

# Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de Cabo de Gata (Almería)

## *Hydrogeochemical characterization of groundwater in Cabo de Gata (Almería)*

Fernando Sola, Salvador España, Angela Vallejos y Antonio Pulido-Bosch

G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental. C/ Sacramento s/n. Universidad de Almería. 04120-Almería, España.  
fesola@ual.es, salvaes@ual.es, avallejo@ual.es, apulido@ual.es

### ABSTRACT

The volcanic area of Cabo de Gata, Almería province, is known for being one of the most arid regions of Europe, where the scarce water resources come from groundwater. This area has never been understood as an aquifer due to its low transmissivity. In order to have a better understanding of the physicochemical characteristics of Cabo de Gata waters, a hydrogeochemical study has been done. The results show no clear differentiation between those samples taken from points directly on volcanic materials compared to those taken in alluvial detrital and carbonate rocks in the area. It is clear the marine influence in all samples, reflected in a very good linearity between groundwater ionic concentrations and seawater composition. Ion exchange processes have taken place in the samples nearest to the coast affected by marine intrusion, with higher salt content. However, the marine influence in samples with no connection to the sea would be a consequence of sea spray deposit that homogenizes all the samples in the area from the chemical point of view. This process is probably helped by the aridity of the area, where rainfall could be described as anecdotal.

**Key-words:** Hydrochemistry, volcanic rocks, marine intrusion, seawater spray, Cabo de Gata.

### RESUMEN

El área volcánica de Cabo de Gata, en la provincia de Almería, se caracteriza por ser una de las regiones más áridas de Europa, donde los escasos recursos hídricos disponibles son las aguas subterráneas. Esta zona nunca ha sido entendida como un acuífero por su baja transmisividad. Con el objeto de tener un mejor conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas de Cabo de Gata, se ha realizado un estudio hidrogeoquímico. Los resultados obtenidos no muestran una clara diferenciación entre aquellas muestras tomadas de puntos situados directamente sobre materiales volcánicos, frente a las tomadas en detríticos aluviales y rocas carbonatadas presentes en el área. Es evidente la influencia marina en todas las muestras, reflejada en la buena linealidad existente entre sus concentraciones iónicas respecto al agua de mar. En las muestras más próximas a la costa afectadas por intrusión marina, con mayor contenido salino, procesos de intercambio iónico han tenido lugar. Sin embargo, la influencia marina en muestras sin conexión con éste sería consecuencia del depósito del aerosol marino que homogeneiza desde el punto de vista químico todas las muestras de la zona. Este proceso probablemente está favorecido por la aridez de la zona, donde las precipitaciones pueden calificarse de anecdóticas.

**Palabras clave:** Hidrogeoquímica, rocas volcánicas, intrusión marina, aerosol marino, Cabo de Gata.

Geogaceta, 58 (2015), 135-138  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 3 de febrero de 2015  
Fecha de revisión: 29 de abril de 2015  
Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2015

## Introducción

El área de Cabo de Gata (SE España) está constituida principalmente por rocas volcánicas miocenas, que se formaron como consecuencia de procesos extensionales relacionados con el desarrollo de la Cuenca de Alborán, después de la colisión alpina (Fernández-Soler, 2001). Las rocas volcánicas se encuentran intercaladas y/o cubiertas por rocas sedimentarias neógenas depositadas en pequeñas cuencas marinas conectadas al mar Mediterráneo (Martín *et al.*, 2003). Desde el punto de

vista hidrogeológico este sector es poco conocido, ya que los escasos estudios hidrogeológicos llevados a cabo se han centrado en la vecina cuenca de Níjar, donde existe un extenso acuífero del que se abastece la agricultura bajo plástico que se ha desarrollado en esta comarca (Carrasco Cantos, 1988; García García *et al.*, 2003).

De forma general, se diferencian tres tipos de materiales acuíferos en la zona de estudio. El primero incluye los materiales carbonatados del sector de la cala de San Pedro-Agua Amarga. En segundo lugar aparecen los pequeños afloramientos

detríticos asociados a los materiales aluviales de edad Plioceno y Cuaternario. Por último, existen pequeñas surgencias en materiales volcánicos muy fracturados en Rodalquilar-Las Hortichuelas. Se trata de rocas calco-alcalinas, desde andesitas a dacitas. En conjunto, el macizo de Cabo de Gata puede considerarse como una masa de agua compleja en detalle, debido a la variabilidad en la permeabilidad de sus materiales. El objetivo del presente trabajo es evaluar el origen y los mecanismos que gobiernan la fisicoquímica de las aguas.

