

Análisis multivariante de elementos traza y mayoritarios en aguas subterráneas del acuífero de Campo Arañuelo y en las manifestaciones salobres asociadas a los granitos (Fosa occidental del Tajo)

Multivariate analysis of trace and majoritary elements in groundwater from Campo Arañuelo aquifer and the brackish manifestations associated to granites (western Tajo Basin)

M. Espa Felip, A. Andrés Huertas, I. Muñoz Pascual y R. Vicente Lapuente

Dpto. Geología. Universidad de Alcalá. Crta. Nal. II, Km 33,600 Alcalá de Henares, 28871 Madrid. e-mail: rosa.vicente@alcala.es

ABSTRACT

In this work, we have performed a multivariate analysis of trace elements and majoritary ions from water samples recollected in eighteen wells and four springs of Campo Arañuelo aquifer (western Tajo Basin) and its granitic boundary. The purpose of this statistical approach was to establish a possible relation between brackish groundwater that could be coming from the granite and the groundwater of the tertiary aquifer, taking into account their trace elements clustering, in order to distinguish the waters that could be the result of a mixing between brackish groundwater and less mineralized groundwater. In this sense, the result of the factorial analysis shows a correlation among Sr^{2+} , Li^+ , Rb^+ , Cs^+ and V with Cl^- , Na^+ and Ca^{2+} . We could conclude that these trace elements indicate a sign of water probably originating in granite, in the same sense that majoritary ions shows. Thus, these trace elements could be used as an aim for discriminating the origin of groundwaters.

Key words: multivariate analysis, trace elements, brackish groundwater, Campo Arañuelo.

Geogaceta, 24 (1998), 123-126
ISSN: 0213683X

Introducción

Desde que en la década de los 70 empezaron a estudiarse las rocas graníticas como posible emplazamiento en profundidad de residuos radioactivos, han sido numerosos los plutones estudiados en distintas regiones cristalinas del mundo (escudos precámbricos canadiense, escandinavo y ucraniano) en los que se han encontrado manifestaciones de aguas subterráneas profundas, bien salobres, con una mineralización de TSD comprendida entre 10^4 y 10^5 mg/l, bien salmueras (TSD $>10^5$ mg/l), que poseen en común un carácter químico Cl-Ca-Na o Cl-Na-Ca (Frape *et al.*, 1984; Kamineni, 1987; Lahermo y Lampen, 1987; Vovk, 1987; Nordstrom *et al.*, 1989a, 1989b).

En España no existen en la bibliografía referencias de aguas subterráneas salobres en rocas graníticas, sin embargo, sí se han referenciado aguas subterráneas salobres en las zonas de contacto entre los macizos graníticos y los Terciarios adyacentes, en concreto en el contacto entre las estribaciones de la parte central del Sistema

Central y los sedimentos de la Cuenca de Madrid (Sastre, 1978; Martín-Loeches, 1995), así como en el contacto entre la Sierra de Gredos y el extremo occidental de la Fosa del Tajo, en la depresión conocida como Campo Arañuelo (Vicente, 1986; Muñoz, 1997). La mineralización de estas aguas está comprendida entre 1900 y 13000 $\mu S/cm$, tanto más mineralizadas cuanto más nos alejamos hacia el extremo noroccidental de la Fosa del Tajo. Se trata de aguas o cloruradas sódicas o cloruradas sódico cálcicas.

En Campo Arañuelo, donde algunos de los autores de este artículo llevan trabajando varios años, se han localizado un total de cinco enclaves salobres correspondientes a tres manantiales que afloran directamente en los granitos, y tres pozos, dos de ellos muy próximos, que cortaron al granito, con salinidades comprendidas entre 3000 y 13000 $\mu S/cm$ y composición clorurada sódica cálcica en los más mineralizados, y clorurada sódica en los menos salinos. Las características de la depresión de Campo Arañuelo, 2000 Km² de superficie, 650 m de profundidad máxima (J.E.N., 1980) y la

composición de los sedimentos: arcosas con un alto contenido en arcilla, no justifican que la salinidad alcanzada por estas aguas corresponda a su recorrido en el acuífero terciario (Vicente, 1986). Tales consideraciones llevaron a plantear la hipótesis de que estas aguas procedieran de granitos en su manifestación más extrema y los términos de menor mineralización tuvieran una mezcla con las aguas del Terciario o con agua de recarga, bien precipitaciones, bien agua de corto recorrido en los mismos granitos (Jones *et al.*, 1990).

