

PALEOHIDROLOGIA DEL BORDE NW DE LA
FOSA DE MADRID.

F. López-Vera

Departamento de Geología y Geoquímica.
Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco. Madrid.



RESUMEN

El tipo de flujo de las aguas superficiales y su evolución desde el Mioceno hasta nuestros días, es bien conocido en la cuenca de Madrid.

Sin embargo, el otro componente de la escorrentía, las aguas subterráneas, han sido poco estudiadas.

En base a datos, geomorfológicos, hidráulicos, geoquímicos e isotópicos, hacemos en esta comunicación una reconstrucción paleohidrológica de las condiciones de flujo de las aguas subterráneas en esta fosa y de su evolución desde el Mioceno a nuestros días.

Para épocas Pre-Pleistocénicas, la dirección del flujo subterráneo es concordante con el superficial que se produce mediante canales anastomosados con fuertes pérdidas por infiltración en sus talwegs.

Tras el encajamiento y jerarquización de la red actual el flujo subterráneo se produce en sentido perpendicular a los cauces desde las zonas de interfluvio que también lo son de recarga. Sin embargo en profundidad, persisten las anteriores condiciones de flujo. También se cuantifica la velocidad de los distintos tipos de flujo, el tiempo de residencia media del agua en el acuífero y se establece una relación entre la recarga de los acuíferos y las distintas pulsaciones climáticas.

ABSTRACT

The superficial flow, and its evolution is well known from the Miocene till present days. However the other flow component, the underground, is not well known.

Using geomorphologic, hydraulic, geochemical and isotopic data a paleohydrologic reconstruction of the groundwaters flow conditions, and of its evolution from the Miocene age is done in this communication.

For pre-pleistocene age, the groundwaters flow direction concords with the superficial are which is present in braided channels with strong loss by infiltration in its talwegs. After the setting and the hierarchization of the present runoff. The groundwaters flow, shows a direction that is perpendicular to basins from the interflow areas that are also of recharge ones. However in depth the said flow conditions remain.

The velocity of different flows remaining time on the aquifer are also quantified. On the other hand the relations between the aquifer recharge and climatologic conditions is also established.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-

La adecuada explotación de este extenso acuífero y la evaluación de su impacto ambiental potencial, requiere un perfecto conocimiento de todas las condiciones dinámicas del agua en el mismo. Este interés se incrementa con la próxima puesta en explotación con fines geotérmicos de las aguas profundas, al tiempo que los sondeos de reconocimiento a gran profundidad nos proporcionan nuevos datos.

La persistencia de condiciones paleohidrológicas inducidas en profundidad, es un hecho comprobado en otras cuencas, como el caso de la "Red Earth Region" en Alberta, Canadá, estu-

diado por Tóth (1978).

Desafortunadamente y como es usual en los trabajos geológicos, la escasez de datos y la incertidumbre en su interpretación, hace necesario la acumulación de evidencias basadas en técnicas muy diferentes. Las conclusiones que elaboramos aquí están basadas en buena parte en otros trabajos previos a los cuales hacemos referencia y a nuevos argumentos que desarrollamos aquí.

Las condiciones de flujo tridimensional en este acuífero, de acuerdo con el modelo de Hubbert, fué expuesto por primera vez por nosotros (Llamas, M.R. y López Vera, F., 1975) para poder explicar las variaciones piezométricas observadas en pozos que penetraban en los 300 metros superiores de este acuífero, que en algunos puntos superan los 3.000 metros de espesor. Rechazando así el modelo de funcionamiento aceptado para este acuífero desde finales del siglo pasado, que se basaba en el de la cuenca de París. Asimismo, caracterizamos geoquímicamente las condiciones de este flujo (López Vera, F. 1977c). Suponiendo que las facies de transición y químicas del centro de la cuenca, representaban una barrera impermeable en una primera aproximación. Se extrapoló las mismas condiciones de flujo tridimensional en profundidad (Llamas, et al., 1983), sin embargo, los datos proporcionados por los sondeos profundos (cinco sondeos entre 1.000 y 3.600 metros de profundidad) así como perfiles sísmicos han puesto en evidencia la continuidad de facies detríticas bajo las facies mixtas y evaporíticas. Variando sustancialmente las ideas que se tenían sobre las condiciones geométricas de este acuífero, así mismo estos sondeos han proporcionado datos hidroquímicos complementarios (López Vera, F., 1983 d).