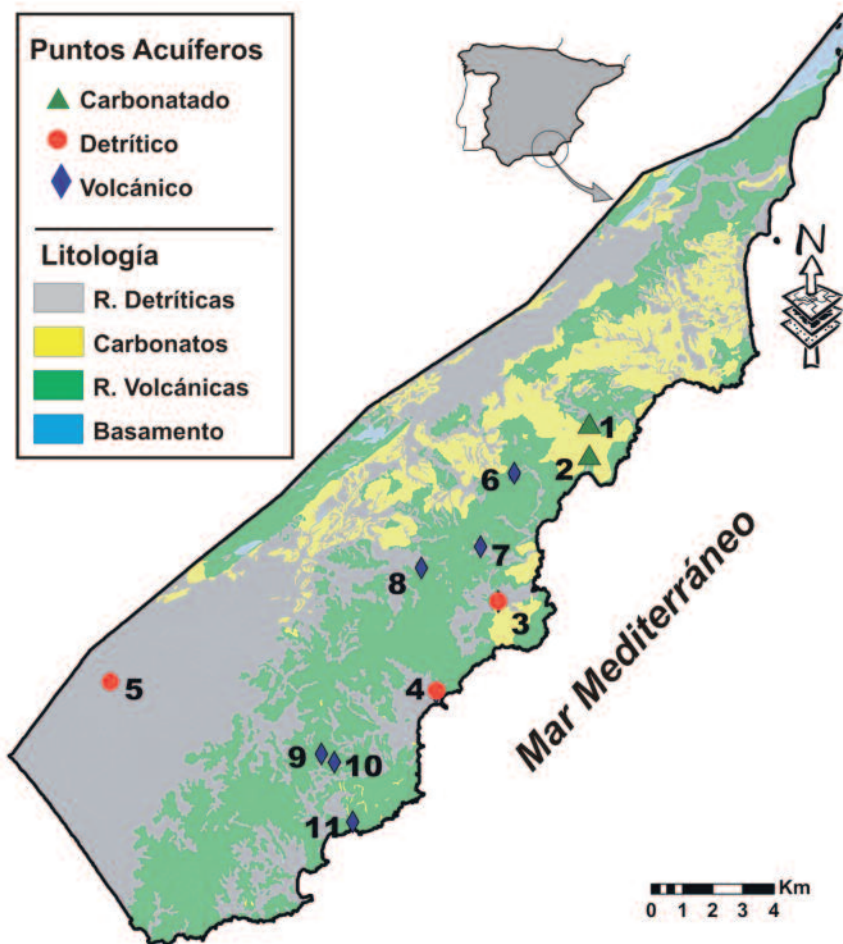


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado y localización de puntos acuíferos muestreados.  
Fig. 1.- Simplified geological map and location of sampling aquifer points.

**Metodología**

Para caracterizar la química del agua del área de Cabo de Gata, en Octubre de

2009 se tomaron 11 muestras repartidas a lo largo del sector estudiado, que caracterizan los principales ámbitos geológicos e hidrogeológicos de la zona (Fig. 1).

Se determinaron *in situ* temperatura, conductividad eléctrica, bicarbonatos y pH de las muestras. Se recogieron duplicados de las aguas que fueron filtradas con un filtro Millipore de 0,45 µm, y se almacenaron en botellas de polietileno a 4 °C. Se analizaron elementos mayoritarios, minoritarios y trazas en el laboratorio ACME (Vancouver, Canadá) con ICP-MS. Los resultados analíticos se muestran en la Tabla I.