Posteriormente, la constatación de la existencia de agua del acuífero detrítico con composición anómala con respecto a su posición en el sistema de flujo, agua clorurada sódica y/o muy mineralizada (1200 $\mu S/cm$) en áreas de recarga, llevó a considerar la posibilidad de mezcla de aguas salinas supuestamente procedentes de los granitos y aguas del acuífero Terciario en distintas zonas del mismo (Andrés *et al.*, 1997; Muñoz, 1997), posibilidad acreditada por el segundo de los autores citados mediante simulación de la mezcla con el código estequiométrico de ecuaciones de balance y

Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Cl 0.215	pH 0.158	Zr 0.284	Pb 0.269
Cr 0.214	As 0.119	Ta 0.273	Fe 0.204
V 0.200	cond. 0.117	Hf 0.263	In 0.201
Br 0.205	Li 0.114	Nb 0.242	Ni 0.255
Mn 0.204	Sr 0.111	Ge 0.222	Zn 0.247
Rb 0.203	Cu 0.111	W 0.210	SO ₄ 0.231
Na 0.202	Br 0.111	Th 0.217	Sn 0.213
Sr 0.202	Ga 0.110	Ca 0.192	HCO ₃ - 0.194
Se 0.199	Ca 0.110	Mo 0.180	Th 0.150
Ag 0.192	Cl 0.105	Rb 0.176	Zr 0.152
Ba 0.192	V 0.101	Ga 0.156	I 0.151
Ca 0.187	Ns 0.089	SO ₄ 0.154	Ag 0.148
K 0.185	Cr 0.088	Al 0.147	Ga 0.152
Cu 0.179	Rb 0.085	Sn 0.147	Hf 0.150
Li 0.174	Se 0.084	pH 0.137	Nb 0.113
cond. 0.168	Mo 0.079	HCO ₃ - 0.123	Cd 0.110
Sb 0.160	Rr 0.071	Ti 0.122	Mo 0.109
Rb 0.153	Ag 0.066	cond. 0.109	Al 0.102
Bi 0.144	I 0.068	Cu 0.091	Na 0.092
Hf 0.139	Sb 0.062	La 0.089	Ce 0.070
K 0.135	Mg 0.061	Ce 0.085	K 0.072
Eu 0.127	Ta 0.059	Pd 0.081	La 0.071
Fe 0.125	W 0.057	Pv 0.059	W 0.062
Co 0.119	U 0.056	Mn 0.052	Pd 0.061
Pb 0.116	Ti 0.052	Li 0.051	Sb 0.052
Lu 0.112	Ca 0.047	As 0.049	Cl 0.025
I 0.111	Ba 0.046	Nd 0.046	Pr 0.023
Ce 0.100	K 0.045	Cr 0.043	Ca 0.015
Dy 0.105	Nb 0.042	Cr 0.042	Cr 0.013
NiO ₃ 0.104	SiO ₂ 0.035	Sm 0.039	Ta 0.010
As 0.103	Bi 0.035	Na 0.035	NO ₃ 0.010
Tm 0.102	Zr 0.022	Ho 0.033	Nd 0.007
Ti 0.097	Hf 0.020	Gd 0.026	Se 0.006
Mg 0.095	In 0.014	Dy 0.024	V 0.004
Er 0.090	HCO ₃ - 0.007	Y 0.018	Cl -0.000
Tb 0.090	Se 0.004	Cl 0.016	Mn -0.014
Zn 0.088	SO ₄ 0.003	Er 0.006	Sm -0.010
Ho 0.088	Na 0.003	Ca 0.006	Gd -0.010
Pr 0.080	NO ₃ -0.007	Tm 0.003	Mg -0.022
Sm 0.065	Pb -0.006	Tb 0.001	pH -0.024
Nd 0.065	Pd -0.003	Eu 0.000	Ho -0.027
Y 0.064	Zn -0.009	V -0.001	U -0.031
La 0.063	Sn -0.010	Co -0.002	Tb -0.035
Zn 0.059	Fe -0.015	SiO ₂ -0.003	Er -0.040
Th 0.058	Ni -0.016	Yb -0.010	Br -0.041
Fe 0.065	Cd -0.027	Br -0.013	Cu -0.042
Ga 0.057	Th -0.041	Br -0.018	Tm -0.059
Ti 0.046	Tb -0.046	Se -0.021	Lu -0.062
Hf 0.020	Ga -0.063	K -0.022	Y -0.067
Mo 0.027	Al -0.097	Ti -0.041	Dy -0.071
Cd 0.023	Se 0.105	Lu 0.042	Tb -0.071
SO ₄ 0.018	Li -0.187	Br -0.044	Ga -0.083
Al 0.015	Ti -0.105	Ra -0.049	Se -0.083
Ga 0.015	Eu -0.203	Mg -0.109	Ti -0.085
Ca 0.010	Ce -0.203	Ag -0.112	Ti -0.086
Zr 0.000	La -0.208	Sb -0.115	Eu -0.080
U -0.003	Tm -0.221	I -0.116	As -0.089
pH -0.006	Dy -0.221	U -0.129	Sr -0.124
Tb -0.007	Fe -0.215	SiO ₂ -0.132	Rb -0.126
Hf -0.009	Pv -0.227	Se 0.135	Rb -0.126
Sn -0.012	Er -0.230	NO ₃ -0.138	cond. -0.139
Pd -0.024	Y 0.230	In -0.140	Co -0.149
W -0.045	Ho -0.231	Pu -0.149	Ba -0.149
HCO ₃ - 0.007	Gd -0.231	Ni -0.150	Ca -0.174
SiO ₂ -0.092	Nd -0.231	Zn -0.162	SiO ₂ -0.188
Se -0.131	Sm -0.232	Cd -0.180	Li -0.183

