

MANIFESTACIONES HIDROLOGICAS E HIDROQUIMICAS DE FLUJOS SUBTERRANEOS PROCEDENTES DE FORMACIONES POCO PERMEABLES DEL TERCIARIO EN EL SOMONTANO DE HUESCA

J. A. Sánchez Navarro*, F. J. Martínez Gil*, L. San Román Saldaña* y J. L. de Miguel Cabeza*

RESUMEN

Se considera la presencia en el Somontano Oscense de flujos de agua subterránea procedentes de materiales detríticos terciarios de baja permeabilidad. Se da un modelo de flujo de las aguas subterráneas en estos materiales que permite explicar tanto su fluencia hacia la superficie como sus características físico-químicas.

Estos flujos se manifiestan en superficie, dando lugar a zonas húmedas naturales, *paules*, con aguas de composición sódica que provocan la formación de suelos salinos, sódicos o alcalinos; también se manifiestan modificando la composición química de las aguas de los ríos que atraviesan el Somontano.

Palabras clave: *Hidrogeología, hidroquímica, humedales, suelos salinos, suelos sódicos, cuenca del Ebro, Huesca, España.*

ABSTRACT

Presence of groundwater flow in the «somontano Oscense» area, proceeding from low permeability detritic tertiary rocks, is considered. It's given a groundwater flow model for these tertiary rocks. This model explains both water flow through them and water chemical characteristics.

Groundwater flow has clear surface manifestations: it causes wet-areas (which are called «*paules*» in the area) with sodic waters; it makes appear saline, sodic or alkaline soils; and it modifies, too, water chemical composition of rivers in Somontano.

Key words: *Hydrogeology, Hydrochemistry, humid areas, saline soils, sodic soils, Ebro basin, Huesca, Spain.*

Introducción

Al sur de las Sierras Prepirenaicas Aragonesas entre los ríos Gállego y Cinca se extiende un extenso piedemonte (Hoya de Huesca y Somontano de Barbastro) cuyo sustrato geológico lo forma una alternancia poco permeable de lutitas y areniscas en paleocanales pertenecientes al Terciario de la Cuenca del Ebro (figura 1).

Este piedemonte se encuentra drenado por los ríos afluentes del Cinca: Isuela, Flumen, Guatizalema, Alcanadre y Vero, y del Gállego: Astón, Sotón y Riel. Todos ellos descienden desde las Sierras Prepirenaicas (Guara, 2.077 m) en dirección norte-sur para, ya en los límites con los terrenos yesíferos, tomar una

dirección este, los vertientes al Cinca, y oeste, los que vierten al Gállego.

La presencia de flujos de agua subterránea procedentes de formaciones de baja permeabilidad ha quedado constatado en los escasos pero significativos sondeos que la explotan y, sobre todo, en las modificaciones tanto de caudal como de composición química que experimentan los ríos al atravesarla.

Otra manifestación de estos flujos corresponde a la existencia de áreas húmedas naturales cuya génesis no parece posible pueda ser debida únicamente a la acumulación de escorrentías superficiales. Estas zonas, que en la comarca se denominan *paules*, se manifiestan como áreas de «suelos húmedos» (muy apropiadas para el cultivo), o como áreas temporalmente enchar-

