

Consideraciones sobre la hidrogeología y la hidrogeoquímica de la Dorsal Calcárea de la región de Tetuán (Rif septentrional, Marruecos)

Considerations on the hydrogeology and the hydrogeochemistry of the Calcareous Dorsal of the region of Tetouan (northern Rif - Morocco)

K. Aluni ⁽¹⁾, K. El Morabiti ⁽¹⁾, A. Pulido-Bosch ⁽²⁾, Y. El Kharim ⁽¹⁾ y M. Benmakhlouf ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad Abdelmalek Essaadi, B.P. 2121 Tetuán - Marruecos. alunikhadija@yahoo.fr

⁽²⁾ Departamento de Hidrogeología y Q. A. Universidad de Almería, 04120, Almería

ABSTRACT

Limestone and dolomite, belonging to the Calcareous Dorsal, constitute very important karstic aquifers in the region of Tetouan (North of Morocco). The main objective of this study is to characterize the hydrogeology and the hydrochemistry of the karstic springs related to these terrains. Springs appear along the geologic contacts of the carbonated rocks with the neighbouring materials, sometimes related to faults. Spring waters are mainly bicarbonate calcium and magnesium types

Key words: karstic aquifers, Calcareous Dorsal, springs, calcium and magnesium bicarbonate types

Geogaceta, 44 (2008), 155-158
ISSN: 0213683X

Introducción

Las formaciones carbonatadas que constituyen la cadena del Rif ocupan una notable extensión. Constituyen, a menudo, acuíferos de naturaleza kárstica. Hasta ahora, los recursos de estos acuíferos, principalmente alimentados por las precipitaciones, se utilizan para el suministro de agua potable a los grandes centros urbanos y a la agricultura; también abastecen numerosos cursos de agua. Las reservas de estos acuíferos constituyen un potencial hídrico susceptible de responder a algunas necesidades locales y regionales. La correcta utilización de estas aguas subterráneas permitirá el desarrollo económico de la región, que tiene previsto un notable aumento de la demanda de agua para los próximos años.

El objetivo principal del presente estudio es caracterizar los acuíferos kársticos situados en torno a la ciudad de Tetuán, desde el punto de vista hidrogeológico e hidrogeoquímico.

Marco geográfico y geológico

La región estudiada se sitúa al Norte de Marruecos, en el Rif septentrional, y forma parte de la provincia de Tetuán. Sus coordenadas geográficas son: 35° 30' - 35° 39' de latitud Norte, y 5° 30' - 5° 15'

de longitud Oeste. Los materiales carbonatados en este sector cubren 323 km². Es una zona de clima mediterráneo caracterizado por dos períodos bien diferenciados, uno húmedo y fresco entre octubre y abril; y otro seco y caluroso que

comienza en mayo y se prolonga hasta el final de septiembre. La precipitación media del período 1977-2007 en la estación de Tetuán es de 609 mm, por lo que la media del área, situada a mayor altitud, deberá ser superior. La precipitación