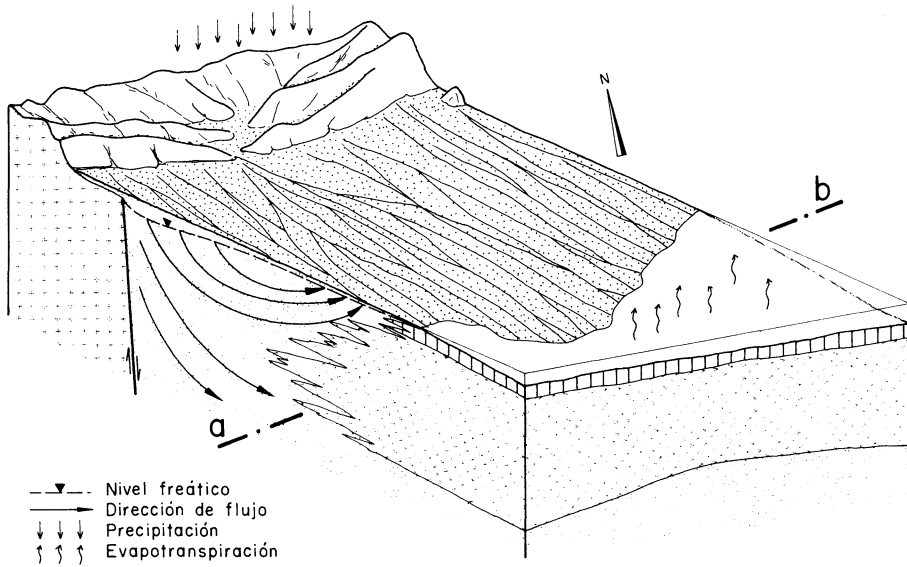
Para poder dar una explicación a las condiciones de flujo profundo es necesario recurrir a una reconstrucción del mismo en épocas pasadas del cuaternario.

DATOS GEOMORFOLOGICOS E HIDRAULICOS

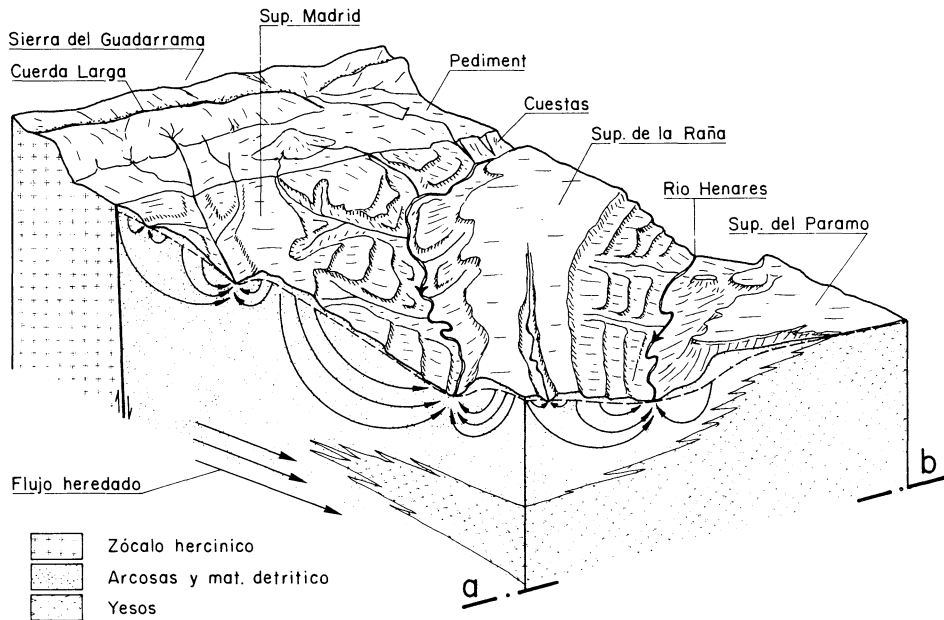
La evolución morfológica de la Cordillera Central y las depresiones castellanas, quedan establecidas en sus grandes rasgos en la década de los cincuenta, gracias a los trabajos de Birot, Solé, Riba, Asensio, Hernández Pacheco y otros anteriores como Schwezner, Vidal Box o Royo Gómez, a los que sería injusto olvidar (op.ci. López Vera, F., 1977 a). Según los referidos trabajos la colmatación de esta fosa, comienza en el Mioceno interrumpiéndose al final del mismo, al tiempo que se depositan las calizas. Con posterioridad se produce un rejuvenecimiento (Plioceno) que abre un nuevo ciclo sedimentario y erosivo con la formación del pediment de la sierra y montes islas. Un nuevo ciclo lo constituye un nuevo rejuvenecimiento del relieve de la Sierra y el encajamiento de la red hidrográfica actual.

La Figura 1. representa dos de estos momentos, en la parte superior A anterior al encajamiento de la red, las condiciones paleohidrológicas de superficie han sido descritas por numerosos autores, Riba, Asensio, etc. como un sistema fluvial de alta energía y reconocido como un sistema de abanicos aluviales coalescentes por López Vera, F. (1977 d). En condiciones de clima árido, el balance precipitación-evapotranspiración en el piedemonte debió ser francamente negativo. La alimentación del acuífero se produciría por infiltración en los lechos de los cauces en las zonas de cabecera o apicales de los abanicos aluviales.

El flujo subterráneo sería en el mismo sentido de la escorrentía superficial, hacia el centro de la cuenca, donde al aflorar en superficie y evaporarse daría origen al depósito de los materiales de las facies de transición y químicos (yesos) en las zonas distales de las playas. Este mecanismo ha sido probado para numerosas especies minerales como los fibrosos de la arcilla (sepiolita, paligorskita, sílice, carbonatos, etc.), según el modelo de Al-Droubi, (citado por Megías, et al.



A.- REJUVENECIMIENTO POST-PLIOCENICO (hace 2 m.a.)