Tabla 1.- Pesos de las componentes principales.

Table 1.- Weights of principal components

transfancia de masa NETPATH (Plummer et al., 1992).

Tratando de aportar nuevos datos a esta hipótesis, en este artículo se ha procedido a estudiar los elementos traza de las aguas con alta mineralización, los de aquéllas que podían presentar mezcla con agua mineralizada así como de otras del entorno próximo.

Toma y análisis de muestras

Las muestras de agua subterránea se tomaron en 18 pozos y 4 manantiales. Las destinadas a análisis de elementos minoritarios y trazas, se acidificaron con HNO₃. Todas ellas se conservaron a menos de 4°C y se analizaron lo más rápidamente posible.

El pH y la conductividad se midieron «in situ» con una sonda Pt100 y una célula de medida de conductividad conectadas a un multímetro de campo Solomat 520c. Los elementos mayoritarios se analizaron en el laboratorio «Centro de Análisis de Aguas

S.A» (Murcia). Los elementos traza y minoritarios se determinaron en el laboratorio «Activation Labs Ltd.» (Canadá) mediante espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado por inducción (ICP-MS) usando un espectrómetro Perkin Elmer 6000. Con este método, las muestras se pinchan junto a tres estándares internos que cubren todo el rango de masas. Durante el proceso, una de cada diez muestras se analiza por duplicado para garantizar la bondad de los resultados.

Se obtuvieron un total de 66 variables: 56 elementos traza y minoritarios, 8 mayoritarios, más pH y conductividad de campo.

Análisis de componentes principales

El alto número de variables disponibles frente al número de muestras, hizo inviable la aplicación de métodos estadísticos de análisis factorial con rotación de factores, ya que en este método es necesario que el número de variables sea menor que el número de muestras para que la matriz de correlaciones se pueda diagonalizar. Por ello se procedió en primer lugar, a realizar un análisis de componentes principales, a fin de realizar una primera selección de las variables a estudio. Los valores nulos fueron sustituidos por el 75% del límite de detección del aparato. Para que el comportamiento de los elementos mayoritarios no enmascarase el de los elementos traza, se eliminó este factor de escala normalizando las variables de modo que sus distribuciones tuvieran media 0 y desviación estándar 1.

El análisis de componentes principales se realizó con el paquete estadístico Statgraphics Plus 7.0 (Manugistics Inc. and Statistical Software Corp. 1993) para observar, en una primera aproximación, qué elementos estaban correlacionados entre sí con un peso alto y poder, además, eliminar aquellas variables que no explicasen significativamente el comportamiento de las muestras.

Los cuatro primeros componentes explican el 71% de la varianza (Tabla 1). La componente «1», que explica el 25,8% de la varianza, relaciona elementos traza con mayoritarios, pudiendo establecerse una correspondencia en el comportamiento hidroquímico. En este sentido, se han escogido para el análisis factorial, junto con los mayoritarios relacionados: Cl, Na⁺, Ca²⁺ y K⁺, los minoritarios con mayor significado hidrogeoquímico: Br, Rb⁺, Li⁺, Sr²⁺, así como el V que a un alto peso en la componente une una interpretación geoquímica más sencilla que el Cr.