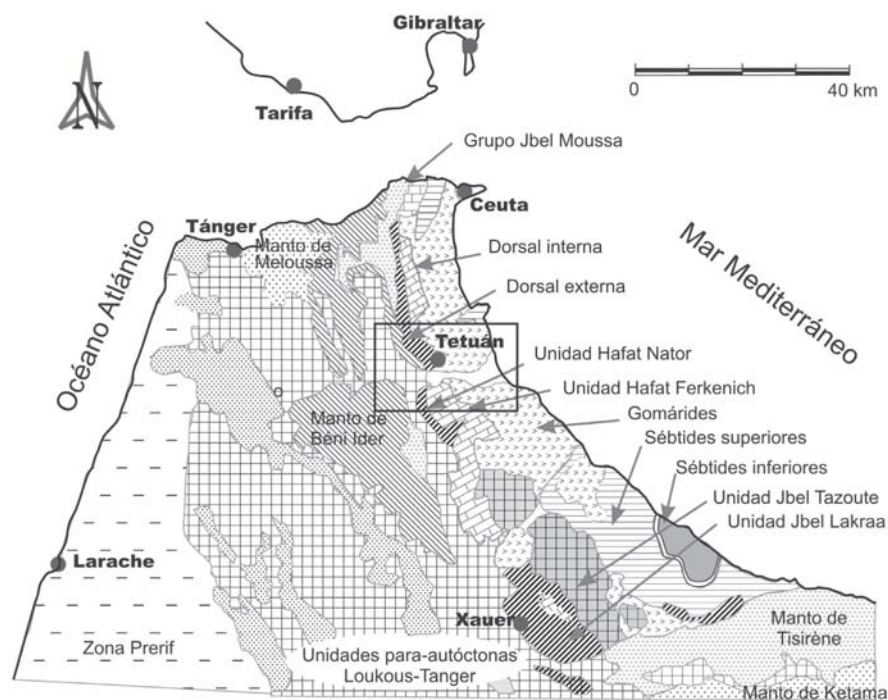
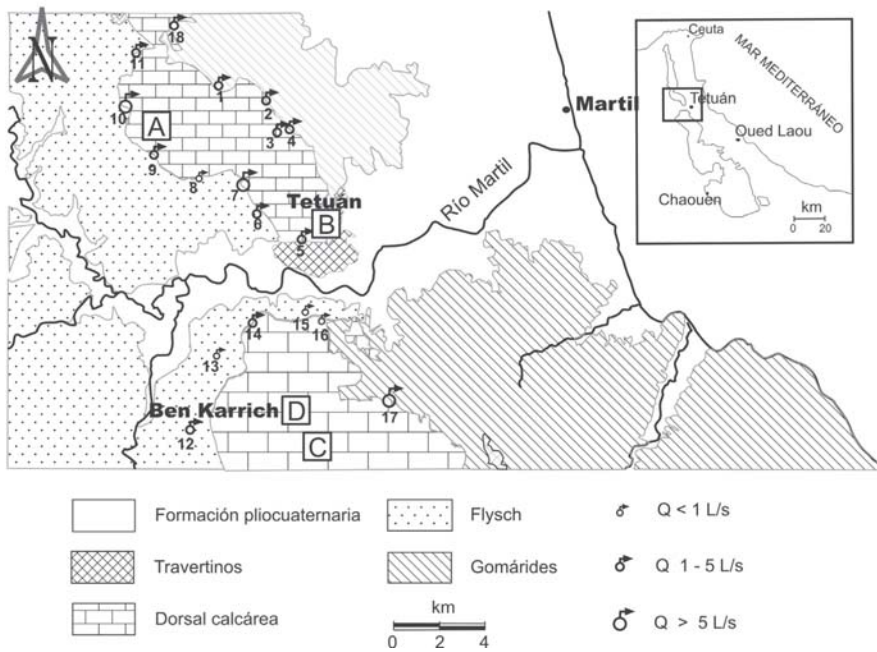


Fig. 1.- Marco geológico regional y situación geográfica del sector de estudio.

Fig. 1.- Geological regional framework and geographical situation of the study area.



en forma de lluvias torrenciales. Presentan notable variabilidad temporal y espacial en función de parámetros regionales y/o locales como la velocidad del viento o la topografía. Dentro o sobre los bordes de los macizos carbonatados surgen manantiales de bajo caudal. En efecto, se han inventariado una decena de puntos de agua que se sitúan al Norte y al Sur de la ciudad. Se han diferenciado cuatro tipos de surgencias básicas en función de su forma de aflorar. Estos son:

- Contacto Flysch-Dorsal: el ejemplo más típico es el manantial de Samsa. Se sitúa al pie de un acantilado, bajo los materiales caídos que recubren las dolomías con estromatolitos de edad Carniense-Noriense. Se trata de un manantial con caudal medio de 7 L/s.
- Contacto Dorsal-travertinos: el más representativo es el manantial de Sidi Talha situado al Sur de la unidad de Jbel Dersa dentro de los travertinos cuaternarios sobre los que se construyó la ciudad de Tetuán. Se trata de un manantial que surge a favor de una falla.
- Contacto Dorsal-Predorsal: en este contacto surge el manantial de Bouanan entre las unidades de la Dorsal interna y la predorsal, en las

máxima se registra entre Octubre y Mayo, cuando cae cerca del 92 % de la pluviosidad total.