B.- PLEISTOCENO-ACTUALIDAD (Condiciones estabilizadas al menos desde 7000 a.a.C.)

FIG. 1.- CONDICIONES DE FLUJO EN DISTINTAS EPOCAS GEOLOGICAS

1982).

La evacuación de las avenidas excepcionales, para el momento de la discordancia intramiocena, en la cuenca se efectúa mediante un gran cauce orientado casi NE-SW, puesto de manifiesto por Capote y Carro (opcit: López Vera, F., 1977 a) y que apoyaría la idea que el flujo subterráneo fuese perpendicular a él, o sea hacia el centro de la cuenca. Para épocas posteriores el flujo subterráneo alimentaría según lo expuesto la zona lacustre-palustre del centro de la cuenca donde se depositaron las calizas del "páramo".

Una estimación de la velocidad de este flujo subterráneo nos la puede proporcionar aplicando la ecuación de Darcy, que nos proporciona una velocidad ideal $v = K.i/me$. Considerando una conductividad hidráulica media de 20 m/día, un gradiente $i = 0,0015$, una porosidad de 10% se obtiene una velocidad media del orden de 0,003 m/día. Y si consideramos un recorrido medio de una línea de flujo de 20 km; el tiempo de residencia medio sería unos 18.000 años.

El cambio en las condiciones climáticas, a condiciones menos áridas, el basculamiento de la región hacia el SW el comienzo del encajamiento y jerarquización de la red actual, (hace 1.800.000 años aproximadamente) cambia sustancialmente las condiciones de flujo en la zona superior del acuífero, Fig. 1.B. El flujo subterráneo en las nuevas condiciones se produce de las zonas de recarga en los interfluvios al fondo de los valles que se encajan en la superficie original. En las estimaciones que hacemos aquí consideramos sólo las superficies generalizadas que discutimos con anterioridad (López Vera, F. y Pedraza, F., 1976), aunque existen con posterioridad estudios más detallados sobre el tema, Garzón, M.G. et al. (1982) y Cabra, P. et al (1983).

En la Fig. 2 se muestran los distintos estadios de encajamiento del río Jarama, en base a los depósitos de terrazas del mismo a la altura de San Fernando, que da Vaudour, J.,

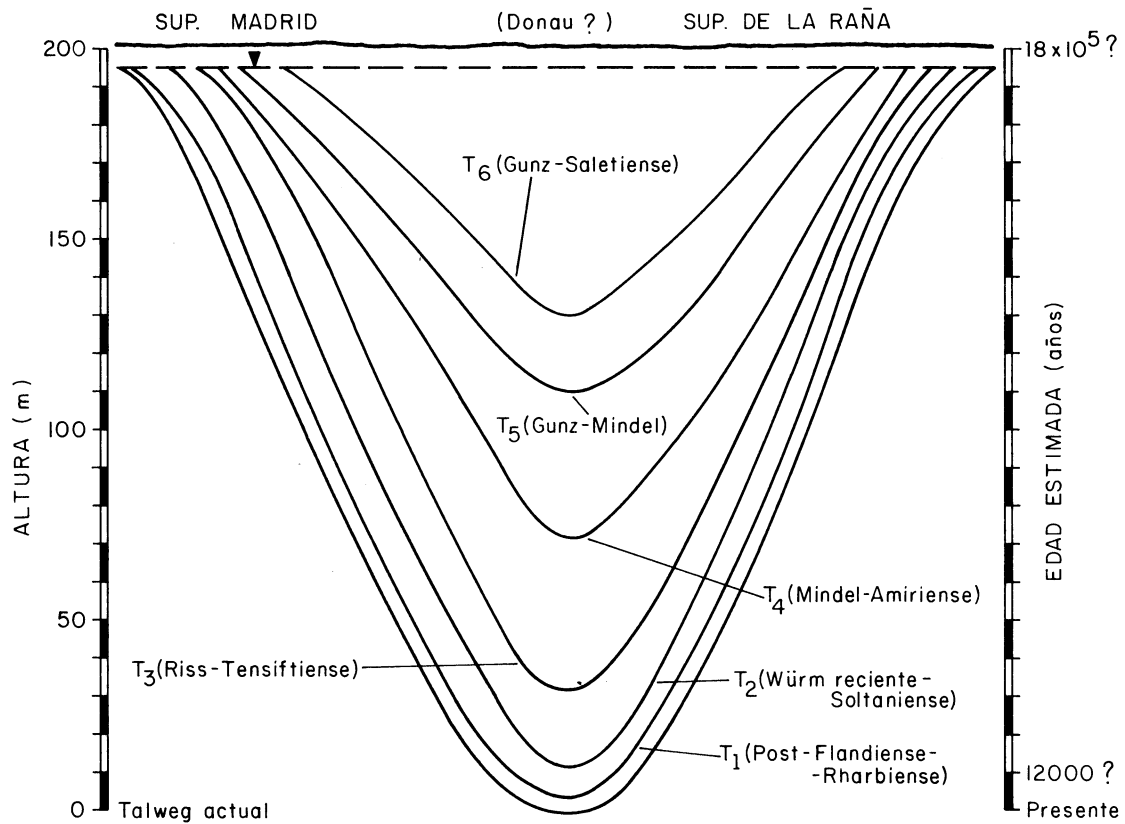


FIG. 2.- VELOCIDAD DE ENCAJAMIENTO DEL RIO JARAMA Y EVOLUCION DEL NIVEL FREATICO, EN BASE AL ENSAYO DE CORRELACION PROPUESTO POR J. VAUDOUR 1.979 Tabla 48 pp. 326.