* Cátedra de Hidrogeología. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

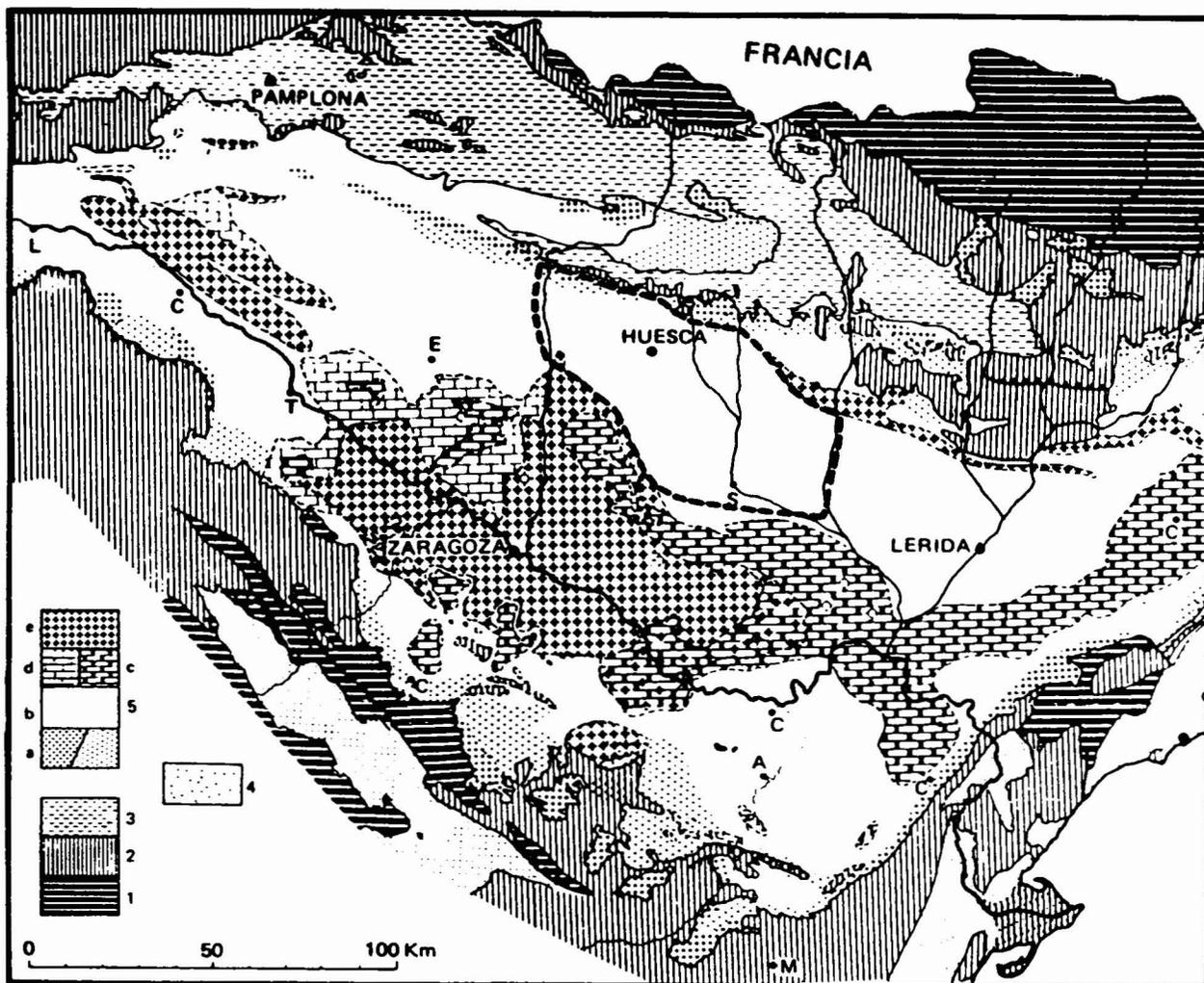


Fig. 1.—Situación geológica de la zona. Distribución superficial de las principales litofacies del Terciario de la Cuenca del Ebro (Riba *et al.*, 1984). 1: Paleozoico. 2: Mesozoico. 3: Terciario marino indiferenciado. 4: Neógeno y Cuaternario. 5: Facies: a) molasas proximales; b) molasas distales; c) y d) calizas; e) evaporitas (yesos).

cadadas que, con frecuencia, van asociadas a extensas manchas de suelos salinos, sódicos o alcalinos.

La puesta en regadío de alguna de estas áreas, mediante los canales del Cinca (45.204 ha) y Monegros (53.129 ha) han producido importantes alteraciones hidrológicas e hidroquímicas que han provocado la expansión de los suelos salinos: según datos del IRYDA, así como de los Mapas de Clases Agrológicas (in Porta *et al.*, 1986), existen en la zona aquí considerada unas 38.000 ha afectadas por salinidad de las que entre 5.000 y 7.000 han sido abonadas y unas 3.000 ha están ocupadas por arroz.

Casos similares de suelos salinos se han desarrollado en los regadíos del canal de Bárdenas —provincias de Zaragoza y Navarra—, canal de Aragón y Cataluña —provincias de Huesca y Lérida— y canal

de Urgell, en la de Lérida (Boixadera *et al.*, 1987); en todos ellos el sustrato geológico corresponde a la misma formación detrítica aquí considerada: *formación Sariñena* (Quirantes, 1969).

La presencia de suelos salinos en la cuenca del Ebro ha sido objeto de numerosos estudios (Alberto *et al.*, 1979; Herrero, 1982; Cuchi, 1986); todos ellos, si bien muy documentados en datos edafológicos y químicos, no consideran, en la génesis de estos suelos la existencia de flujos ascendentes de agua —hecho hidráulico incuestionable (Hubbert, 1940; Toth, 1963)— de gran impacto en el paisaje y la vegetación (Bernáldez *et al.*, 1987); así como generadores de procesos geológicos y morfológicos (Toth, 1971), entre ellos los suelos salinos (Leskiw, 1971; Toth, 1980; Herrera *et al.*, 1983).