Desde el punto de vista geológico, el sector estudiado se sitúa en la parte occidental de la cadena Rifeña (Fig. 1). Clásicamente, esta cadena se subdivide en tres zonas estructurales (Suter, 1980; Estaca, 1994): Zona Interna, Zona de los Mantos de Flysch, y Zona Externa. En el sector en cuestión, la primera está representada por la Dorsal Calcárea, y los mantos de Koudiat Tiziane y de Beni Hozmar que pertenecen a los Gomárides. A continuación, los Mantos de Flysch están representados por las unidades de Beni Ider y el Predorsal. Por último, la Zona Externa se caracteriza por la unidad de Tánger. La Dorsal Calcárea se subdivide en dos: la Dorsal Calcárea externa, representada al Norte de Tetuán (Leikine, 1969) por la unidad de Jbel Dersa y al Sur por el manto de Hafa Nator; del Este hacia el Oeste incluye la unidad de Dar EL Ghazi y la unidad de Saaden. La Dorsal interna está representada al sur de Tetuán por la unidad de El Babat y de Hafa Ferkenich (Griffon, 1966; Nold et al., 1981). En la figura 2 se muestran las series tipo respectivas.

que han sido muestreadas. Algunas de éstas dan lugar a cursos superficiales (Zerka -nº 17-, Boussemlal...). Esta región recibe abundantes precipitaciones, a menudo

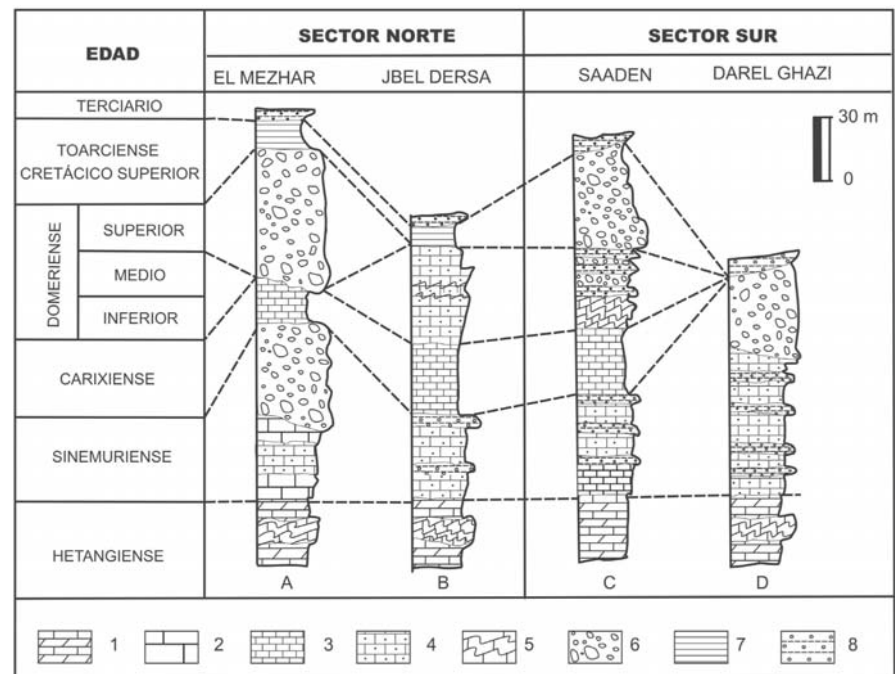


Fig. 3.- Series estratigráficas de EL Mezhar (A), Jbel Dersa (B), Saaden (C) y Dar Ghazi (D). 1: calizas y dolomías masivas; 2: calizas nodulosas y brechoides; 3: calizas micríticas; 4: calizas con sílex; 5: facies con slumps; 6: megabrechas; 7: series condensadas; 8: conglomerados y margas. Adaptado de Lallam et al., (1997).

Fig. 3.- Stratigraphical series of EL Mezhar (A), Jbel Dersa (B), Saaden (C) and Dar Ghazi (D). 1: limestone and dolomite; 2: nodular and brechoid limestone; 3: micrite limestone; 4: limestone with silex; 5: slumps; 6: megabreccias; 7: condensate series; 8: conglomerate and marl. Modified from Lallam et al., (1997).