N i v e l	Distancia estimada (m)	Gradiente estimado	Conduct. hidráulica m/día	Porosidad eficaz (%)	Velocidad de Darcy m/día	Tiempo de residencia medio (años)
T ₆ (+130)	8000	0,007	20 15	10	0,014 0,010	1570 2100
T ₅ (+110)	8500	0,009	15 10	8	0,016 0,011	1460 2120
T ₄ (+ 70)	9500	0,012	10 8	7	0,017 0,013	1530 2000
T ₃ (+ 30)	10000	0,016	9 7	6	0,024 0,018	1240 1520
T ₂ (+10+12)	10500	0,017	7 5	5	0,023	1250 1700
T ₁ (+ 2-3)	11000	0,017	7 5	5	0,023 0,017	1250 1700

TABLA I.- Velocidad de flujo y tiempo de residencia medio de Darcy, del agua subterránea en distintas épocas del encajamiento.

1979, el cual las correlaciona con las glaciaciones alpinas y los pisos del Marroquí clásico. Conscientes de lo arriesgado de tales correlaciones en la Tabla I, sólo utilizamos los niveles de terrazas como hitos de encajamiento del valle.

En la citada Tabla I, se utilizan como variables, la distancia estimada en cada momento entre el interfluvio y el talweg, el gradiente hidráulico y los cambios en conductividad hidráulica y de porosidad eficaz, según el encajamiento corta niveles inferiores.

Con estos datos estimamos las distintas velocidades de Darcy y el tiempo de residencia y vaciado de esta porción de acuífero, que estimamos en menos de 2000 años.

Frente al tiempo de encajamiento del valle que es de aproximadamente 1.800.000 años, esto es la zona del acuífero comprendida entre el nivel de saturación y el talweg de los ríos (unos 200 mts) se ha renovado al menos 900 veces, por lo que es poco probable que podamos encontrar en esta zona aguas con una edad media superior a los 2000 años.

En la Fig. 1.B se muestra como para esta zona superior pueden reconocerse sistemas de flujo con distintas distancias de recorrido y por tanto con distintos tiempos de residencia ¿cuántos de estos flujos tipo Hubbert caben esperar en esta región?. Teniendo en cuenta la concomitancia entre el flujo superficial y subterráneo un análisis morfométrico de Horton para un mismo acuífero nos indicará el número de flujos posibles.

En la Fig. 3 se representa la parte de la red de drenaje actual del río Jarama y afluentes sobre el acuífero del Terciario detrítico. La jerarquización de la red se ha numerado siguiendo los criterios de Strahler, por ser progresiva y continua y por tanto adaptarse mejor a nuestros objetivos.

Vemos en la Fig. 3 como los cauces de mayor orden son los de 4. Si partimos de la hipótesis que los cauces de orden 1 son alimentados por el flujo de difusión lateral en los hori