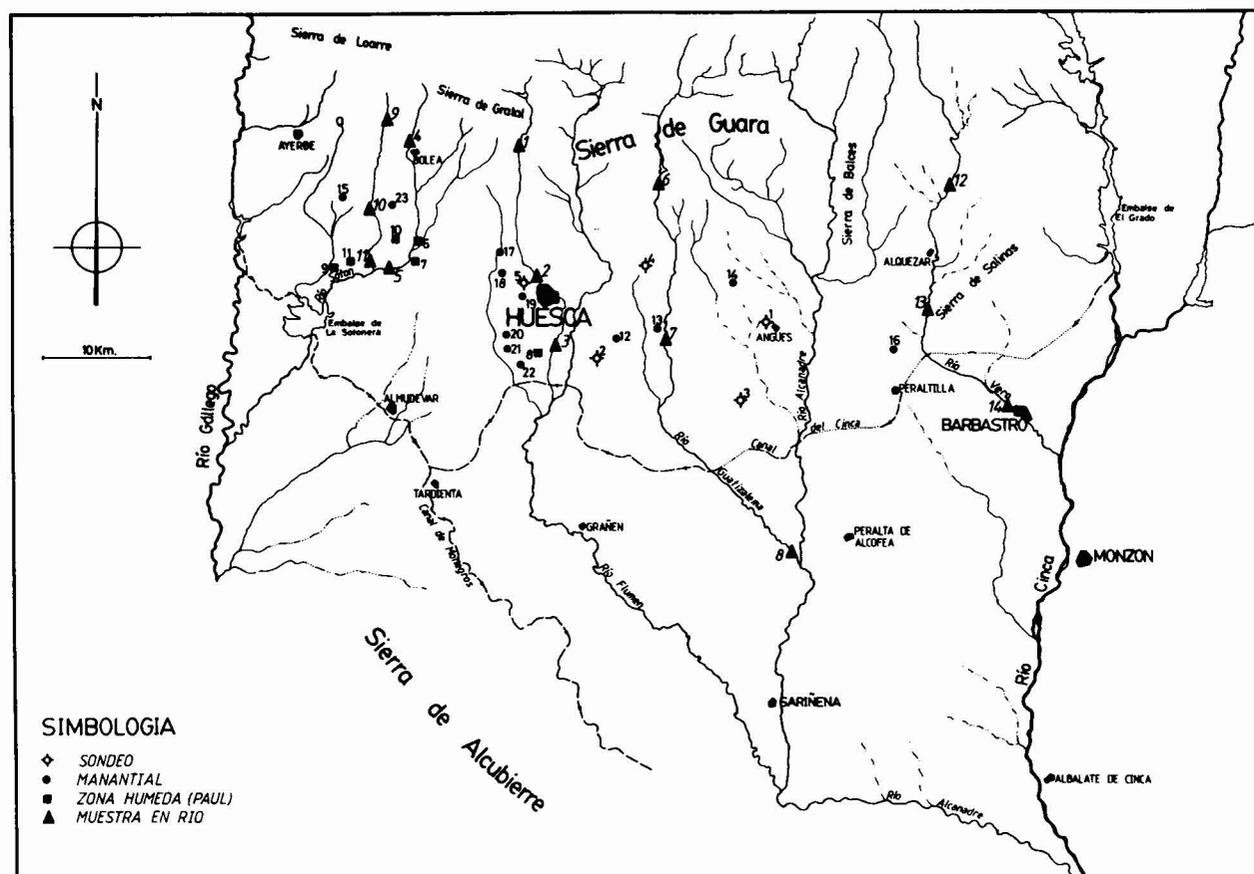


Fig. 2.—Situación de las muestras de agua consideradas.

En el presente trabajo se ha realizado un muestreo hidroquímico, tanto de las aguas subterráneas del Terciario detrítico como de todos los manantiales y zonas húmedas observados en el somontano de Huesca; asimismo se han muestreado los ríos prepirenaicos en diferentes tramos (fig. 2).

Características hidrogeológicas de los materiales detríticos

Entre los ríos Gállego y el Cinca se dispone un conjunto de materiales detríticos (fig. 1) que, pertenecientes a la Cuenca Terciaria del Ebro, han sido definidos por (Riba, O. *et al.*, 1984) como *molasses distales*. Su límite geológico septentrional corresponde, en la parte más oriental, al afloramiento de los materiales evaporíticos eocenos *formación Yesos de Barbastro* (Quirantes, 1969); en el resto, el límite corresponde al frente de cabalgamiento de las Sierras Prepirenaicas que oculta a los materiales evaporíticos terciarios infrayacentes (Puigdefábregas, 1975). Hacia el sur, el límite corresponde al paso a materiales de

facies químicas (calizas y yesos) de la *formación Alcubierre* (Quirantes, 1969).

Hidrogeológicamente, en los materiales detríticos pueden diferenciarse dos unidades:

El Terciario detrítico, constituido por dos formaciones de características litológicas similares: la denominada *formación Peraltila* (Quirantes, 1969), de edad Oligocena, que aflora en el límite NE de la zona de estudio, formando el flanco suroeste de un anticlinal, y la *formación Sariñena* (Quirantes, 1969), de edad miocena, que dispuesta horizontalmente ocupa la casi totalidad del área de estudio.

Ambas formaciones están constituidas por una potente serie lutítica, muy margosa, en la que alternan niveles de arenisca. Estos niveles (las areniscas) son más frecuentes y de mayor potencia en la *formación Peraltila* que en la *formación Sariñena*, y, dentro de esta última, son más abundantes al este del río Flumen. Son areniscas de grano relativamente grueso y anguloso, de matriz nula o escasa, y muy heterométricas; presentan un cemento calcáreo abundante, normalmente espático. En cuanto a los materiales lutíticos, si bien (Herrero, 1982) indica en ellos la

presencia de «margas salíferas», estas sólo aparecen asociadas a suelos, no habiendo sido señaladas en ninguno de los perfiles estratigráficos descritos en la literatura geológica de la zona. Hidrogeológicamente se trata de materiales de elevada porosidad, pero de baja permeabilidad.

