientras que el Mioceno aparece al S.E., separado de los

\* Dpto. Geomorfología y Geotectónica. Universidad de Salamanca.

anteriores por la falla de de Alba-Villoria (JIMENEZ, 1973), o en niveles superficiales de escasa potencia (Figura 1).

El Paleógeno puede dividirse en tres grandes unidades:

— Unidad Inferior, que aflora aisladamente, y adosada al zócalo; está constituida por diversas secuencias detríticas, con predominancia de arenas y areniscas, silicificadas en sus niveles superiores.

— Unidad Media, que al N. presenta facies de limolitas, margas y arcosas (I.G.M.E., 1980a), y al S. areniscas con niveles de limos («Areniscas de Cabrerizos», ALONSO, op. cit.).

— Unidad Superior, constituida por areniscas y limos al N. (Facies Corrales) y por secuencias granodecrecientes, de arenas a arcillas, al Sur (F. Areniscas de Aldearrubia).

Todos estos materiales han sido depositados en diversos medios de sedimentación continental: canales trenzados o anastomosados asociados a abanicos aluviales, llanuras de inundación, etc.

Al Este de la falla Alba-Villoria el Mioceno alcanza una potencia de 300 a 650 metros y está constituido por arenas con proporción variable de fangos, en general inferior al 30%. CORROCHANO et al. (op. cit.) estudian la procedencia de los depósitos y los sistemas de fracturación que han condicionado la sedimentación.

## HIDROGEOLOGIA: CARACTERISTICAS GENERALES

El primer estudio hidrogeológico de toda la Cuenca del Duero fue realizado por el Instituto Nacional de Colonización, después IRYDA (AERO-SERVICE, 1966). Posteriormente ha sido objeto de una investigación casi continuada por parte del Instituto Geológico y Minero (PORRAS, 1973; I.G.M.E., 1980 b, 1982, 1983).

Este acuífero presenta una enorme complejidad o una cierta sencillez, dependiendo de la escala de estudio. En general, cada nivel arenoso constituye un acuífero semiconfinado distinto, a veces interconectado con otros, mientras que los finos (arenas fangosas, fangos, etc.), se comportan como acuitardos, que son drenados por los anteriores. La delimitación de cada nivel acuífero es prácticamente imposible, dada la infinita complejidad del medio sedimentario en que se depositaron estos materiales y la escasa precisión de los datos ofrecidos por los sondeos. Por tanto, se hace necesario utilizar criterios geoestadísticos, distinguiendo áreas o niveles con ciertas características en común: porcentaje de arenas, fan-