Contexto hidrogeológico

En la figura 3 se muestra el esquema hidrogeológico del área estudiada, con la situación de las principales surgencias

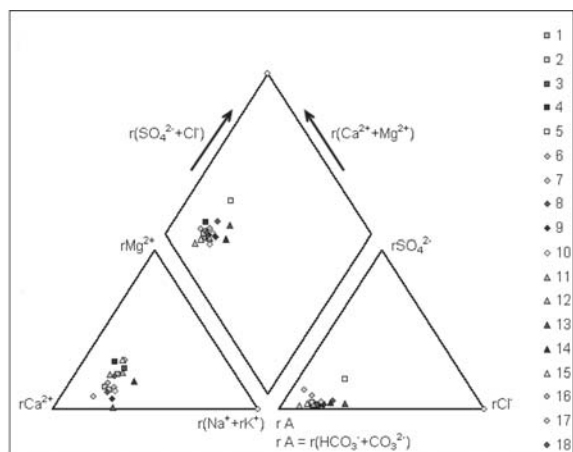


Fig. 4.- Diagrama de Piper de las aguas de los manantiales de la zona de estudio

Fig. 4.- Piper Diagram of the springs in the study zone

calizas blancas masivas del Hettangiense- Sinemuriense. Es también un manantial de falla.

- Contacto Dorsal-Gomárides: el ejemplo tipo es el manantial Zerka, que se sitúa aproximadamente a 8 km al SE de la ciudad de Tetuán. Surge a favor del contacto entre las formaciones carbonatadas de la unidad de la Dorsal interna y las formaciones paleozoicas gomárides. Se trata también de un manantial relacionado con una falla.

Caracterización hidrogeoquímica

Se realizó una campaña de muestreo durante el mes de noviembre 2007; se muestrearon 18 puntos de agua distribuidos en los dos macizos carbonatados situados a una y otra parte de la ciudad de Tetuán. La conductividad eléctrica se midió in situ al mismo tiempo que la temperatura y el pH. Los análisis químicos se efectuaron en el Laboratorio de la Agencia de la Cuenca Hidráulica Loukkos en Tetuán; se determinó calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos (Tabla I).

La representación sobre el diagrama de Piper de las aguas analizadas (Fig. 4) pone de manifiesto que la facies predominante de todas las muestras analizadas es bicarbonata cálcica y cálcico magnésica, con una muestra de facies magnésica.

Con estos datos podemos inferir la existencia de tres tipos de «circulaciones» o tránsitos: una circulación puramente bicarbonata calcica, de escaso tiempo de contacto agua roca; otra circulación influida por las margas y conglomerados donde se puede encontrar valores elevados de cloruros. La tercera cir-

culación corresponde a un agua que presenta el mayor grado de mineralización del conjunto de las aguas estudiadas. Su contenido en sulfatos supera 10 veces los valores medios de aguas que circularon exclusivamente a través de rocas carbonatadas y 2 ó 3 veces el resto de los iones (Cl⁻, Ca²⁺ y Mg²⁺). La facies de estas aguas es bicarbonatada- sulfatada magnésico-cálcica, su conductividad eléctrica es más elevada que el resto de las surgencias y, finalmente, su temperatura es más elevada, variando entre 19.9 y 23.6 °C.

Esta particularidad hidrogeoquímica con respecto al resto de las aguas estudiadas está probablemente vinculada a una circulación más profunda de tipo regional, con una interacción más intensa con materiales triásicos evaporíticos profun-

dos e indicando una determinada anomalía térmica positiva. En efecto, la gran masa travertínica sobre la que se ubica la ciudad de Tetuán, la existencia de un graben al Sur de la ciudad, la actividad sísmica actual del accidente de Tetuán, y la anomalía gravimétrica de la zona estudiada pueden apoyar tal hipótesis (Aluni, 2004).

