

Fig. 2.- Diagrama Piper (M: agua de mar).

Fig. 2.- Piper diagram (M: seawater).

nas y las gravas que constituyen los abanicos aluviales cuaternarios son también permeables. Puede ser considerada igualmente impermeable la potente serie de margas marinas pliocenas. Los conglomerados miocenos de cantos de rocas volcánicas son escasamente permeables.

Caracterización hidrogeoquímica

Para tener una idea de las facies dominantes en las aguas muestreadas, así como poder inferir la existencia de algún proceso geoquímico que haya tenido lugar, se han representado sobre un diagrama Piper. En la figura 2 se muestra la situación de todos los puntos acuíferos, incluido el agua de mar. Las muestras analizadas corresponden a enero de 1993.

Como puede verse, en el triángulo de los aniones se deduce la existencia de una gradación desde aguas bicarbonatadas hasta aguas cloruradas, insinuándose una rama ascendente en el sentido de aumento del contenido en sulfatos. Tanto en el dominio de los aniones como en el de los cationes se observa claramente la existencia de unas alineaciones indicativas de procesos de mezclas de aguas sódicas con cálcico-magnésicas -en el dominio catión-

nico-, y cloruradas con bicarbonatadas y/o sulfatadas. El mar parece claro que es uno de los extremos de la mezcla, pero es visible la existencia de un enriquecimiento en sulfatos de origen diferente al mar. La distribución de los puntos dentro del diagrama del conjunto iónico pone de manifiesto la existencia de procesos más complejos: procesos de mezclas, procesos de intrusión y extrusión, y otros procesos modificadores.

Con el fin de detallar algo más las indicaciones realizadas, utilizamos otro diagrama clasificatorio tipo cuadrangular, como es el diagrama de Chevotarev. La figura 3a representa los porcentajes de ion bicarbonato, frente a la suma de porcentajes de ion cloruro, sulfato y nitrato, como representativas, respectivamente, de la componente dulce y salina, que intervienen en la mezcla. Las modificaciones respecto a la línea que representa la mezcla entre el agua dulce y el agua de mar, debe interpretarse como debida a la intervención de procesos modificadores.

Las muestras salinizadas por un proceso de intrusión marina, sin la intervención de procesos modificadores, deben alinearse en torno a la línea que representa la mezcla entre el agua dulce y el agua de mar. La intervención de procesos que

afecten al contenido de cationes provoca desplazamientos de las muestras en la vertical, respecto a esta mezcla. En la posición de las muestras, se encuentran variaciones que pueden interpretarse en este sentido y que pueden atribuirse a un proceso de intercambio iónico tanto directo como inverso. En las aguas salinas, las muestras se desplazan hacia posiciones que representan un incremento de los porcentajes de Ca²⁺+Mg²⁺ y un descenso de los porcentajes de Na⁺+K⁺, y que podría corroborar la hipótesis de que en estas aguas interviene un proceso de intercambio iónico inverso. Es difícil, sin embargo, comprobar este fenómeno en las aguas dulces.

Si se tiene en cuenta que las aguas del acuífero pueden tener sulfatos no ligados a la influencia del agua de mar, hemos construido un diagrama (Fig. 3b) que presenta la suma de porcentajes de HCO₃⁻ y SO₄²⁻ en representación de la componente «dulce» del acuífero. Las aguas más dulces del acuífero se alinean mejor respecto a la recta de mezcla AD-AM. Las aguas que se localizan en una posición intermedia respecto al contenido aniónico, presentan una pérdida de Ca²⁺+Mg²⁺ frente a una ganancia de Na⁺+K⁺, que podría justificarse por un intercambio iónico directo. Una continua alimentación de aguas ricas en calcio puede condicionar que una alta proporción de calcio sea absorbido por el medio sólido. La modificación de las características de la solución determina un posible proceso de intercambio iónico, regulado por el equilibrio químico. El magnesio puede participar en las reacciones de intercambio acompañando al calcio; sin embargo es absorbido con menor fuerza que éste (Stuyfzand, 1993).

En las aguas más salinas se identifica de nuevo un aumento del porcentaje de Ca²⁺+Mg²⁺, acompañado por una pérdida de los porcentajes de Na⁺+K⁺, lo cual parece implicar un proceso de intercambio inverso. Este proceso está presente en el agua de mezcla pero, una vez que se estabiliza y la capacidad de intercambio se agota, el intercambio cesa (Custodio, 1987).

El magnesio (Fig. 4), como caracterizador de la naturaleza dolomítica del material acuífero, del tiempo de contacto agua-roca, y de procesos de intrusión marina, permite apuntar criterios en estos tres sentidos, a partir de su distribución espacial. La franja de alimentación registra valores inferiores a 2 meq/l. El valor mínimo (1.6 meq/l) se detecta en el sondeo 1200, localizado junto a la rambla de Carcáuz y está condicionado por menor tiempo de contacto agua-roca, ya que según los datos isotópicos este sector pre-

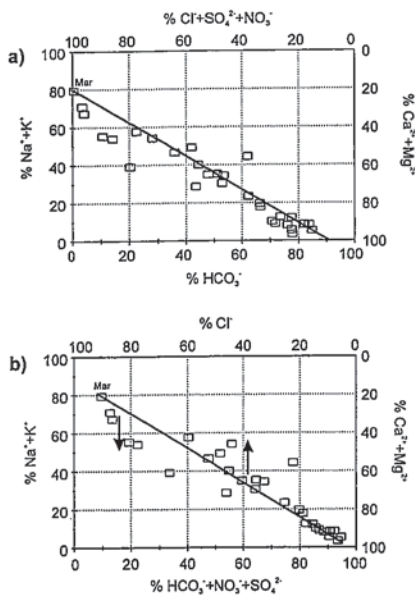


Fig. 3.- Diagramas de Chevotarev. Línea hipotética de mezcla entre el agua dulce y el agua de mar.