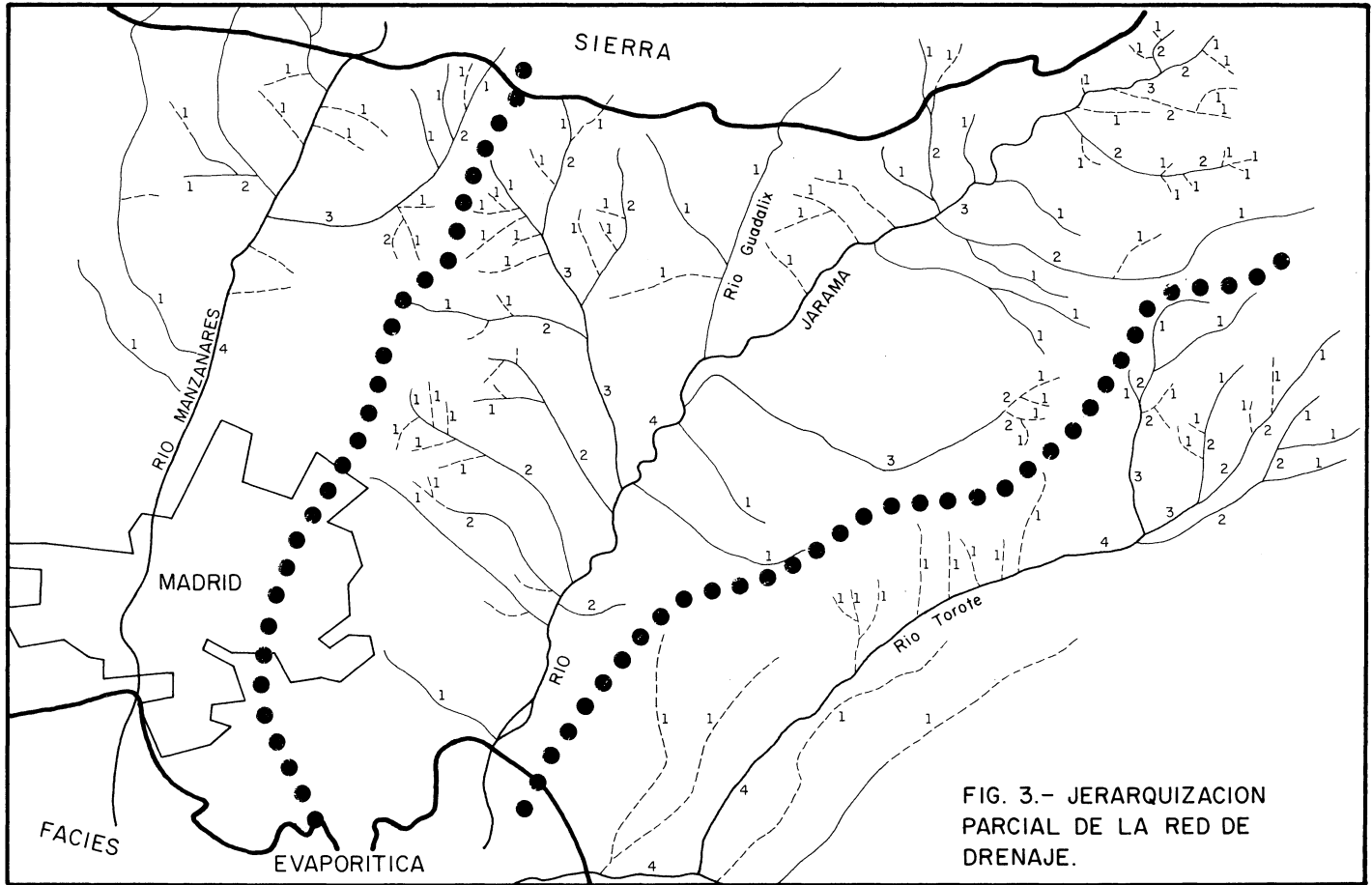


FIG. 3.- JERARQUIZACION
PARCIAL DE LA RED DE
DRENAJE.

zontes del suelo, el número máximo de flujos tipo Hubbert que cabe esperar es de tres, además del flujo profundo inducido o heredado.

En la misma Fig. 3 puede observarse como este número de flujos no es homogéneo en toda la zona sino que, en algunas es de tres como la cuenca del Arroyo Viñuelas o el río Torote, mientras que en otras es de dos como en el Arroyo Rejas, las Quemadas o Camarmilla.

Esto nos pone de manifiesto que en todas las muestras de agua que tomemos son mezclas de diversos sistemas de flujo. La mezcla será mayor cuanto mayor sea la zona ranurada de los pozos y máxima en los manantiales. En los pozos perforados en los fondos de los valles al ser el flujo tridimensional nos proporcionará una mezcla de las aguas más antiguas.

Por otra parte los datos de piezometría disponibles son coherentes con lo aquí expuesto, Llamas, M.R. y López Vera, F. (1975); López Vera, F. (1977 b) y (1983 d).

Por último cabe considerar el ritmo de recarga del acuífero. Esta región es considerada como semiárida, o sea, no existe excedente de humedad en el balance anual, por lo que la recarga sería imposible (López Vera, F., 1977 b). Sin embargo sí lo es en los ciclos diarios o mensuales, sobre todo en los períodos húmedos. Esto es, la recarga se efectuará según pulsaciones coincidentes con los períodos climáticos húmedos.

DATOS GEOQUIMICOS E ISOTOPICOS

En trabajos anteriores, López Vera, F (1977 b y c) puso de manifiesto como en este acuífero el total de sólidos disueltos de muestras de aguas de hasta 500 mts de profundidad eran inferiores a 400 mg/l, y en los 200 primeros metros inferior a 200 mg/l. También demostró como el incremento de mineralización del agua con el flujo y tiempo de residencia era insignificante. Sólo se pone de manifiesto por esta causa cambios