El Cuaternario y Pliocuatnario está formado por materiales detríticos no consolidados: gravas con cantos, arenas, limos y arcillas, predominando unos u otros en función de la génesis del depósito. Morfológicamente aparecen dispuestos en «terrazas fluviales» y en extensos «glacis», recubriendo parcialmente a los materiales terciarios. Desde el punto de vista hidrogeológico se trata de materiales de alta porosidad y elevada permeabilidad; constituyen, por tanto, un excelente acuífero, aunque de recursos muy limitados debido a su escasa potencia.

Las aguas subterráneas del Terciario detrítico

El Terciario detrítico del Somontano constituye un medio poroso de baja permeabilidad, con una gran superficie aflorante (unos 2.100 km² en la zona considerada), una gran potencia (no inferior a 2.000 m en

toda la zona) y con una red de drenaje subparalela de dirección norte-sur que presenta una pendiente a lo largo de sus cauces que es unas 20 veces inferior a la que presenta en sus interfluvios.

En estas condiciones el flujo de agua se desarrolla siguiendo el modelo establecido por Toth (1963), dando lugar a zonas de recarga (interfluvios) y descarga (talwegs y zonas bajas de ladera). Las observaciones realizadas en los tan sólo 5 sondeos que instalados captan aguas exclusivamente de estos materiales (fig. 2), ponen de manifiesto dos hechos hidráulicos: 1) la naturaleza surgente del agua en algunos de ellos (zonas de descarga); 2) el bajo rendimiento hidráulico que presentan con caudales específicos que oscilan entre 0,05 y menos de 0,005 l/s por metro de descenso (como corresponde a un medio de baja permeabilidad).

Las características físico-químicas de las aguas del Terciario han sido estudiadas a partir de muestras procedentes de los sondeos citados (tabla 1), obteniendo como resultados comunes: 1) la presencia de un pH elevado; 2) el predominio del ión sodio, junto con la existencia de carbonato disuelto.

No obstante, en cuanto a composición y mineralización, las aguas presentan una gran diversidad tal y como puede observarse en el diagrama P-H-L (fig. 3), donde se aprecia un claro alineamiento de las muestras, lo que sugiere la posibilidad de un proceso de evolución geoquímica común.

La presencia de aguas fuertemente mineralizadas (alrededores de Huesca y, en menor proporción, Bandaliés) es fácilmente explicable por un flujo de circulación lento, lógico en un medio de baja permeabilidad, lo que supone un dilatado período de contacto del agua con los materiales; su composición estaría de acuerdo con el modelo de evolución geoquímica de Chebotarev (1965). Por el contrario, para explicar dentro de un flujo de circulación lento la baja mineralización y el elevado contenido en sodio de las otras muestras se sugiere la existencia de procesos de ablandamiento de aguas.

Un proceso de ablandamiento, compatible con el modelo de flujo de Toth, es el que origina la presencia de capas de baja permeabilidad entre otras de permeabilidad mayor al actuar —según indica Hem (1970)— como membranas semipermeables que dificultan el paso de los iones a su través. La acción de

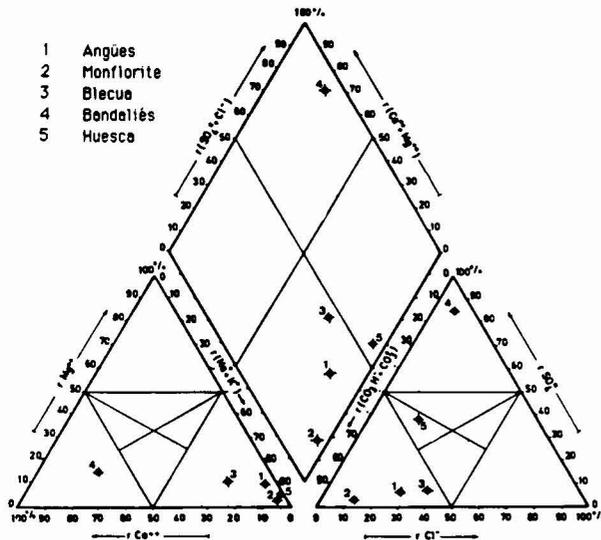


Fig. 3.—Composición química de las aguas del Terciario a partir de los datos de sondeos.