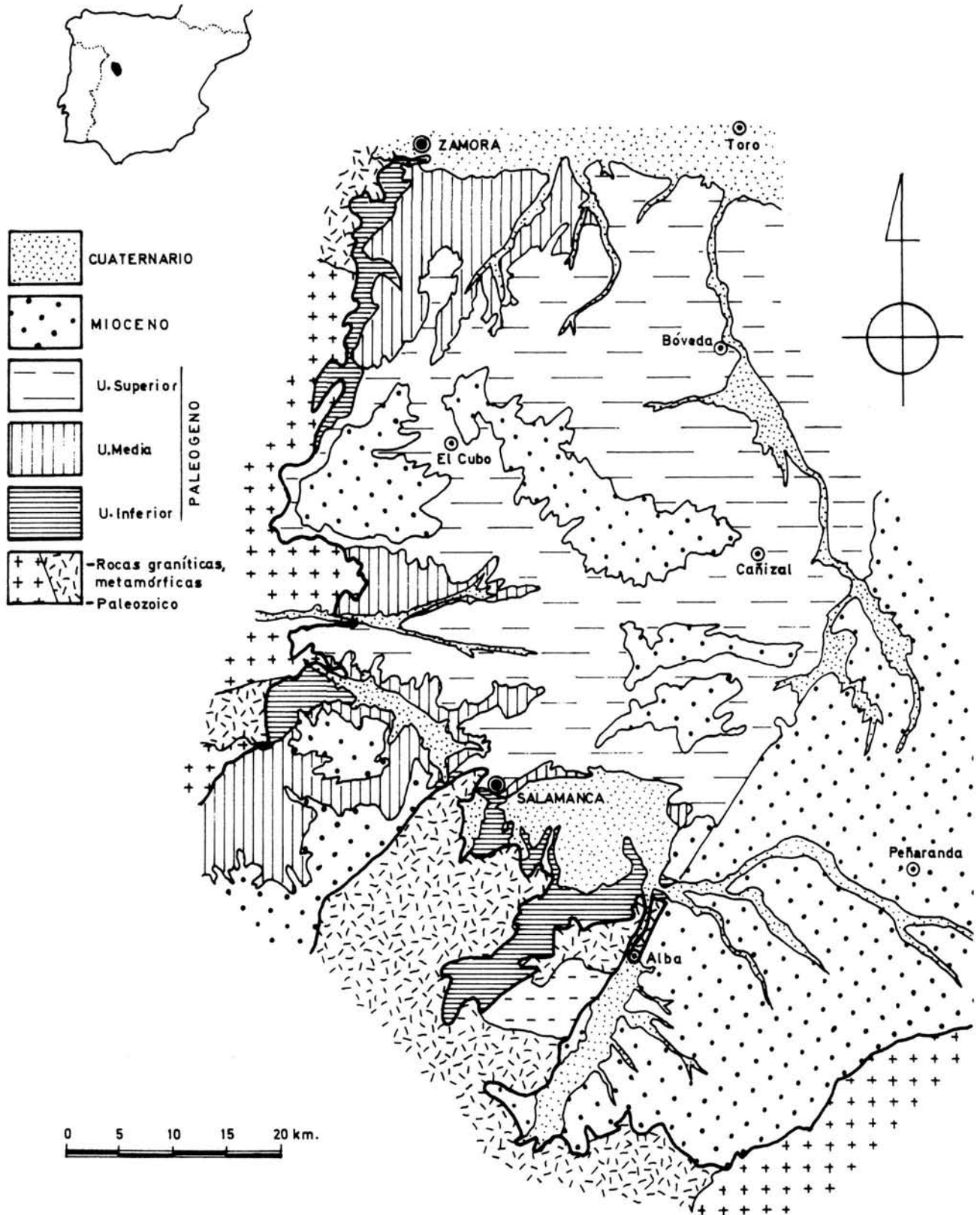


Figura 1. Situación y esquema geológico (Geología simplificada de varias fuentes, principalmente de ALONSO (1981) y CORROCHANO (1977)).

gos, etc. Para la consideración global del balance hídrico o el estudio de los sistemas de flujo puede llegar a considerarse como un todo homogéneo, que se comporta como un acuífero libre.

Las entradas del sistema acuífero están constituidas por la infiltración procedente de las precipitaciones, mientras que los bombeos netos y los drenajes de los ríos Duero y Tormes representan las salidas; como orden de magnitud, para todo el Sur del Duero, estas entradas y salidas son de unos 450 Hm<sup>3</sup>/año (I.G.M.E., 1980 b).

El sistema de flujo sigue el esquema ya clásico de HUBBERT (1940, en FREEZE y CHERRY, 1979, p. 193), con flujos descendentes en las áreas de recarga y ascendentes en las de descarga, existiendo una cierta complejidad de flujos regionales, intermedios y locales (TOTH, 1963, en FREEZE y CHERRY, op. cit., p. 196), todavía no bien delimitados, aunque definidos en líneas generales por la piezometría y la hidroquímica (SANCHEZ, 1982, 83; I.G.M.E., 1980 b).

En este marco hidrogeológico, vamos a prestar una atención especial a la Transmisividad, los valores que presenta, su distribución y su relación con la geología.

## MEDIDAS DE LA TRANSMISIVIDAD

Para medir la Transmisividad del acuífero hemos realizado 14 bombeos de ensayo en otros tantos sondeos, de profundidades comprendidas entre 63 y 241 metros, 10 de ellos entre 100 y 135 metros. La duración de los ensayos fue de varias horas, sin poder observar el comportamiento del acuífero ante bombeos de larga duración.

Sería lógico esperar que los bombeos de ensayo se ajustaran al modelo de acuífero semiconfinado con almacenamiento en el acuitardo (HANTUSH, 1960, en LOHMAN, 1977, p. 92), como indica LOPEZ VERA (1977a) en la Cuenca del Jarama. Pero las medidas de campo se ajustan generalmente al modelo semiconfinado sencillo, sin considerar dicho almacenamiento (HANTUSH y JACOB, 1955, en LOHMAN, op. cit., p. 88), pudiendo interpretarse por superposición gráfica o mediante una representación semilogarítmica (HANTUSH, 1956, en CUSTODIO, 1976, p. 960), obteniéndose resultados similares.

Los valores extraídos de estas interpretaciones oscilan entre 5 y 130 m<sup>2</sup>/día, con una media de 35 m<sup>2</sup>/día.

## CAUDALES ESPECIFICOS: RELACION CON LA TRANSMISIVIDAD

Ante la dificultad de obtener datos de Transmisividad, es conveniente establecer la relación de dicho parámetro con los caudales específicos, datos mucho más numerosos; de este modo, las conclusiones extraídas del estudio de éstos pueden hacerse extensivas a las Transmisividades.