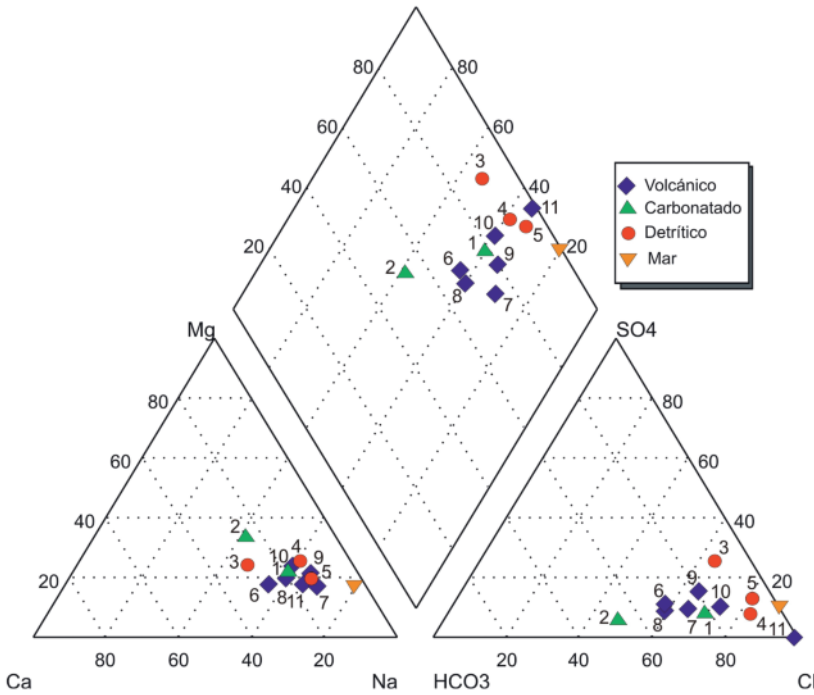
**Resultados y discusión**

Las facies químicas observadas varían desde cloruradas sódicas a facies mixtas en lo que al contenido catiónico se refiere (Fig. 2). Los resultados obtenidos no muestran una clara diferenciación entre aquellas muestras tomadas en puntos situados directamente sobre materiales volcánicos, frente a las tomadas en detríticos aluviales provenientes de la erosión y depósito de estos relieves volcánicos y las procedentes de materiales carbonatados. En general, las muestras más salinas se localizan próximas a la costa, aunque conviene resaltar la existencia de facies clorurada sódica hacia el interior.

Se ha utilizado una serie de diagramas con el objetivo de analizar las principales relaciones iónicas existentes y establecer los principales procesos que condicionan la fisicoquímica de las aguas (Fig. 3). Todas las relaciones seleccionadas incluyen la intervención del ión cloruro, dada su relación directa con el agua de mar. La relación cloruro-sodio muestra una clara linealidad de las muestras respecto a la relación 1:1. Esta

MUESTRA Nº	TIPO	T °C	COND	Cl µS/cm	SO4	HCO3	Na	Mg	Ca	K	Br	Li
					mg/L							
1	M	21,4	1850	430	67	226	221	45	60	9	1,13	0,01
2	M	23,1	775	146	24	244	73	32	38	4	0,42	0,00
3	S	20,4	5570	1194	660	317	543	154	295	16	3,51	0,03
4	S	20,9	6474	1559	212	293	705	158	140	21	4,46	0,05
5	S	21,6	8200	1930	433	244	1000	160	182	28	6,00	****
6	M	24	2265	473	95	317	311	41	53	13	1,41	0,02
7	M	21,6	1757	374	90	342	205	36	84	12	1,06	0,01
8	M	21,4	2338	485	105	451	295	53	89	13	1,38	0,01
9	S	24,4	4464	1011	194	378	360	77	90	6	2,15	0,02
10	S	22	3772	713	228	372	520	91	93	6	2,59	0,03
11	S	22,5	11700	3275	48	67	1328	191	302	9	8,78	0,09
Mar		15,3	55000	21308	3426	35	13584	1564	468	412	82,61	0,21

Tabla I.- Resultados de los análisis químicos de las aguas muestreadas (M: manantial, C: captación). Localización de los puntos de muestreo en Fig. 1.  
Table I.- Results of chemical analyses of water samples (M: spring, C: well). Location of sampling points in Fig. 1.



**Fig. 2.- Diagrama de Piper donde se incluyen las muestras correspondientes a materiales volcánicos, detríticos y carbonatados, así como el agua de mar.**

*Fig. 2.- Piper diagram including samples from volcanic, detrital and carbonated rocks and a seawater sample.*

linealidad podría estar ligada a la influencia del agua de mar. No obstante, se observa cómo las muestras cercanas a la costa, con mayores concentraciones en ión cloruro, se encuentran algo desplazadas respecto a esta recta consecuencia de un ligero déficit en sodio. En la gráfica correspondiente a la relación cloruro-calcio se observa que estas mismas muestras tienen un patrón de distribución inverso, es decir, presentan concentraciones en calcio superiores a la mezcla teórica agua dulce-agua de mar. Procesos de intercambio iónico explicarían esta distribución. La salinización del acuífero como consecuencia de la intrusión de agua de mar tendería al aumento en la concentración en iones de origen marino tales como el sodio. Este sodio tiende a ser fijados por el terreno, produciéndose una liberación simultánea de iones calcio, de ahí que éste aparezca en concentraciones superiores a la mezcla teórica.