Tabla 1.—Características físico-químicas de las aguas del terciario detrítico

| Núm. | Sondeo | COND | pH | CO ₃ ⁻ | CO ₃ H ⁻ | SO ₄ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ |
|------|------------|--------|-----|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1 | Angües | 760 | 8,7 | 0,3 | 4,2 | 0,4 | 1,8 | 0,3 | 0,7 | 5,9 |
| 2 | Monflorite | 564 | 9,4 | 1,2 | 3,5 | 0,1 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 5,4 |
| 3 | Blecua | 1.021 | 8,3 | 0,0 | 5,4 | 0,7 | 3,9 | 1,8 | 1,2 | 7,4 |
| 4 | Bandaliés | 1.851 | 8,2 | 0,0 | 2,0 | 20,8 | 1,7 | 9,0 | 3,8 | 10,4 |
| 5 | Huesca | 18.000 | 9,0 | — | 10,6 | 104,0 | 145,0 | 2,2 | 126,0 | 244,8 |

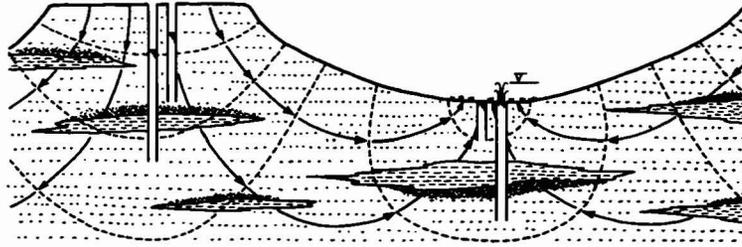


Fig. 4.—Proceso de ablandamiento de aguas en relación al modelo de flujo de Toth. La capa de baja permeabilidad, «arcilla compactada», actúa de filtro, produciendo un fenómeno de ósmosis inversa o ultrafiltración.

estas capas arcillas compactadas (Kharaka *et al.*, 1976) ha sido objeto de numerosos estudios relativos al flujo de solutos a su través, mostrando la facilidad con que el ión sodio las atraviesa (Kharaka *et al.*, 1973; Coplen, T., 1973; Graf, D. L., 1982). La alternancia de lutitas y areniscas existente en el somontano oscense hace posible la existencia del proceso considerado, tal y como puede verse en la figura 4.

Manifestaciones en superficie de los flujos de agua del Terciario

La falta de datos de subsuelo hace que el conocimiento sobre la importancia de los flujos del terciario deba hacerse principalmente mediante su manifestación en superficie, es decir, mediante el control hidrométrico e hidroquímico de ríos, manantiales y zonas húmedas naturales.

La fluencia directa en superficie de aguas procedentes del Terciario aflorante se manifiesta en las ya comentadas zonas húmedas naturales *paules*, que son extensas áreas de rezume que, debido a la baja conductividad hidráulica de los materiales, no llegan a producir puntos de drenaje concentrado (manantiales); en estas zonas la vegetación natural higrófila, junto con la presencia de eflorescencias salinas, son buenos indicadores de la existencia de estos rezumes.

Una gran parte de la fluencia de las aguas del Terciario queda oculta por los materiales de terraza desarrollados en los ríos principales; estas aguas, junto con las de la propia terraza, dan lugar a manantiales, o bien son drenadas por los ríos, que, como ha podido observarse, experimentan un apreciable incremento de caudal al atravesar el somontano, especialmente observable durante el estiaje y en los ríos que al abandonar la sierra tienen caudales más débiles, como son el Riel, Sotón, Isuela y Guatizalema.

Hidrológicamente estas manifestaciones son características de áreas de descarga del modelo de flujo citado; ya observados y estudiados en las cuencas terciarias del Tajo (Sastre, 1978), del Duero (García *et*

al., 1973) y, últimamente, también en la del Ebro (Martínez *et al.*, 1986, y Sánchez *et al.*, 1986).

Por otra parte, las especiales características fisicoquímicas de las aguas de los terrenos terciarios se manifiestan también al aflorar en superficie, ya sea en zonas húmedas, manantiales o ríos que los drenan.

Así, se observa como las aguas de las zonas húmedas, *paules* (tabla 2), tienen un claro predominio del catión sodio; mientras que las muestras tomadas en los manantiales que drenan glaciares topográficamente elevados, *sasos*, y terrazas de ríos en zonas próximas a las Sierras (áreas de recarga para los materiales del Terciario) tienen una composición química más definida con un predominio del catión calcio (tabla 3).

En el diagrama P-H-L (fig. 5) se observa cómo las

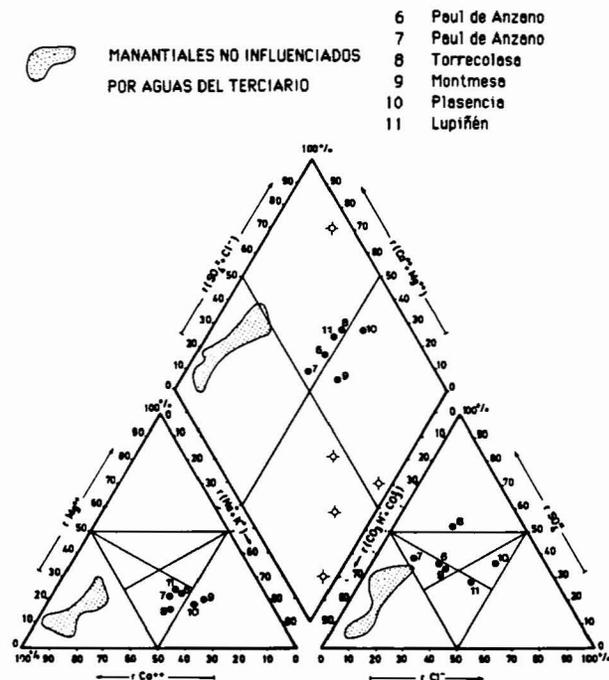


Fig. 5.—Composición química de las aguas de manantiales y «paules».