Fig. 3.- Chevotarev diagrams. Mixing line between fresh and seawater.

presenta una mayor velocidad del flujo del agua (Vallejos *et al.*, 1997). En el sentido del flujo se llegan a alcanzar los 4 meq/l, mientras se superan los 20 meq/l en el sector comprendido entre las ramblas de Vúcar y Las Hortichuelas. En el sector más oriental, afectado por fenómenos de

intrusión, el contenido en magnesio se aproxima a los 10 meq/l.

Consideraciones finales

La Sierra de Gádor contribuye a la alimentación principal de los acuíferos del Campo de Dalías, aportando aguas de componente fundamentalmente bicarbonatada cálcico-magnésica. En relación con las características fisicoquímicas de las aguas, tanto en el dominio de los aniones como de los cationes se observa claramente la existencia de procesos de mezcla de aguas sódicas con cálcico-magnésicas -en el dominio catiónico-, y cloruradas con bicarbonatadas y/o sulfatadas. El mar es uno de los extremos de la mezcla, pero es visible la existencia de un enriquecimiento en sulfatos de origen diferente al mar, cuya procedencia podría estar en conexión con yesos ligados a los materiales miocenos y metapelitas. Las variaciones respecto a la línea de mezcla agua dulce-agua de mar deben interpretarse como debidas a la intervención de procesos modificadores, como es el intercambio iónico tanto directo como inverso. Estos procesos son mucho más visibles en las aguas salinas.

Además de los procesos que acompañan a la salinización de las aguas

como consecuencia de la interacción entre el agua salina y el terreno, las reacciones que se producen en el acuífero como consecuencia del desequilibrio entre la fase acuosa, que ha visto modificada su composición química, y la fase sólida, corresponden a procesos relacionados con la precipitación-disolución de carbonatos, intercambio iónico y aporte de sulfatos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto AMB95-0493 de la CICYT, por miembros del Grupo de Investigación RNM-189 «Recursos Hídricos y Geología Ambiental» de la Junta de Andalucía.

Referencias

Aldaya, F. (1969): *Tesis Doctoral*. Univ. de Granada. 527 p.
 Custodio, E. (1987): *Studies and Reports in Hydrology*. UNESCO.
 Stuyfzand, P.J. (1993): *Proc. 12th SWIM*. Barcelona. 143-160.
 Vallejos, A., Pulido Bosch, A., Martín Rosales, W. y Calvache, M.L. (1997). *Earth Surface Proc. and Landforms*, 22: 1157-1168.

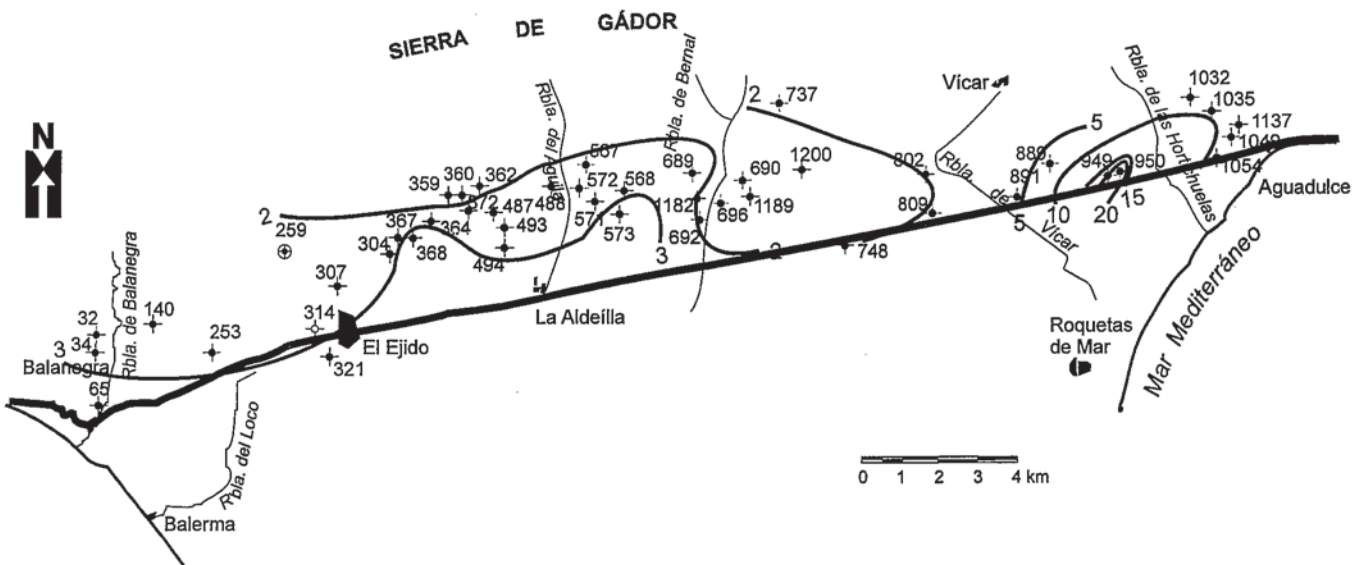


Fig. 4.- Distribución espacial del contenido en magnesio (en meq/l).

Fig. 4.- Spatial distribution of magnesium content (in meq/l).