Con el objetivo de encontrar las relaciones posibles entre los distintos parámetros determinados en este estudio, se realizó un análisis *clúster* o de enjambres para todas las muestras tomadas. En la figura 5 se muestra el dendrograma de variables; bicarbonatos, conductividad y, en menor medida, calcio quedan muy alejados del resto, en donde se muestra que cloruros y sodio se asocian; magnesio, nitratos, potasio y, curiosamente, pH for-

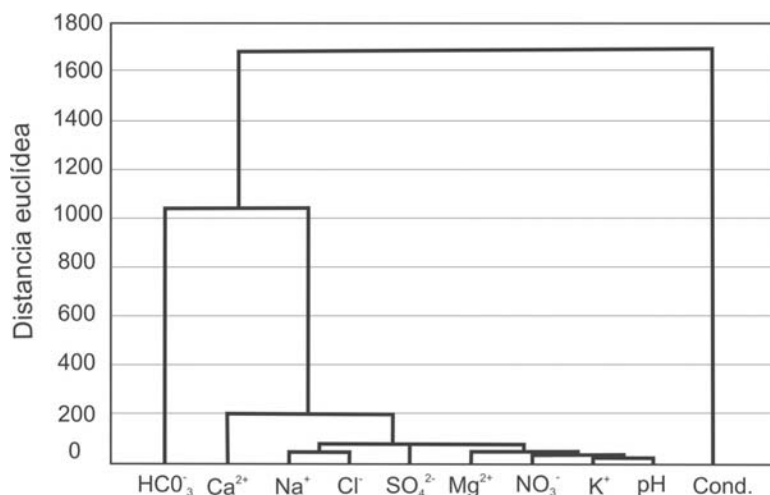


Fig. 5.- Dendrograma de variables

Fig. 5.- Dendrogram of variables

Nº	CE (µS/cm)	pH	T(°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
1	791	7,28	16,5	402,6	9,9	39,0	10,9	37	2	90,3	20,9
2	833	7,51	17,8	378,2	17,2	33,3	8,0	30	3	91,5	15,6
3	547	7,45	16,4	280,6	7,8	31,6	6,8	27	2	65,0	19,3
4	650	7,38	16,6	323,3	10,5	42,5	11,5	24	2	74,7	24,9
5	1184	7,68	20	353,8	87,7	61,0	31,5	48	2	140,1	15,3
6	943	7,68	19,4	439,2	12,5	63,5	6,6	41	3	92,5	35,5
7	798	7,74	16,9	323,3	18,3	31,9	22,1	34	2	77,3	14,7
8	695	7,61	17,2	317,2	19,8	60,3	1,9	32	2	91,1	12,0
9	704	7,45	19	323,3	10,2	48,6	8,0	39	1	91,0	5,7
10	659	7,31	16,2	317,2	7,5	31,9	10,1	34	1	76,0	9,5
11	574	7,42	16	298,9	8,8	34,9	4,3	30	1	71,3	18,5
12	671	7,78	18,3	366	7,7	20,9	2,0	26	1	82,1	17,7
13	521	7,79	17,9	213,5	8,1	40,1	22,9	35	1	75,9	0,8
14	578	7,65	17,6	256,2	11,8	44,7	4,1	40	2	62,6	13,0
15	649	7,55	16,7	335,5	10,8	26,9	3,0	28	2	67,7	25,2
16	579	7,98	16,5	286,7	23,5	22,7	3,9	25	1	81,1	12,6
17	711	7,84	16,4	329,4	39,4	13,5	4,7	23	1	96,1	6,3
18	389	7,9	15,2	213,5	6,8	22,0	8,1	21	2	56,2	12,0

Tabla I.- Resultados analíticos de las muestras de agua. (CE: Conductividad Eléctrica)

Table I.- Analytical results of the analyzed water samples. (CE: Electrical Conductivity)