Tabla 2.—Características físico-químicas de las aguas de las zonas húmedas «paules»

| Núm. | Paules | COND | pH | CO ₃ ²⁻ | CO ₃ H ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ |
|------|-------------|-------|-----|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 6 | De Anzano 1 | 1.596 | 7,8 | 0,0 | 6,3 | 5,5 | 4,0 | 4,8 | 3,6 | 7,8 |
| 7 | De Anzano 2 | 1.079 | 7,6 | 0,0 | 6,1 | 4,8 | 1,6 | 4,4 | 2,4 | 5,2 |
| 8 | Torrecolasa | 1.902 | 7,6 | 0,0 | 5,8 | 10,2 | 5,3 | 7,6 | 3,6 | 9,8 |
| 9 | Montmesa | 1.353 | 8,1 | 0,0 | 5,3 | 5,0 | 4,0 | 5,4 | 3,0 | 6,5 |
| 10 | Plasencia | 2.244 | 8,0 | 0,0 | 4,3 | 8,5 | 10,6 | 6,0 | 4,2 | 12,3 |
| 11 | Lupiñén | 1.693 | 7,4 | 0,0 | 6,3 | 6,1 | 8,2 | 6,2 | 4,6 | 8,5 |

Tabla 3.—Características físico-químicas de aguas de manantiales no relacionadas con los flujos del Terciario

| Núm. | Manantiales | COND | pH | CO ₃ ²⁻ | CO ₃ H ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ |
|------|-------------|------|-----|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 12 | Ola | 607 | 7,3 | 0,0 | 3,6 | 0,8 | 0,5 | 3,8 | 0,8 | 0,6 |
| 13 | Siétamo | 647 | 8,1 | 0,0 | 3,2 | 0,5 | 0,1 | 3,2 | 0,2 | 0,2 |
| 14 | Ibieca | 476 | 7,0 | 0,0 | 3,2 | 0,4 | 0,3 | 3,6 | 0,2 | 0,2 |
| 15 | Loscorrales | 656 | 7,3 | 0,0 | 4,5 | 0,6 | 0,5 | 5,0 | 0,2 | 0,6 |
| 16 | Azlor | 532 | 7,8 | 0,0 | 3,8 | 0,5 | 0,4 | 3,8 | 0,6 | 0,4 |
| 17 | La Pesquera | 879 | 7,4 | 0,0 | 5,4 | 2,4 | 0,2 | 5,2 | 1,8 | 1,2 |
| 18 | Huerrios | 821 | 7,8 | 0,0 | 5,2 | 2,6 | 0,6 | 5,6 | 2,0 | 1,2 |
| 19 | Cillas | 789 | 7,3 | 0,0 | 4,8 | 2,6 | 0,6 | 5,4 | 1,5 | 1,0 |
| 20 | Cuarte | 858 | 7,8 | 0,0 | 4,7 | 3,2 | 0,8 | 5,4 | 3,0 | 1,2 |
| 21 | Calentura | 651 | 7,8 | 0,0 | 3,9 | 2,3 | 0,6 | 4,0 | 2,0 | 0,9 |
| 22 | Pincel | 920 | 7,9 | 0,0 | 4,2 | 2,6 | 1,5 | 5,0 | 1,8 | 1,8 |
| 23 | Arbea | 677 | 7,4 | 0,0 | 5,7 | 0,2 | 0,5 | 3,5 | 1,6 | 0,9 |

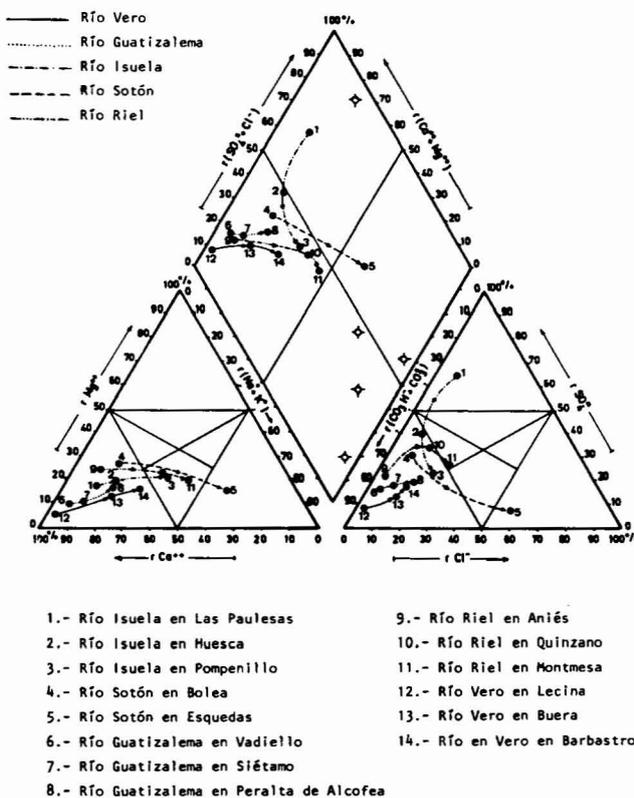


Fig. 6.—Modificaciones hidroquímicas que los ríos prepirenaicos experimentan al atravesar el Somontano.

aguas relacionadas con flujos del terciario se disponen dentro del alineamiento antes señalado y se sitúan ostensiblemente separadas de las aguas de manantiales cuyas aguas no tienen relación con los flujos del Terciario.