La componente «2» relaciona, fundamentalmente, los lantánidos. La alta corre-

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Cl ⁻	0,863	0,136	0,298
Br ⁻	0,854	0,078	0,088
Na ⁺	0,839	-0,007	-0,010
Rb ⁺	0,801	-0,140	0,309
Cs ⁺	0,766	-0,281	0,387
V	0,744	-0,049	-0,249
Li ⁺	0,704	-0,010	0,313
Sr ²⁺	0,666	0,499	0,044
Ca ²⁺	0,663	0,529	-0,345
K ⁺	0,627	0,471	-0,197
Cd	-0,187	0,845	0,211
Ni	0,150	0,812	-0,074
Zn	-0,255	0,801	0,043
Pb	0,072	0,761	0,073
Mg ²⁺	0,220	0,782	-0,325
HCO ₃ ⁻	0,036	-0,076	0,856
SO ₄ ⁻	0,358	0,157	0,749

Tabla 2.- Matriz de carga de los factores rotados

Table 2.- Factor loading matrix after varimax rotation

lación que presentan estos elementos se debe, sin duda, a sus características químicas, por lo que al no estar relacionados con ningún otro elemento significativo, y a pesar de explicar un 24 % de la varianza, no serán considerados como variables a estudio.

La componente «3» relaciona inversamente dos grupos de elementos, el formado por Zr, Ta, Hf, etc, y el formado por los metales pesados Cd, Zn, grupos que, siendo muy diferentes entre sí, engloban elementos de comportamiento similar. Este componente no incluye entre sus variables con mayor peso ningún elemento mayoritario, por lo que a pesar de que es un componente bastante interesante, sólo será considerado parcialmente, eligiendo las variables más significativas pero no todas las relacionadas con un peso importante, debido a la necesidad de simplificación. Las variables elegidas han sido el Cs⁺ del primer grupo y el Cd del segundo. El resto de los metales pesados involucrados en esta componente con un peso menor, aparecen como variables importantes en la cuarta componente.

En la componente «4» aparecen de nuevo los metales pesados, excepto el Cd, con un significado mayor que en la componente 3 y correlacionados con SO₄²⁻ y HCO₃⁻. Así, se tomaron como variables de esta componente Pb, Ni, Zn, SO₄²⁻ y HCO₃⁻.

Análisis factorial

De los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales se han seleccionado 16 variables teniendo en cuenta, como ya se ha mencionado, sus índices de correlación y su significado desde el punto de vista hidrogeoquímico. Se ha incluido

como variable nº 17 el Mg^{2+} por su carácter mayoritario. Estos datos se han transformado de modo que sigan una distribución normal.

Con las variables seleccionadas y transformadas se llevó a cabo el análisis factorial por el método de las componentes principales mediante el programa Statgraphics Plus 3.0 (Statistical Graphics Corp., 1997). Dicho programa extrajo tres factores que explican el 72% de la varianza total (Tabla 2). Estos factores se rotaron para permitir su interpretación usando la técnica Varimax.

El factor 1, relaciona los mayoritarios Cl^- , Na^+ y en menor medida Ca^{2+} con los traza Br , Li^+ , V , Rb^+ y Cs^+ (Fig. 1). En las condiciones de un acuífero detrítico, Cl^- y Na^+ indicarían la evolución del agua subterránea a lo largo de su recorrido, sin embargo, como ya se ha indicado, las dimensiones y composición de los sedimentos del acuífero detrítico de Campo Arañuelo, no deberían dar lugar a que el agua subterránea alcanzase los términos finales de la evolución. Por otra parte, la relación del Ca^{2+} , catión representativo de aguas de recarga con estos iones, parece indicar que no es el sentido de la evolución de las aguas subterráneas en el acuífero sedimentario la interpretación de este factor. En cambio, una de las características de las aguas que han circulado en granitos a gran profundidad es la de presentar un enriquecimiento en Ca^{2+} por encima, incluso, del contenido en Na^+ .