Existen numerosas ecuaciones que ligan ambas variables (PORCHET, en CASTANY 1971, p. 293; LOGAN, 1964; BRADBURY y ROTHSCHILD, 1985), aunque parece más apropiado establecer tal relación para cada región concreta. En la Figura n.º 2 aparece reflejada gráficamente dicha relación para los 14 puntos citados y otros 8 de la vecina cuenca del río Zapardiel (RODRIGUEZ, 1979).

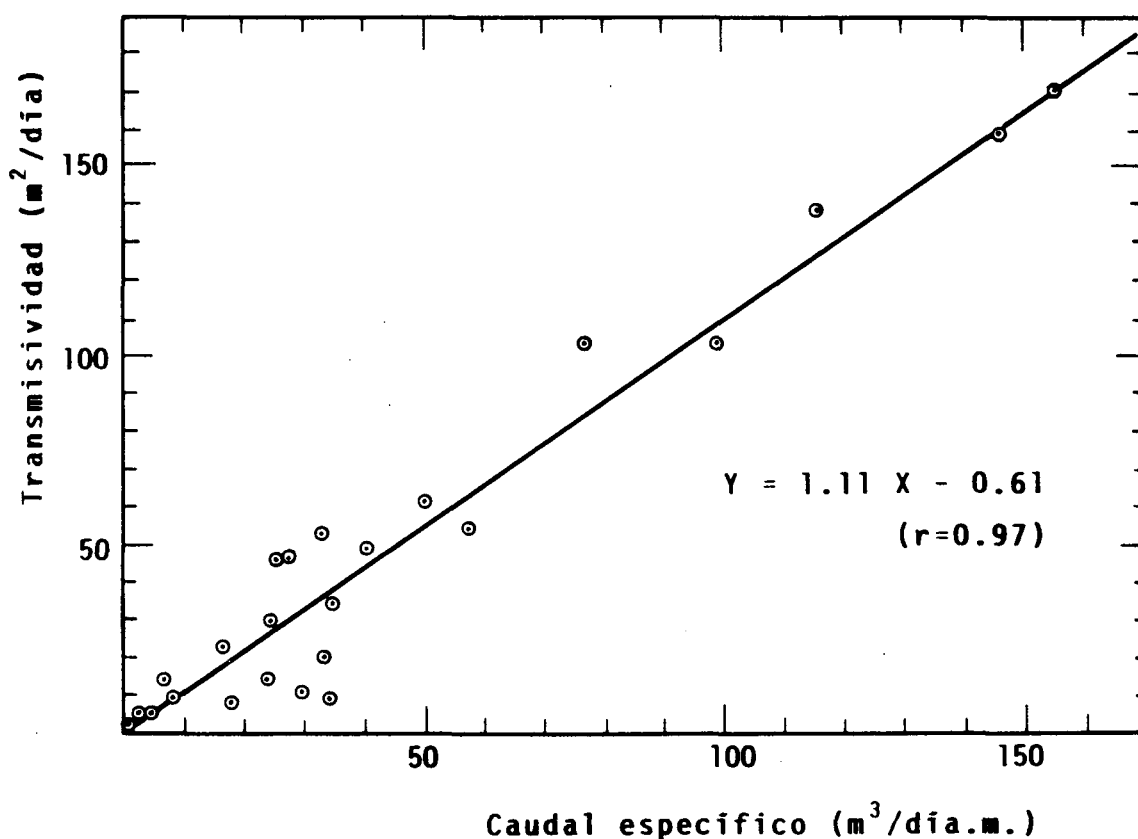


Figura 2. Relación entre la transmisividad y el caudal específico.

La relación que liga ambas variables es la siguiente:

$$T = 1,11 Q_e - 0,61 \quad (r = 0,97)$$

donde:  $T$  = Transmisividad, en  $m^2/día$

$Q_e$  = Caudal específico, en  $m^3/día \cdot metro$

El elevado coeficiente de correlación indica que efectivamente los caudales específicos son un fiel exponente de las transmisividades del acuífero, y como tal los estudiaremos en los apartados siguientes.