El ión magnesio, menos efectivo en procesos de intercambio iónico como consecuencia de su mayor radio iónico, se ajusta a la línea de mezcla con agua de mar, dejando evidencia de la influencia del mar en el acuífero. Las concentraciones en iones minoritarios como Br y Li, también han sido utilizadas para establecer el origen de las aguas. El ión bromuro en aguas continen-

tales aparece en bajas concentraciones, por lo que puede ser un indicador bastante acertado a la hora de reconocer la influencia marina en el quimismo de las muestras. La relación iónica bromuro-cloruro se ajusta bastante bien a la recta agua dulce-agua de mar. Sin embargo, el litio, además de tener un origen marino, puede proceder en gran medida de la disolución de las rocas volcánicas, ricas en este ion, presentes en el área de estudio. Por esta razón, a excepción de las muestras procedentes de la disolución de rocas carbonatadas, las aguas presentan concentraciones en litio mayor al esperable como consecuencia de un origen marino. Las muestras tomadas en materiales detríticos también muestran este enriquecimiento en litio debido a que son resultado de la meteorización y erosión de los relieves volcánicos.

La influencia marina estaría justificada en las muestras más próximas a la línea de costa, donde los pequeños acuíferos detríticos y las rocas volcánicas tienen una clara conexión con éste. Muestras como la 9 y 10 (Fig. 1), pese a estar a unos 3 km de la costa, podrían estar influenciadas por el mar como consecuencia de la fuerte explotación a la que se encuentra sometida esa zona. Sin embargo, en el caso de otras muestras (1, 2, 6, 7 y 8; Fig. 1), el aporte de

una salinidad debido a intrusión marina está totalmente descartado. Todas estas muestras proceden de manantiales claramente colgados y cotas elevadas respecto al nivel del mar, no pudiendo tener relación física alguna con éste y por tanto estar afectadas por intrusión marina. La justificación de la alta correlación con la línea de mezcla teórica agua dulce-agua de mar habría que buscarla en un proceso distinto a la intrusión. Se especula, por tanto, con la posibilidad de que esta tendencia sea consecuencia de aerosoles marinos. El depósito seco de partículas de aerosol marino transportado por el viento desde la superficie del mar hacia tierra adentro, favorece los procesos de salinización en acuíferos costeros (Manca *et al.*, 2014). Este aerosol marino puede constituir la principal fuente de iones cloruro en algunos acuíferos próximos a la costa una vez que se ha infiltrado en el acuífero a partir del agua de lluvia (Li *et al.*, 2012). La influencia del aerosol marino ha sido considerada dominante en la hidrogeoquímica de las aguas subterráneas continentales en Australia, donde las altas concentraciones medidas en cloruro son atribuidas a la lenta acumulación y depósito de estos aerosoles atmosféricos. Estas altas concentraciones podrían ser resultado de procesos de evaporación/evapotranspiración (Zhang *et al.*, 2007). También en zonas frías, como Islandia, el aerosol marino puede llegar a ser la fuente principal de ión cloruro en el agua subterránea (Arnórsson y Andrésdóttir, 1995).

El complejo volcánico de Cabo de Gata es una de las regiones más áridas de Europa, donde las precipitaciones anuales no superan los 220 mm (Uclés *et al.*, 2014). Se trata del área con mayor grado de insolación de España, entre 3000 y 3600 horas al año y temperaturas medias de unos 18 °C. En consecuencia, la evapotranspiración potencial es muy alta, alcanzando valores del orden de 900 mm/a (García García *et al.*, 2003). Como consecuencia, las sales transportadas por el aerosol que quedan impregnadas en la vegetación y sustrato rocoso son rápidamente concentradas, infiltrándose en el acuífero durante un evento de lluvia de relativa importancia.

**Conclusiones**

Se ha realizado un estudio hidrogeoquímico en la región de Cabo de Gata. Se trata de un estudio preliminar, en el que se