Nº muestra	Cuenca	Cota media rejillas m.s.n.m.	Longitud rejillas (m)	$\delta^{13}\text{C}$	Tritio T.U.	^{14}C p m c	Edad aparente años B.P.	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{2}\text{H}$	Observaciones
1	J	604	20	-12,1	-	24,2 \pm 4,9	10.400	-8,7	-	Mezcla de aguas de diversas edades.
2	H	782,5	31	-	-	78,2 \pm 12	580	-8,7	-	Zona 1
3	H	753	54	-11,4	23 \pm 3,2	78,0 \pm 11,2	1.400	-7,2	-49,2	Mezcla de aguas
4	J	463,5	5	-11,4	-	42,3 \pm 9,0	6.150	-8,7	-	Zona 3
14	H	497	4	-11,8	4,4 \pm 3,3	4,8 \pm 1,4	23.800	-9,28	-59,2	Zona 3
16	G	482,5	131	-11,6	-	22,4 \pm 2,6	11.250	-8,79	-57	Mezcla de aguas de diversas edades.
21	A	494	4	-11,8	-	110,2 \pm 8,6	30	-9,28	-59,2	Zona 1
25	A	375,5	111	-12,2	-	17,7 \pm 3,3	13.000	-8,52	-59	Mezcla de aguas de diversas edades.
30	J	678	110	-12,0	0, \pm 2	72,0 \pm 2,7	1.000	-7,8	-	Mezcla de aguas de diversas edades.
33	H	769	72	-10,4	0,5 \pm 1,5	53,2 \pm 2,3	3.000	-7,8	-	Mezcla de aguas diversas edades
34	H	603	80	-13,7	2,2 \pm 2,4	14,9 \pm 3,0	13.800	-8,6	-	Zona 3.
36	J	578	68	-14,9	0,3 \pm 1,4	14,4 \pm 1,2	14.400	-8,8	-	Zona 3.
38	J	480,5	99	-17,4	-	60,2 \pm 08	22.200	-8,26	-55,7	Mezcla de aguas diversas edades
48	M	258	316	-13,1	1,2 \pm 1,1	6,5 \pm 0,5	21.000	-8,8	-61,9	Zona 3.
57	J	757	*	-10,7	-	37,9 \pm 1,8	8.000	-	-	

Nº muestra	Cuenca	Cota media rejillas m.s.n.m.	Longitud rejillas (m)	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Tritio T.U.	^{14}C p m c	Edad aparente años B.P.	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	$\delta^2\text{H}$ ‰	Observaciones
58	J	739	*	-10,6	-	62,4 \pm 1,2	3.900	-	-	
59	J	719	*	-10,7	-	59,0 \pm 1,2	4.400	-	-	
60	J	749	*	-10,9	-	55,4 \pm 1,2	4.900	-	-	
64	A	559	**	-14,8	15	84,5 \pm 1,5	1.200	-7,3	-48,7	Mezcla de aguas de > 10 años.

H = Henares, J = Jarama, M = Manzanares, G = Guadarrama, A = Alberche, * = Carbonatos del suelo,
 ** = Manantial.

T A B L A II.- Datos isotópicos.

muy pequeños en la hidrofacies. Las variaciones más significativas en la mineralización de las aguas son debidas a la presencia de minerales solubles, bien como matriz o como cuerpos litológicos.

En otros trabajos López Vera, F. et al (1983 a) se estableció en un perfil la estratificación del agua según el flujo en la zona superior. Para la zona inferior, López Vera, F. (1983 d II) se dispone de datos que muestran una mineralización de hasta 100.000 mg/l en los sondeos de Pradillo I de 3.534 m de profundidad, Tres Cantos de 2.417 m y San Sebastian de los Reyes de 2.130 m, Alcalá de Henares, 1.001 y Tielmes de 1.655 m. Los datos profundos muestran una gran irregularidad, lo que puede significar complicaciones en el flujo profundo o la existencia de zonas de estancamiento o separación de flujos.

En cuanto a los datos isotópicos, varios son los intentos de reconocimiento de estos acuíferos. Los primeros datos de Carbono-14 y Tritio fueron tomados por el autor de este trabajo en 1974 (López Vera, F. 1977 b) y de Cloruro-36 en 1979. De Oxígeno-18 por A. Sastre en 1978, López Vera, F. et al (1981). Algunas de las elaboraciones de estos datos, como la de Gómez Martos, et al (1980), pusieron de manifiesto variaciones de edades de hasta 40.000 años B.P. y diversos agrupamientos de las muestras según la edad.

En el trabajo que presentamos en el 26 Congreso Geológico Internacional de París en 1980, López Vera, F. et al, (1981) concluimos en base a datos de Carbono-14, Tritio y Oxígeno-18 la inexistencia de transvases subterráneos entre las cuencas del Henares, Jarama, Manzanares, Guadarrama y Alberche; lo poco significativas de las variaciones en Oxígeno-18 (del orden del 2‰) y su distribución no gausiana. También se concluía en este trabajo, el que aunque pequeñas existían variaciones entre las zonas de recarga interfluvios y las de descarga, siendo en esta última zona los valores de $\delta^{18}\text{O}$ más negativos que en los de recarga.

Asímismo se sugería la existencia de una recarga lateral en el cauce de los arroyos procedentes de la sierra, aunque de pequeña magnitud. Herráez, I. et al (1983) confirman algunos de estos resultados y encuentran una correlación aceptable entre el contenido de carbono moderno y el $\delta^{18}O$. Sin embargo, en nuestra opinión, el intento de extraer conclusiones paleoclimáticas de estos resultados es extremadamente arriesgada, al no poder extrapolarse las relaciones isotópicas $^{18}O/^{16}O$ con la temperatura en las precipitaciones actuales, Gat, J.R. (1980) a épocas pasadas. Son numerosos los intentos de correlacionar las variaciones isotópicas, con el ambiente y la temperatura, como los realizados por Dansgaard, W. et al (1969) en las capas de hielo de un glaciar y otros materiales orgánicos, Buchardt, B. et al (1980) con resultados alentadores. No es este el caso de las aguas subterráneas, Fontes, J.Ch. (1981) que presenta un cuadro mucho más complicado, por una parte el desconocimiento que tenemos del contenido isotópico en otras épocas y por otra la variabilidad de las condiciones dinámicas de la atmósfera, Lamb, H.H. (1982), habiéndose registrado cambios importantes incluso en épocas históricas, el último hacia 1.800 d.C. Por estas razones no pueden estrapolarse tampoco las condiciones isotópicas de las precipitaciones actuales obtenidas por Herráez, I. et al (1983).