## ESTUDIO ESTADISTICO DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS

Se han seleccionado 119 datos de caudales específicos: 85 de sondeos que explotan el Paleógeno y 34 del Mioceno. Las medias aritméticas de ambas muestras (2,37 y 1,25  $m^3/hora.m.$ , respectivamente) no son representativas, por tratarse de distribuciones claramente asimétricas, con predominio de los valores bajos. En la Figura 3-A puede apreciarse que los logaritmos de los datos sí parecen ajustarse a una distribución simétrica. Efectivamente, se calcula que los ajustes a la Ley de Gauss responden a las ecuaciones siguientes:

$$\text{Mioceno: } u = (-0,107 - \log Q_e) / 0,442$$

$$\text{Paleógeno: } u = (0,038 - \log Q_e) / 0,615$$

donde:  $Q_e$  = caudal específico

$u$  = variable reducida de Gauss

Se comprueba la bondad del ajuste al nivel de confianza del 0,05 mediante el test «chi-cuadrado». Con estas ecuaciones y una Tabla de la integral de Gauss (por ejemplo, en DOWNIE, 1971, p. 320; DUBREUIL, 1974, p. 167) puede evaluarse la probabilidad de obtener un  $Q_e$  mayor o menor que un determinado valor, o, inversamente, qué caudal corresponde a una determinada probabilidad, como se expresa gráficamente en la Figura 3-B con algunos ejemplos. Análogamente, se obtiene que el  $Q_e$  mediano (de frecuencia 0,50) es 1,12 para el Paleógeno y 0,94 para el Mioceno.

Como puede apreciarse en los dos gráficos de la Figura 3, los datos están más dispersos a ambos lados de la mediana en el Paleógeno que en el Mioceno. Estas diferencias son lógicamente reflejo del medio, presentando el Paleógeno una mayor diversidad de materiales, desde arenas gruesas sin fracción fina hasta fan-gos sin ninguna intercalación arenosa en centenares de metros de profundidad.