Respecto a los elementos traza relacionados en el factor 1, Edmunds *et al.* (1987) consideran a los iones Br , Li^+ , Sr^{2+} , Rb^+ , Cs^+ , como elementos presentes en los fluidos salinos que circula por los granitos de Carnmenellis y que derivan de la alteración de los silicatos. Mientras que Frapé y Fritz (1987), ponen de manifiesto la alta correlación del Br con el Cl^- y Sr^{2+} en las aguas cloruradas cálcico sódicas de los granitos del escudo Canadiense. Consideran, además, al Li^+ como el elemento mejor relacionado con la alteración de la roca madre granítica. Por otra parte, el V , si bien no es considerado como elemento característico por ninguno de los autores precedentes, es un elemento que también está presente en anfíboles y biotitas (Matthess, 1982).

Asimismo, en el estudio del plutón de "El Berrocal" (ENRESA, 1996), se consideran entre los elementos traza característicos de las aguas que circulan por el granito al Sr^{2+} y al Li^+ , si bien estas aguas no presentan mineralizaciones altas, pudiendo clasificarse como aguas dulces (30-600 $\mu S/cm$), con un amplio rango de composición.

De todo lo anterior, puede deducirse que el factor 1 representa las características

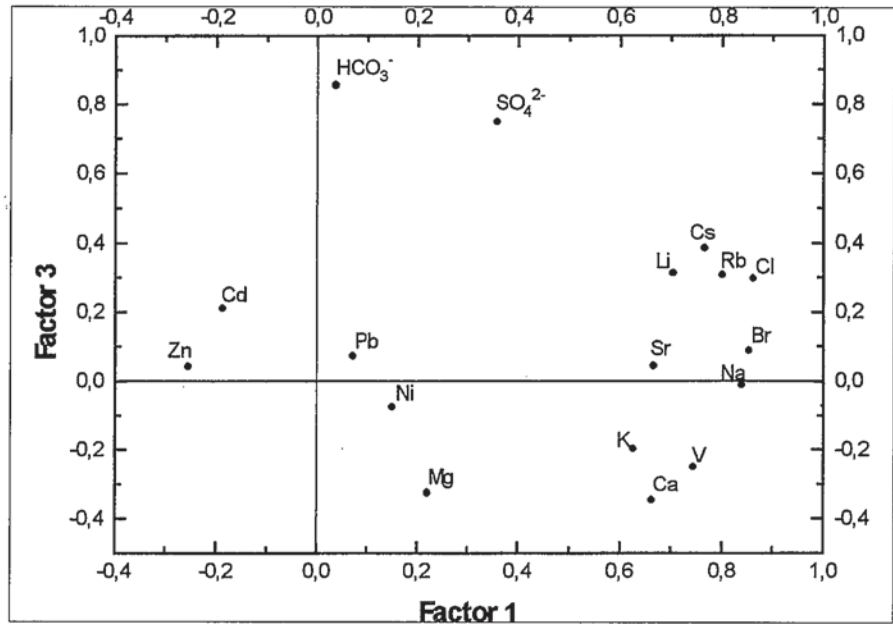


Fig. 1.- Representación de los pesos del factor 3 frente a los del factor 1.

Fig. 1.- Plot of factor 3 weights vs. factor 1 weights.

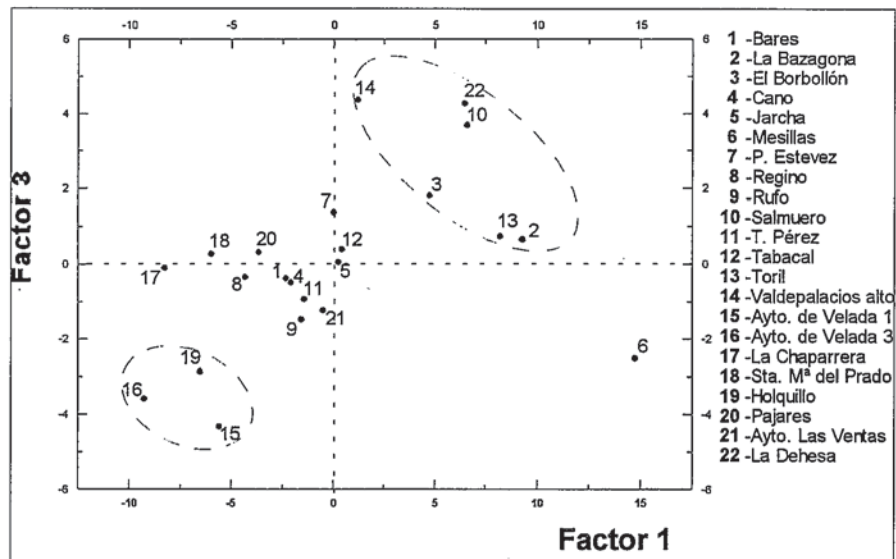


Fig. 2.- Representación de las puntuaciones del factor 3 frente al factor 1.