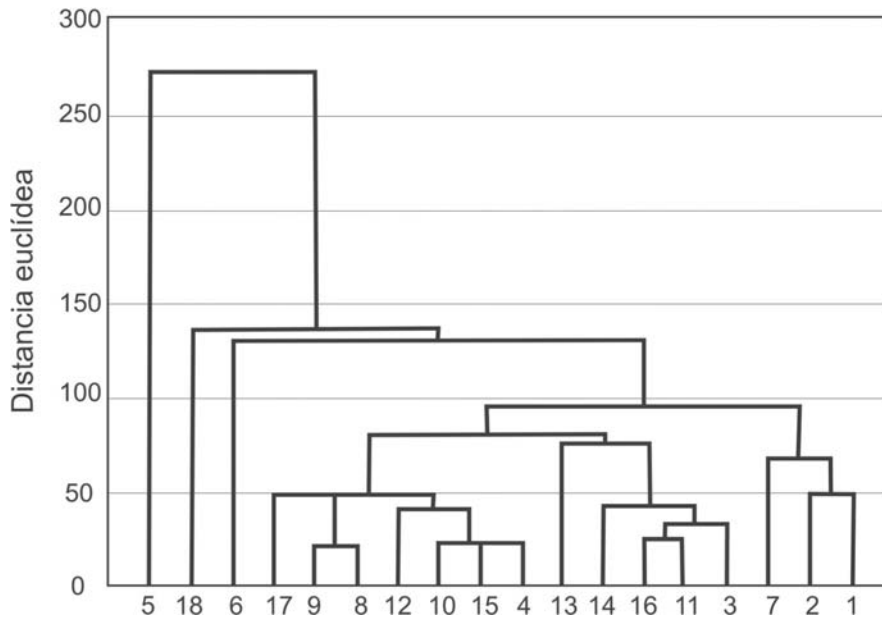


Fig. 6.- Dendrograma de casos

Fig. 6.- Dendrogram of cases

man un subgrupo, mientras que los sulfatos van más por libre, aunque relacionados con los dos grupos citados a una distancia euclídea relativamente mayor.

En la figura 6 se incluye el dendrograma de los casos en el que se identifican tres familias a una distancia euclídea inferior a 100. La primera incluye las surgencias 9, 8, 10, 15, 4 y, a una distancia algo mayor, 12 y 17; la segunda familia agrupa los manantiales 16, 11 y, a distancia creciente, 3, 14 y 13. La tercera familia incluye las surgencias 2, 1 y 7. Las dos primeras familias se unen a una distancia algo superior a 80, incorporándose la tercera a muy cerca de 100. Las surgencias 5, 18 y 6 son las menos afines; la primera de ellas tiene una anomalía tér-

mica positiva y un contenido salino superior al resto.

Todas las aguas analizadas son, desde el punto de vista hidrogeoquímico, potables, de acuerdo con las normas internacionales de potabilidad (Tabla I), sin que en ningún caso los nitratos superen 25 mg/L.

Conclusiones

En el entorno de Tetuán existen dos macizos kársticos de gran potencialidad acuífera separados por el río Martil. Se constata que muchos de los manantiales que drenan estos macizos guardan un notable control tectónico (fallas).

Los datos hidrogeoquímicos y su tratamiento han permitido caracterizar las

aguas, poniéndose de manifiesto que predominan las de facies bicarbonatada cálcica y cálcico- magnésica. En principio, se pueden caracterizar los tres tipos de «circulaciones» o tránsitos deducidas de las características físicas y químicas de las aguas de las surgencias: una circulación rápida de aguas de facies bicarbonatada cálcica; otra circulación influida por margas y terrenos de baja permeabilidad con alto contenido en cloruros; y la tercera, más «regional», con interacción más intensa con materiales triásicos evaporíticos y con una anomalía térmica positiva y contenido salino superior a los demás manantiales del área.

Referencias

- Aluni, K. (2004). *Contribution à la connaissance hydrogéologique des formations carbonatées de la région de Tétouan*. Mémoire du DESA, Univ. de Tetuán, 67 p.
- Griffon, J.C. (1966). *Notes et mémoires. Service de Géologie. Maroc*, 184, 149-223.
- Lallam, S., Sahnoun, E., El Hatimi, N., Hervouet, Y. y De Leon, J.T. (1997). *Geodynamics Geomaterials Sedimentology*, 324, 923-930.
- Leikine, M. (1969). *Notes et mémoires. Service de Géologie. Maroc*, 194, 7-50.
- Nold, A., Uttinger, J. y Wildi, W. (1981). *Notes et mémoires. Service de Géologie. Maroc*, 300, 233p.
- Pique, A. (1994). *Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale*. Edition. Pumag, Rabat, 284p.
- Suter, G. (1980). *Notes et mémoires. Service de Géologie. Maroc*, 300, 233p.