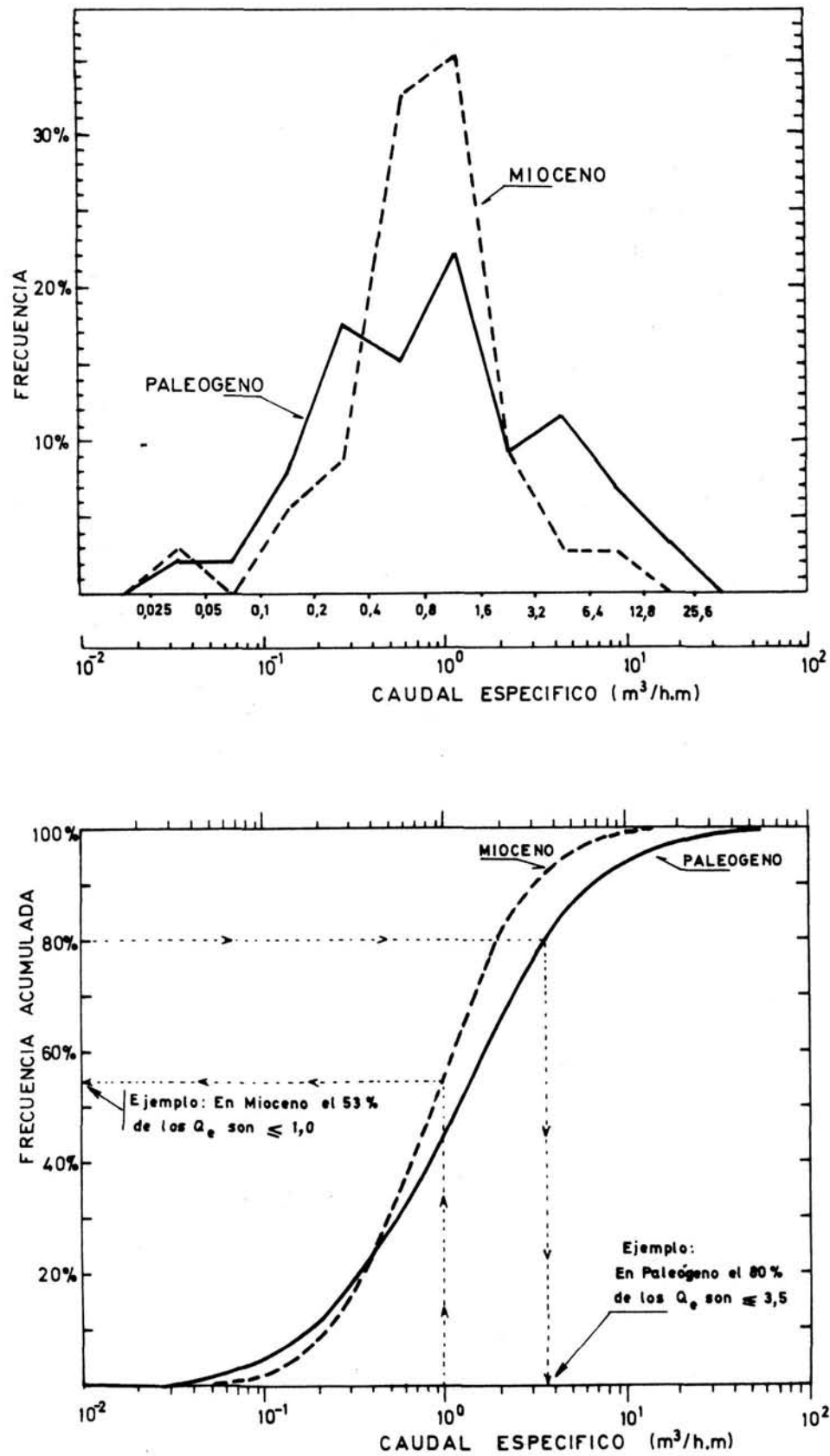


Figura 3. Estadística de los caudales específicos: a) Polígonos de frecuencias. b) Frecuencias acumuladas, después del ajuste a la Ley de Gauss.

## DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS Y SU RELACION CON EL MEDIO GEOLOGICO

En la Figura 4 se presenta la distribución espacial de los caudales específicos, utilizando los datos descritos en el apartado anterior y otros que, sin conocer su valor exacto se pueden incluir en un determinado intervalo. Se trata de una simplificación bidimensional de una distribución mucho más compleja, tridimensional, pues se comparan sondeos de diferentes profundidades, que están explotando distintos niveles. A pesar de esto, se aprecia que los datos se agrupan aceptablemente en áreas de mayor o menor transmisividad.

La mayor parte de la zona queda incluida en el intervalo de 1 a 2 m<sup>3</sup>/h.m. (26 a 53 m<sup>2</sup>/día) destacándose unas áreas preferentes con valores elevados, y otras de mínima transmisividad, con Q<sub>e</sub> menores de 0,5 m<sup>3</sup>/h.m. ( $T \leq 13$  m<sup>2</sup>/día). Los caudales más elevados se han obtenido de sondeos con predominancia de arenas sin fracción fina, frecuentemente no consolidadas, mientras que las perforaciones con transmisividades mínimas corresponden a litologías fangosas.

La proporción de detríticos gruesos depende de varios factores: el medio de sedimentación, la proximidad al área fuente y la naturaleza de ésta. En general, los sondeos con caudales máximos han atravesado facies canalizadas, más frecuentes en las zonas proximales de los abanicos, y procedentes de áreas graníticas. Por el contrario, las perforaciones de baja transmisividad de litología fangosa pueden corresponder a áreas fuente pizarrosas o a las partes más distales de los sistemas de abanicos.

Las áreas más proximales no generan necesariamente los materiales de mayor permeabilidad debido a su elevada heterometría (LOPEZ VERA, 1977 b). Por otra parte, cualquier facies arenosa será impermeable si está fuertemente cementada, como sucede en los niveles superiores de la Unidad Inferior del Paleógeno.

Con los datos existentes, es imposible relacionar las transmisividades con las unidades cronoestratigráficas definidas. En general, la Unidad Inferior del Paleógeno proporciona caudales elevados por debajo de los niveles silicificados citados, mientras que el resto de las formaciones presentan transmisividades muy variables de unos puntos a otros.

Como ejemplo de la relación existente entre los caudales específicos y las columnas extraídas de los sondeos, en la Figura 5 se presenta un fragmento del mapa de la figura anterior, a lo largo de la diagonal de las Hojas 452-453, en el que quedan incluidos diversos valores de Q<sub>e</sub> entre los máximos y los mínimos de la zona. Las muestras procedentes de los sondeos confirman la relación citada, aunque de un modo aproximado; no existe, ni tiene que existir, una relación matemática estrecha entre los metros o la proporción de detríticos gruesos atravesados