También en los ríos que atraviesan el Somontano, en especial los que, al salir de la sierra, no tienen un caudal muy elevado (Sotón, Riel e Isuela), el drenaje de aguas subterráneas procedentes del Terciario detrítico modifica claramente su composición química (tabla 3), tal como queda expresada en el diagrama P-H-L (fig. 6), siendo el incremento del contenido en ion sodio la modificación más destacable.

La fluencia a la superficie de aguas con las características químicas observadas en los materiales del terciario permiten considerarlas como elemento básico en el proceso edáfico que lleva a la generación de los suelos sódicos observados en el Somontano. Los regadíos han acelerado el proceso, especialmente al remover y acumular sales dispersas en los terrenos correspondientes a las áreas de descarga de los flujos considerados.

Conclusiones

Las características litoestratigráficas de los materiales del Terciario, su considerable extensión y potencia, así como los datos hidráulicos aportados por los cinco sondeos que explotan las aguas subterráneas de estos

Tabla 4.—Evolución de las características físico-químicas de las aguas de los ríos al atravesar el Somontano

| Núm. | Río | COND | pH | CO ₃ ²⁻ | CO ₃ H ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ |
|------|--------------------------------|-------|-----|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1 | Isuela, en Paulesas | 994 | 7,7 | 0,0 | 3,5 | 7,15 | 0,8 | 8,0 | 2,0 | 1,0 |
| 2 | Isuela, en Huesca | 743 | 7,9 | 0,0 | 3,9 | 3,1 | 0,5 | 5,0 | 1,6 | 1,1 |
| 3 | Isuela, en Pomenillo | 965 | 7,5 | 0,0 | 5,2 | 1,9 | 1,8 | 4,4 | 2,2 | 3,3 |
| 4 | Sotón, en Bolea | 837 | 8,1 | 0,0 | 4,6 | 2,3 | 0,6 | 4,6 | 1,8 | 0,9 |
| 5 | Sotón, en Esquedas | 2.129 | 8,0 | 0,0 | 5,8 | 0,7 | 10,4 | 4,6 | 2,6 | 9,6 |
| 6 | Guatizalema, en Vadiello | 323 | 8,2 | 0,0 | 2,7 | 0,5 | 0,2 | 2,8 | 0,4 | 0,1 |
| 7 | Guatizalema, en Siétamo | 396 | 8,1 | 0,0 | 3,2 | 0,7 | 0,3 | 3,5 | 0,4 | 0,4 |
| 8 | Guatizalema, en Peralta | 509 | 8,0 | 0,0 | 3,2 | 1,0 | 0,7 | 3,8 | 1,1 | 0,8 |
| 9 | Riel, en Aniés | 420 | 7,9 | 0,0 | 3,7 | 1,0 | 0,2 | 2,7 | 1,6 | 0,6 |
| 10 | Riel, en Quinzano | 438 | 8,6 | 0,4 | 2,5 | 1,7 | 0,5 | 2,2 | 1,8 | 0,9 |
| 11 | Riel, en Montmesa | 807 | 7,6 | 0,0 | 3,8 | 1,9 | 1,9 | 4,8 | 1,6 | 1,6 |
| 12 | Vero, en Lecina | 453 | 7,5 | 0,0 | 4,5 | 0,4 | 0,2 | 4,5 | 0,3 | 0,1 |
| 13 | Vero, en Buera | 404 | 8,0 | 0,0 | 3,2 | 0,5 | 0,5 | 3,1 | 0,7 | 0,7 |
| 14 | Vero, en Barbastro | 442 | 7,7 | 0,0 | 2,9 | 1,0 | 0,6 | 2,6 | 0,8 | 1,3 |

materiales, permiten considerar como modelo de flujo de agua el indicado por Hubbert y Toth.

Las «áreas de descarga» de estos modelos tendrían su manifestación tanto en la presencia de zonas húmedas permanentes, *paules*, como en el notable incremento de caudal y cambio de composición química que algunos de los ríos prepirenaicos (Sotón, Riel, Isuela...) experimentan al atravesar los materiales del terciario.

Hidroquímicamente las aguas subterráneas de estos terrenos terciarios se caracterizan por su elevado pH (más de 8,5), por el predominio del ion sodio y por la presencia de carbonato disuelto. Estas singularidades hidroquímicas se manifiestan tanto en las zonas húmedas, *paules*, como en los ríos que al atravesar el somontano drenan aguas del Terciario, ya sea directamente o a través de las terrazas y aluviales.

La caracterización físico-químicas más destacable de la presencia de flujos de agua del Terciario corresponde al notable incremento del contenido en ion sodio y la elevación del pH.