En la Tabla II se presentan diversos datos isotópicos, algunos publicados por Herráez, I. et al (1983) pero la mayoría son menos. El significado cronológico de los contenidos en carbono radiactivo de las muestras la hemos discutido y elaborado rigurosamente en otro trabajo. López Vera, F. et al (1983 c), los contenidos de $\delta^{13}C$ que figuran aquí con los valores de Carbono-13 que se han utilizado para corregir la edad. La edad que asignamos a las muestras es el valor medio de la obtenida en el trabajo últimamente citado, pero que en ningún caso es correlacionable con fechas del calendario.

Especial significación tienen los datos de las muestras 57 a 60 que corresponden a carbonatos del suelo con edades entre 4000 y 8000 años B.P., evidentemente la formación de estas

recarbonataciones es muy anterior a estas edades, pero están rejuvenecidas al reequilibrarse en condiciones ambientales húmedas posteriores. Estos datos también se han utilizado en el modelo de calibración de edades López Vera, F. et al (1983 c).

La amplitud de variación de $\delta^{18}\text{O}$ es de un 2‰ y de $\delta^2\text{H}$ ‰ de un 12,7‰ valores que entre sí son coherentes. La distribución de estos valores no aportan nada nuevo a las conclusiones ya expuestas, lo mismo puede decirse del $\delta^{13}\text{C}$ (contenido en C-13) sólo señalar que el valor de la muestra 38 es sospechoso de medida errínea.

Los valores de Tritio y la edad aparente junto con la posición de las muestras sí nos aportan nuevos datos:

- Las muestras nº 2 y 21 son claramente muestras correspondientes a los flujos de 2 y 3 orden descritos en el epígrafe anterior.
- Las muestras 3, 30, 33 y 64 representan mezcla de aguas de los flujos 2,3 y 4.
- Las muestras nº 4, 14, 34, 36 y 57, representan mezcla de aguas de la franja inferior de la zona superior del acuífero contaminados con aguas más profundas, es la que hemos denominado zona 3.
- Las restantes muestras representan "contaminaciones" o mezclas de aguas de más de 20.000 años del flujo profundo con aguas más recientes de la zona superior.

Una relación semejante entre contenido isotópico y el flujo la hemos encontrado en la región de Campo de Dalias, López Vera, F. et al (1983 b), si bien no existe una correspondencia exacta, debido a los efectos de la neotectónica en aquella región.

CONCLUSIONES

- Se pueden reconocer dos grandes sistemas de flujo en el agua subterránea coincidentes, uno con el tipo de flujo superficial existente antes del encajamiento de la red de drenaje actual (1.800.000 aprox.) y otro con dirección perpendicular al anterior que ha evolucionado con el encajamiento de la red de drenaje.

Un caso especial lo representan las cuencas de los ríos Henares y Alberche por su orientación morfológica singular.

- En el sistema superior relacionado con la red de drenaje actual se distinguen hasta cuatro sistemas de flujo de diverso recorrido, cuya edad media de residencia es menor de 3.000 años.
- Las entradas de agua a estos acuíferos, se producen exclusivamente en los períodos húmedos, con control estacional, pero sólo en los períodos húmedos, como se deduce de los datos de O-18 y D. Teniendo en cuenta el carácter irregular de la intensidad de los mismos, estimamos que la última infiltración masiva más intensa se produjo en la crisis climática conocida para los climatólogos como "pequeña edad del hielo", producida hace unos dos siglos.
- La edad de las aguas profundas se estima entre 20.000 y 40.000 años en esta zona y el tiempo de residencia medio hasta la zona de descarga (río Tajo) de 80.000 a 150.000 años.
- Los datos de edad de las muestras tomadas en los pozos representan mezclas de los distintos tipos de flujo.