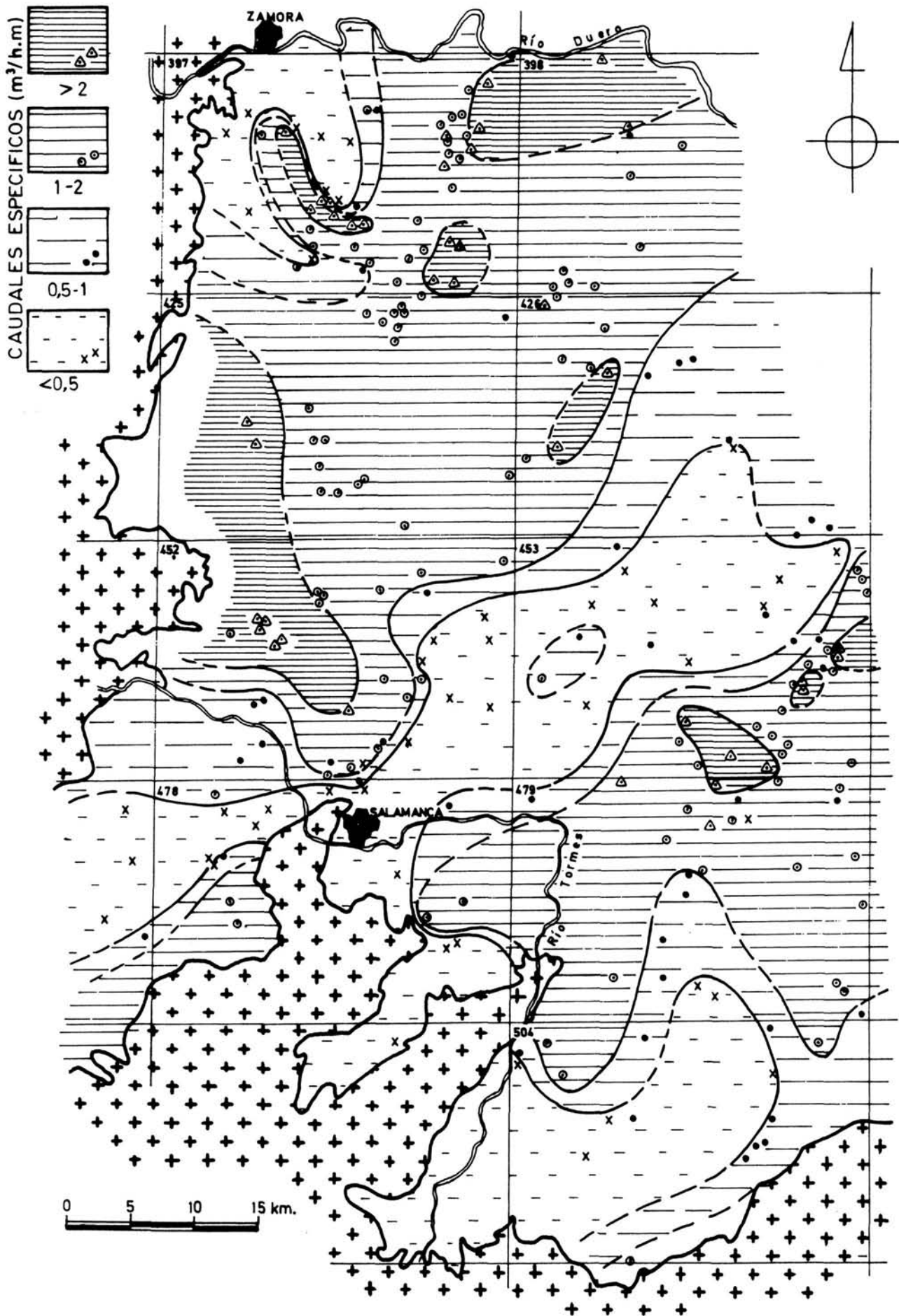


Figura 4. Distribución de los caudales específicos. (Los diversos puntos representan los sondeos utilizados para la confección del mapa).