Fig. 2.- Plot of factor 3 scores vs factor 1 scores.

de salinidad de las aguas consideradas y la posibilidad de circulación por los granitos.

El factor 2, que explica el 23% de la varianza, relaciona los metales pesados con el Mg^{2+} . De las principales posibilidades de origen de los elementos metálicos, podrían considerarse su inclusión en las redes cristalinas de los minerales primarios, en la roca granítica, o bien su procedencia de la oxidación de sulfuros. El hecho de que se encuentren correlaciones con el magnesio y no con los sulfatos podría indicar que es muy probable que su origen esté en los mi-

nerales ferromagnesianos de los granitos. En cualquier caso, estos elementos son más característicos de aguas ácidas que de salmueras circulando por granitos, incluso en algunos casos, como el del Zn , son más importantes en aguas con bajas mineralizaciones que en aguas salobres (Frapé and Fritz, 1987). El hecho de que el único ión mayoritario asociado a este factor sea el Mg^{2+} , elemento con una variabilidad muy pequeña en las aguas estudiadas, determina que en este primer estadio, las características asociadas al factor sean menos

interesantes en lo que al origen de las aguas se refiere.

El factor 3, que explica un 11% de la varianza, correlaciona fundamentalmente HCO_3^- con SO_4^{2-} . Esta correlación no tiene una explicación evidente. Los bicarbonatos podrían representar la característica fundamental de las aguas pertenecientes al acuífero detrítico, ya que es el anión característico de las aguas de recarga y de aquéllas con un recorrido no muy extenso, caso de las aguas del acuífero detrítico de Campo Arañuelo. Aguas que, por otra parte, presentan en general unos contenidos muy bajos en sulfatos, del orden de unidades (Vicente, 1986). Ahora bien, la mayoría de las aguas consideradas en este trabajo corresponden a aguas anómalas, presentando un mayor contenido en sulfatos, del orden de decenas, e incluso presentan mayores contenido en cloruros que las aguas mayoritarias del acuífero de Campo Arañuelo, ya que se han incluido las aguas con composición clorurada sódica situadas en áreas de recarga. Así, este factor representa la señal del agua procedente del Terciario y una señal residual de salinidad, producto de mezcla con aguas terciarias (Vicente, 1987), si bien no la fundamental, ya que el agua de características salobres más extremas, apenas tiene contenido en sulfatos (6 mg/l).

En la figura 2 se presentan los pesos de los distintos factores en cada uno de los pozos. La representación nos permite diferenciar cuatro grupos de muestras. La muestra número 6, que representa el mayor peso del factor 1, es decir, las características de agua salina que posiblemente procede de los granitos, efectivamente se corresponde con la muestra de Mesillas, un manantial que brota de los granitos; del Sistema Central, con carácter clorurado sódico cálcico y 13000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad.

El grupo formado por las muestras 2, 3, 10, 13, 14 y 22 incluye las muestras que se consideran mezclas de granitos y Terciario, estando constituidas por muestras de carácter clorurado sódico y clorurado sódico cálcico con conductividades comprendidas entre 2000 y 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Agrupan a manantiales de los granitos y a pozos que cortaron a los granitos.

El grupo central está formado por la inmensa mayoría de las muestras que se han considerado anómalas por presentar, o bien, una alta mineralización, o bien composición clorurada sódica y estar en zonas de recarga.

Finalmente, el grupo formado por las muestras 15, 16 y 19 corresponde a aguas bicarbonatadas cálcicas (15 y 16) con 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad. Representa el grupo de menor mineralización. Las muestras 15 y 16 por presentar características de recarga, se pensó que no tenían mezcla de agua del granito en ninguna proporción pero su asociación con la muestra 19, que sí presenta características anómalas poco acusadas hará que se reconsidere su interpretación.

En lo que se refiere al gráfico en conjunto, permite deducir, en una primera aproximación, que las muestras participan en mayor o menor medida, de los dos factores considerados, lo que lleva a pensar que, efectivamente, son muestras con mezclas de las aguas que se consideran que circulan por los granitos.