La fluencia a los terrenos situados en «áreas de descarga» de aguas con las características químicas observadas en los materiales del terciario permite considerarla como elemento básico en el proceso edáfico que lleva a la generación de los suelos sódicos observados en el Somontano. Los regadíos, debido a sus aportes hídricos, han aumentado la superficie de las áreas de descarga, removilizado y acumulado las sales dispersas por los terrenos que han sido aportadas por los flujos de agua del terciario, dando lugar a una mayor extensión de los suelos afectados por sodicidad y/o salinidad.

Referencias

Alberto, F. J.; Machín, J. A.; Cuchi, J. A. y Poza, R. (1979). *Memoria y guía de las excursiones científicas de la VIII Reunión Nacional de Suelos*. Zaragoza, 109.

Boixadera, J. y Villar, J. M. (1987). Zona regable de los canales de Urgell: procesos de sodificación. *VIII Conferencia sobre Hidrología Gral. y Aplicada*, Zaragoza, 423-433.

Bernaldez, F. G.; Herrera, P.; Levassor, C.; Peco, B. y Sastre, A. (1987). Las aguas subterráneas en el paisaje. *Investigación y Ciencia*, 127, 8-17.

Chebotarev, I. I. (1965). Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 8, 137-170.

Coplen, T. B. (1973). Ultrafiltration by a compacted clay membrane-I. Oxygen and hydrogen isotopic fractionation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 2.295-2.310.

Cuchi, J. A. (1986). *Aportaciones al conocimiento de los suelos salinos de Aragón*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 307.

García, A.; Gallardo, J. F.; Martínez, R.; Sánchez, M. y Ledesma, M. (1973). Contribución al estudio de los suelos salinos de la depresión del Duero. *Anales de Edafol. y Agrobiol.*, 31, 2, 991-1.005.

Graf, D. L. (1982). Chemical osmosis, reverse chemical osmosis, and origin of subsurface brines. *Geochem. et Cosmochim. Acta*, 46, 1.431-1.448.

Herrera, P.; Sastre, I. y Sastre, A. (1983). Aspectos ambientales asociados a la descarga de agua subterránea sódico/salina en los manantiales arcóscicos de la cuenca del Alberche. *Actas III Simp. de Hidrogeología*, Madrid, 555-564.

Herrero, J. I. (1982). *Salinidad del suelo en salobres de Monegros y Somontano Oscense como condicionante de la vegetación*. Inst. Fernando el Catól., Zaragoza, 50.

Hubbert, M. K. (1940). The theory of groundwater motion. *J. Geol.*, 48, 785-944.

Kharaka, Y. K. y Berry, A. F. (1973). Simultaneous flow water and solutes through geological membranes-I. Experimental investigation. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 37, 2.577-2.603.

Kharaka, Y. K. y Smalley, C. (1976). Flow of Water and Solutes through Compacted Clays. *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull.*, 60, 973-980.

Leskiw, L. A. (1971). *Relation ship between soils and groundwater in field mapping near Vegreville, Alberta*. Thesis University of Alberta. Depart. of Soil Science.

Martínez, F. J. y Sánchez, J. A. (1986). Hidrogeología del valle del Ebro. *Cong. Bot. homenaje a Fco. Loscos*. Alcañiz (en prensa).

Porta, J.; Herrero, J. y Latorre, S. (1986). Evaluación de sue-

- los para riego: criterios y problemática en los regadíos de Huesca. In: *Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca* (J. Herrero, edit.). Diputación General de Aragón, Zaragoza, 119-146.
- Quirantes, J. (1969). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza.
- Quirantes, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros*. Inst. Fernando el Católico, Zaragoza, 200.
- Puigdefábregas, C. (1975). *La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca*. Monografía del Inst. de Estud. Pirenaicos, 109, 188.
- Riba, O.; Reguant, S. y Villena, J. (1984). Ensayo estratigráfico y evolutivo de la cuenca terciaria del Ebro. In: *Libro Jubilar de homenaje a D. J. M. Ríos, Geología de España*, tomo II, 131-159.
- Sánchez, J. A. y Martínez, F. J. (1986). Las aguas subterráneas y los humedales de la Hoya de Huesca y el Somontano de Barbastro. *Cong. Bot. homenaje a Fco. Loscos*. Alcañiz (en prensa).
- Sastre, A. (1978). *Hidrogeología regional de la cuenca terciaria del río Alberche*. Tesis Doctoral Inst. Lucas Mallada C.S.I.C., Madrid (inérita).
- Toth, J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Geophys. Research*, 68, 4.795-4.811.
- Toth, J. (1971). Groundwater discharge: a common generator of diverse geologic and morfologic phenomena. *Bull. Int. Assoc. of Scientific Hydrology*, 17, 7-24.
- Toth, J. (1980). Cross-formational gravity-flow of groundwater: A mechanism of transport and accumulation of petroleum (the generalized hydraulic theory of petroleum migration). *Am. Assoc. Petroleum Geologist, Studies in Geology*, 10, 121-167.

Recibido el 16 de septiembre de 1988
Aceptado el 6 de noviembre de 1988