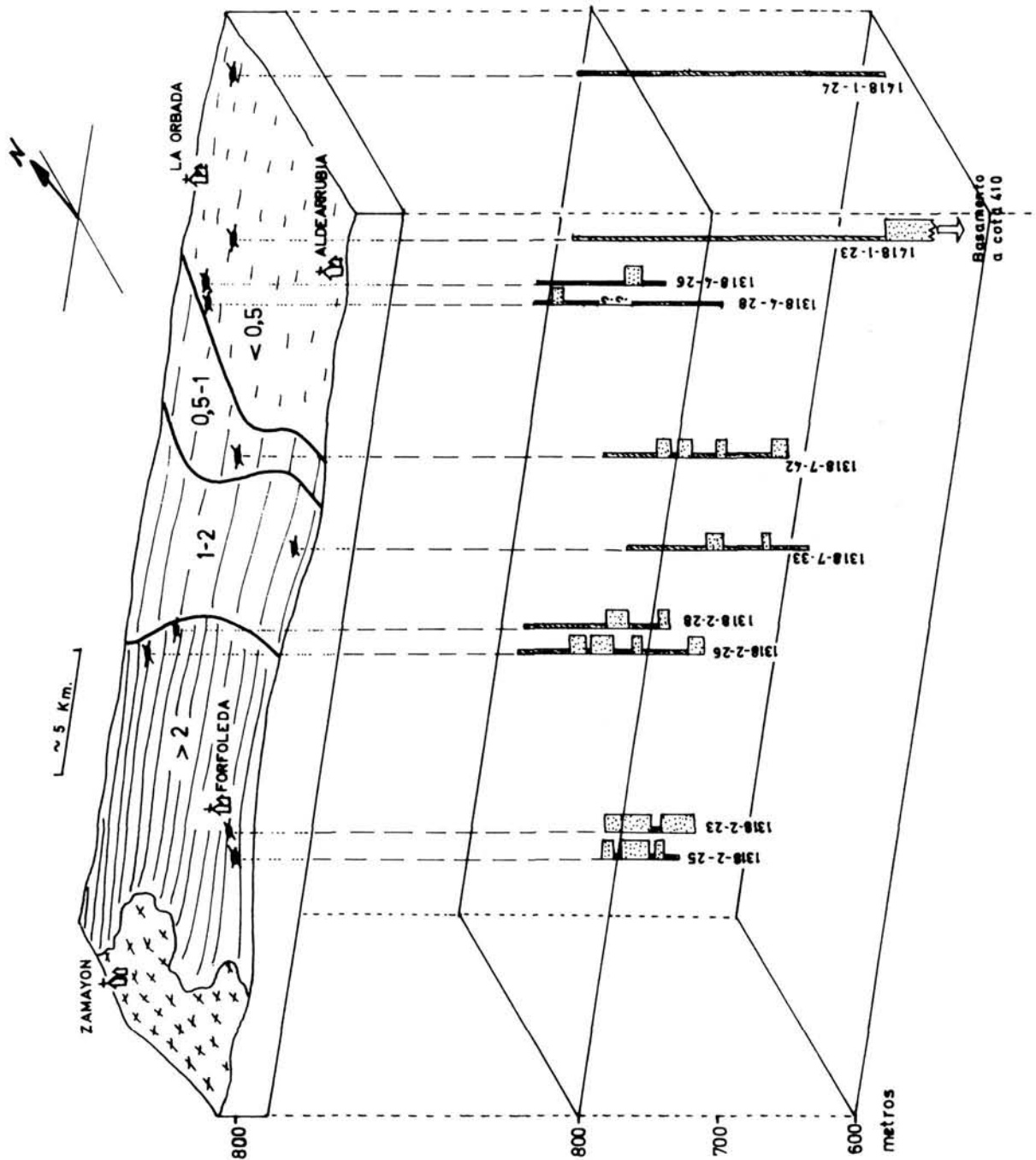


Figura 5. Relación entre los caudales específicos y la litología simplificada de los sondeos (Se ha señalado solamente predominio de arenas o de fangos). Las referencias corresponden al n.º de registro en el Archivo de Puntos Acuíferos del I.G.M.E.

y los caudales o transmisividades, pues depende en gran medida del grado de interconexión de los niveles acuíferos, del coeficiente de almacenamiento y transmisividad de los acuitardos, etc.

## CONCLUSIONES

Los bombeos de ensayo realizados responden al modelo de acuífero semi-confinado sin almacenamiento en el acuitardo. Las transmisividades medidas son muy variables, oscilando entre 5 y 130 m<sup>2</sup>/día, con una media de 35 m<sup>2</sup>/día.

Existe una relación lineal muy estrecha entre los caudales específicos y las transmisividades que permiten estimar éstas a partir de aquellos.

Los valores de caudales específicos se distribuyen según la ley log-normal, diferenciándose los datos del Paleógeno de los del Mioceno: los del primero son ligeramente más elevados y más dispersos del valor medio que los del segundo.

Se presenta la distribución espacial de los caudales específicos, que está determinada por la geología: la granulometría y la proporción de matriz o cemento son los factores más importantes. Sería necesario un estudio estratigráfico detallado de las columnas de los sondeos para poder analizar con precisión la relación entre permeabilidades y geología: medios de sedimentación, direcciones de aporte, etc.

## BIBLIOGRAFIA

- AERO SERVICE (1966). *"Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Duero"*. Cartografía escala 1:250.000. Instituto Nacional de Colonización. Madrid.
- ALONSO, G. (1981). *"Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno en el borde S.O. de la Cuenca del Duero"*. Tesis Doctoral. Univ. Salamanca.
- ARRIBAS, A. y E. JIMENEZ (1970). *Mapa geológico de España, Escala 1:200.000*. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja n.º 29 (Valladolid). I.G.M.E. Madrid.
- ARRIBAS, A. y E. JIMENEZ (1972). *Mapa geológico de España, Escala 1:200.000*. Síntesis de la cartografía existente. Hoja n.º 37 (Salamanca). I.G.M.E. Madrid.
- BRADBURY, K.R. y E.R. ROTHSCHILD (1985). "A computerized Technique for Estimating the Hydraulic Conductivity of Aquifers from Specific Capacity Data". *Groundwater*, 23, 2, pp. 240-246.
- CASTANY, G. (1971). *"Tratado práctico de las aguas subterráneas"*. Omega, Barcelona, 670 pp.