BIBLIOGRAFIA

- BUCHARDT, B. and FRITZ, P. (1980): Environmental isotopes as environmental and climatological indicators. Cap. 12 in Handbook of environmental isotope geochemistry. vol. 1. Ed. Elsevier. Amsterdam. pp. 75-140.
- CABRA, P., GOY, J.L., HOYOS, M. y ZAZO, C. (1983): Estudio geomorfológico del cuaternario y de las formaciones superficiales del sector meridional de La Cabrera. Tecniterrae nº 51, pp. 32-42. Madrid.
- DANSGAARD, W., JOHNSON, S.J., MOELLER, J. and LANGWAY, C.C. (1969): One Thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheet. Rev. Science 166. pp. 377-381.
- FONTES, J.CH. (1980): Environmental isotopes in groundwater hydrology. Cap. 3 in Handbook of environmental isotope geochemistry. vol. 1. Elsevier. Amsterdam. pp. 75-140.
- FONTES, J.CH. (1981): "Paleowaters" Stable Isotope Hydrology. Monograph, Cap. 12. IAEA. Vienna. 1981, pp. 273-302.
- GARZON, M.G., PEDRAZA, J. y UBANELL, A. (1982) "Los modelos evolutivos del relieve del Sistema Central Ibérico (Sectores de Gredos y Guadarrama). Rev. R. Acad. de C. Ex. Fis. y Nat., t. 76, pp. 475-496. Madrid.
- GAT, J.R. (1980): The isotopes of hydrogen and oxygen in precipitation. Cap. 1 in Handbook of environmental isotope geochemistry. vol. 1 Elsevier. Amsterdam, pp. 21-48.
- GOMEZ MARTOS, B., HERRAEZ, I., LOPEZ VERA, F. y PLATA, A. (1980): Estudio de la dinámica de las aguas subterráneas mediante isótopos ambientales en la fosa del Terciario de Madrid. Interamerican Symposium on Isotope Hydrology. Bogotá. Colombia 18-22. August 1980, pp. 291-302.
- HERRAEZ, I., FONTES, J.CH. y LLAMAS, M.R. (1983): Las variaciones isotópicas del acuífero de Madrid y su relación con el sistema de flujo y con las condiciones ambientales de infiltración. Memorias. III Simposio de Hidrogeología. T VIII, pp. 193-204. Madrid.

- HERRAEZ, I.; PLATA, A. y BAONZA, E (1983): Composición y variación isotópica de las precipitaciones de Madrid. Memorias III Simposio de Hidrogeología. T. VIII, pp. 205-214. Madrid.
- LAMB, H.H. (1982): Climate. Present, Past and Future. Methuen and Co. LTD. London 2 vol.
- LOPEZ VERA, F. y PEDRAZA, J. (1976): Síntesis geomorfológica de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. Estudios Geológicos nº 32, pp. 499-508.
- LOPEZ VERA, F. (1977 a): Estudios Geológicos e Hidrogeológicos sobre la fosa media del Tajo. Boletín Geológico y Minero, T. 88-V, pp. 401-416.
- LOPEZ VERA, F. (1977 b): Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. Mem. Inst. Geol. Min. Esp., nº 91, pp. 227 + planos.
- LOPEZ VERA, F. (1977 c): Geoquímica de las aguas del "Terciario detrítico" de la Fosa de Madrid, en relación con el flujo subterráneo. Estud. Geol. nº 33, pp. 525-534.
- LOPEZ VERA, F. (1977 d): Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la Fosa de Madrid. Las Ciencias, Tomo 42 nº 4, pp. 257-266. Madrid.
- LOPEZ VERA, F., LERMAN, J.C. and MULLER, A.B. (1981): The Madrid basin aquifer: preliminary isotopic reconnaissance. Journal of Hydrology, 54. Amsterdam, pp. 151-166.
- LOPEZ VERA, F. y GOMEZ ARTOLA, C. (1983 a): Estratificación hidroquímica del acuífero Terciario detrítico de Madrid. Memorias III Simposio de Hidrogeología. T. VIII, pp. 147-156. Madrid. (AGE).
- LOPEZ VERA, F. y DE MIGUEL TEJEDOR, M. (1983 b): Dinámica de las aguas subterráneas en Sierra de Gador y Campo de Dalías (Almería) deducida a partir de datos geoquímicos y de isótopos ambientales. Rev. Materiales y procesos (en prensa). Facultad de Ciencias Geológicas. Univ. Complutense. Madrid. (en prensa).
- LOPEZ VERA, F. y HERNANDEZ HINOJO, V. (1983 c): Datación radiactiva de las aguas subterráneas de Madrid. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid.

- LOPEZ VERA, F. (1983 d): El acuífero del Terciario detrítico de Madrid. I. Geometría y características hidráulicas
II. Flujo e hidroquímica. Boletín Geológico y Minero (en prensa).
- LLAMAS, M.R. y LOPEZ VERA, F. (1975): Estudio sobre los recursos Hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influencia. Avance de las características hidrogeológicas del Terciario de la cuenca del río Jarama. Rev. Agua n^o 88, pp. 36-55.
- LLAMAS, M.R., SIMPSON, E.S. y MARTINEZ, P.E. (1983): Ground Water Age Distribution in Madrid Basin, Spain. Ground Water, vol. 20 n^o 6, pp. 688-695.
- MEGIAS, A.G., LEGUEY, S. y ORDOÑEZ, S. (1982): Interpretación tectosedimentaria de la génesis de fibrosos de la arcilla en series detríticas continentales. (Cuencas de Madrid y del Duero) España. Memorias 5^o Congreso Latinoamericano de geología. Argentina. Actas II, pp. 427-439.
- TOHT, J. (1978): Gravity-Induced Cross-Formational Flow of Formation Fluids, Red Earth Region, Alberta, Canadá: Analysis, Patterns, and Evolution. Water Resources Research. Vol. 14, n^o 5, pp. 805-843.
- VAUDOUR, J. (1979): La región de Madrid. Alterations, sols et paleosols. Contribution a l'étude géomorphologique d'une région méditerranée semi-aride. Editions Ophrys. Paris, pag. 390.