Conclusiones

Las concentraciones de los elementos traza se han utilizado para buscar relaciones con iones mayoritarios que permitan aportar datos sobre la posible mezcla de aguas del acuífero detrítico con aguas salobres, supuestamente procedentes de los granitos que forman su límite.

El análisis multivariante refuerza la suposición de que el agua salobre proceda de rocas graníticas, ya que relaciona los iones mayoritarios Cl^- , Na^+ y Ca^{2+} , característicos de las salmueras que circulan por los granitos, con los minoritarios Br^- , Li^+ , Sr^{2+} , Rb^+ y Cs^+ , también característicos de dichas aguas y que se consideran procedentes de los minerales silicatados de los granitos.

Debido a que la práctica totalidad de las muestras estudiadas corresponden a aguas consideradas anómalas, el análisis factorial no selecciona ningún factor claramente representativo de las del acuífero detrítico por lo que las relaciones de mezclas no son evidentes, si bien, la participación de las muestras en los dos factores parece concluir que así sucede en realidad.

El actual estudio deberá ampliarse teniendo en cuenta muestras representativas de aguas del acuífero detrítico, a fin de delimitar con claridad las relaciones de mezcla y las muestras que presentan características de un solo origen.

Referencias

Andrés, A., Espa, M., Muñoz, I., Vicente, R. (1997): *I Congreso Ibérico de Geoquímica. VII Congreso de Geoquímica de España*: p. 110.

- Edmunds, W. M., Kay, R.I.f., Miles, D. L. y Cook, J.m. (1987): Ed.: Fritz, P. y Frape, S.K. *Geological Association of Canada Special paper*; 33, pp. 127-143.
- Frape, S.k., Fritz, P. y McNutt, R.h. (1984): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, pp. 1617-1627.
- Frape, S.k. y Fritz, P. (1987): En: Saline water and gases in crystalline rocks. Ed.: Fritz, P. y Frape, S.K. *Geological Association of Canada Special paper*; 33, pp. 211-223.
- Frape, S.k. *Geological Association of Canada Special paper*; 33, pp. 103-109.
- Gómez, P., Turrero, M.J., Martínez, B., Melón, A., Mingarro, M., Rodríguez, V., Gordienko, F., Hernández, A., Crespo, M. T., Ivanovich, M., Reyes, E., Caballero, E., Plata, A., Fernández, J.M. (1996): *El Berrocal Project, Topical Report 4*, V2, pp. 207-354. Enresa.
- J.E.N. (1980): «*Proyecto 0116. Cuenca del Tiétar*.» J.E.N., Min. Ind. y Energía, Madrid.
- Jones, B.f., Vicente, R. y Sastre, A. (1990): IV Simposio de hidrogeología. *Hidrogeología y recursos hidráulicos*, XII, pp. 131-141.
- Kamineni, A.J. (1987): En: Saline water and gases in crystalline rocks. Ed.: Fritz, P. y Frape, S.K. *Geological Association of Canada Special paper*, 33, pp. 67-69.
- Lahermo, P.W. y Lampen, P.H. (1987): En: Saline water and gases in crystalline rocks. Ed.: Fritz, P. y Frape, S.K. *Geological Association of Canada Special paper*, 33, pp. 103-109.
- Martin-Loeches, M. (1995): *Tesis Doctoral*. Univ. de Alcalá
- Martos, J. (1996): *Statgraphics: conceptos y aplicaciones*, Madrid, Paraninfo.
- Matthess, G. (1982): *The properties of groundwater*. John Wiley y Sons.
- Muñoz, I. (1997): *Tesis Doctoral*. Univ. de Alcalá.
- Nordstrom, D., Ball, J.W., Donahoe, R. y Writtemore, D. (1989a): *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 53, pp. 1727-1740.
- Nordstrom, D., Lindholm Donahoe, R. y Barton, C. (1989b): *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 53, pp. 1741-1755.
- Sastre, A. (1978): *Tesis Doctoral*. Univ. Complutense. Madrid
- Vicente, R. (1986): *Tesis Doctoral*. Univ. de Alcalá
- Vicente, R. (1987): *Henares, Rev. Geol.*, 1, pp. 5-18
- Vovk, I.F. (1987): En: *Saline water and gases in crystalline rocks*. Ed.: Fritz, P. y Frape, S.K. *Geological Association of Canada Special paper*, 33, pp.197-210.