- CORRALES, I.; A. CARBALLEIRA, A. CORROCHANO; C. POL e I. ARMENTEROS (1978). "Las facies miocenas del sector Sur de la Cuenca del Duero". *Public. Dpto. Estratigrafía*, Univ. Salamanca.
- CORRALES, I (1982). "El Mioceno al Sur del río Duero (Sector Occidental)". *Temas Geológico-Mineros*, VI, pp. 709-716.
- CORROCHANO, A. (1977). "*Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno en la Provincia de Zamora*". Tesis Doctoral. Univ. Salamanca.
- CORROCHANO, A. (1980). "Los sistemas de abanicos aluviales del Paleógeno de Zamora". *Guía de sesiones de campo del IX Congr. Nac. de Sedim.*, pp. 48-77. Ed. Univ. Salamanca.
- CORROCHANO, A. (1982). "El Paleógeno del borde occidental de la Cuenca del Duero (Provincia de Zamora)". *Temas Geológico-Mineros*, VI, pp. 677-686.
- CORROCHANO, A.; J. CARBALLEIRA; C. POL e I. CORRALES (1983). "Los sistemas deposicionales terciarios de la depresión Peñaranda-Alba y sus relaciones con la fracturación". *Stydia Geologica Salm.*, XIX, pp. 187-199.
- CUSTODIO, E. (1976). "Hidráulica de captaciones de agua subterránea". En "*Hidrología Subterránea*", CUSTODIO, E. y M.R. LLAMAS ed., pp. 612-1002. Omega, Barcelona.
- DOWNIE, M.N. y R.W. HEATH (1971). "*Métodos estadísticos aplicados*". Ed. Castillo, Madrid, 373 pp.
- DUBREUIL, P. (1974). "*Initiation a l'analyse hydrologique*". Masson, Paris, 216 pp.
- FREEZE, R.A. y J.A. CHERRY (1979). "*Groundwater*". Prentice-Hall, 604 pp.
- I.G.M.E. (1980 a). *Mapa Geológico de España*, Escala 1:50.000. Hoja n.º 397 (Zamora). Madrid.
- I.G.M.E. (1980 b). "*Investigación hidrogeológica de la cuenca del Duero*". Col. Informe. Ministerio de Industria, 75 pp.
- I.G.M.E. (1982). "*Calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos terciarios detríticos de la Cuenca del Duero*". M.º Industria, Col. Informe, 64 pp.
- I.G.M.E. (1983). "*Evolución piezométrica de los acuíferos en la Cuenca del Duero*". Col. Informe, M.º Industria.
- JIMENEZ, E. (1970). "*Estratigrafía y paleontología del borde suroccidental de la Cuenca del Duero*". Tesis Doctoral. Univ. Salamanca.
- JIMENEZ, E. (1972). "El Paleógeno del borde Sur de la Cuenca del Duero: I. Los escarpes del Tormes". *Stydia Geologica*. III, pp. 67-110.
- JIMENEZ, E. (1973). "El Paleógeno del borde Sur de la Cuenca del Duero: II. La falla de Alba-Villoria y sus implicaciones estratigráficas y geomorfológicas". *Stydia Geologica*, V, pp. 107-136.
- JIMENEZ, E. (1975). "Presencia de una fase de fracturación y de una discordancia pre-Luteciense en el Paleógeno de Salamanca". *Estudios Geológicos*, 31, pp. 615-624.
- LOGAN, J. (1964). "Estimating transmissibility from routine production test of water wells". *Groundwater*, 2, pp. 35-37.

- LOHMAN, S.W. (1977). "*Hidráulica Subterránea*". Ed. Ariel, Barcelona.
- LOPEZ VERA, C.F. (1977 a). "Hidrogeología regional de la Cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid". *Memorias del I.G.M.E.*, t. 91, 226 pp.
- LOPEZ VERA, C.F. (1977 b). "Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la Fosa de Madrid". *Tecniterrae*, 18, pp. 64-69.
- PORRAS, J. (1973). "Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Duero". *Bol. Geológico y Minero*, 84, 5, pp. 34-44.
- RODRIGUEZ, J. (1979). "*Hidrogeología de las Cuencas del Zapardiel y del Perú*". Tesis de Licenciatura. Univ. Salamanca.
- SANCHEZ, F.J. (1982). "*Hidrogeología del Terciario en el borde Suroccidental de la Cuenca del Duero*". Tesis Doctoral. Univ. Salamanca.
- SANCHEZ, F.J. (1983). "Hidroquímica del acuífero terciario al S.O. de la Cuenca del Duero". *III Simposio Hidrogeología*, VIII, pp. 137-146.