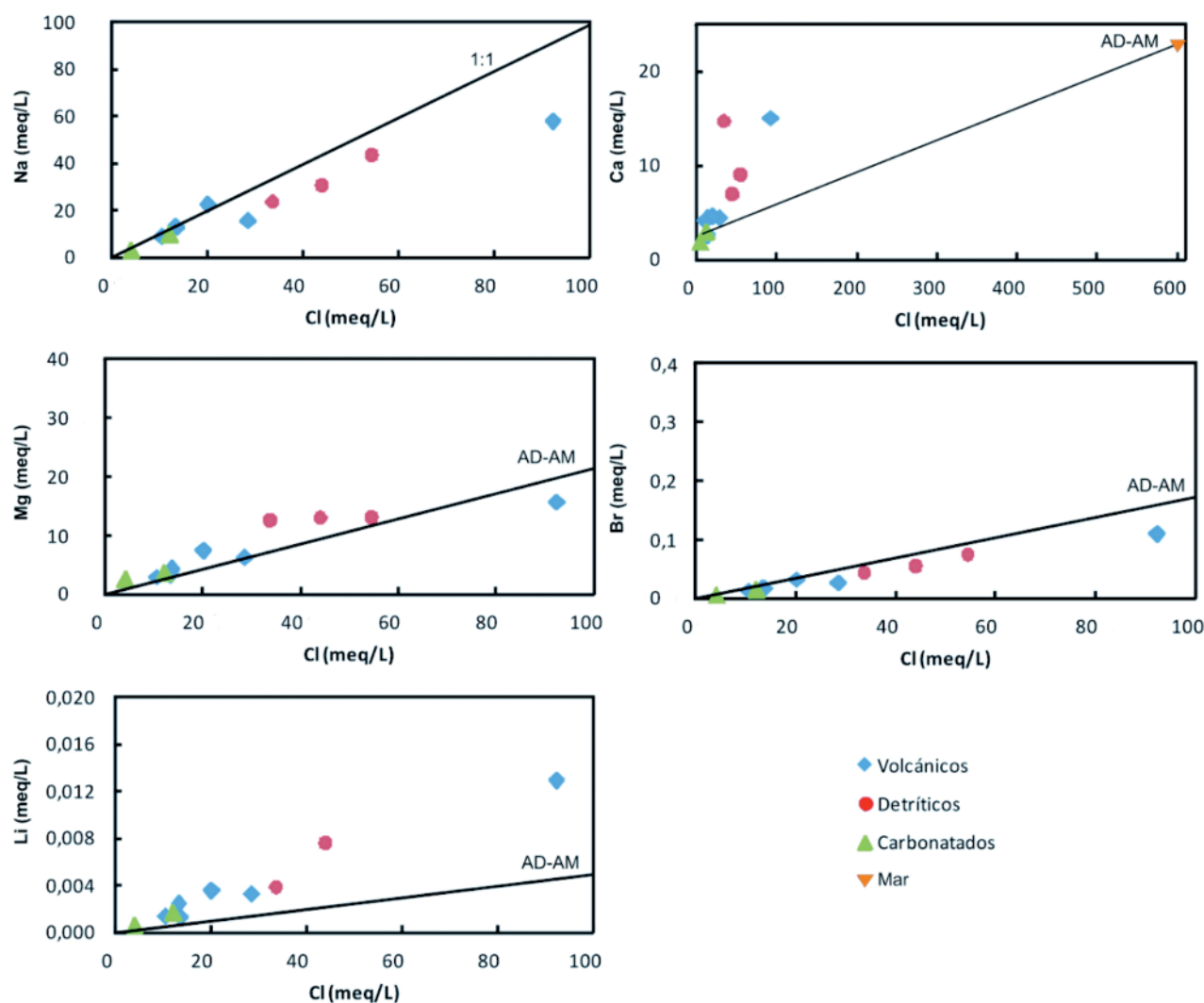


Fig. 3.- Principales relaciones iónicas en las aguas muestreadas, correspondientes a materiales volcánicos, detríticos y carbonatados. Se incluye la línea de mezcla agua dulce-agua de mar (AD-AM). (Ver figura en color en la web).

Fig. 3.- Main ion relationships in sampled waters from volcanic, detrital and carbonated materials. The mixing line freshwater-seawater has been included (AD-AM). (See colour figure on the web).

presenta una aproximación a las principales características fisicoquímicas de las aguas subterráneas. Las facies químicas observadas varían desde clorurada sódica a facies mixtas, evidenciando una alta salinidad de las aguas subterráneas. En las muestras más próximas a la costa, esta salinidad puede ser interpretada por un proceso de intrusión marina, habiéndose reconocido reacciones de intercambio iónico en él. En muestras más distantes de la costa y claramente desconectadas del mar, habría que argumentar otros procesos para intentar explicar su quimismo. Se propone el efecto del aerosol marino como causa que justifica la composición salina de esta agua, favorecido por las condiciones climáticas del área de estudio.

La salinización por infiltración de sales procedentes del aerosol marino da como re-

sultado una homogeneización en las aguas subterráneas del área, similar al obtenido por la intervención de procesos de intrusión marina.

## Referencias

- Arnórsson S. y Andrésdóttir A. (1995). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 4125-4146.
- Carrasco Cantos, A. (1988). En: *Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros* (F. Fernández-Rubio, J.A. López-Geta y G. Ramos, Eds.), Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 1-36.
- Fernández-Soler, J.M. (2001). En: *A Field Guide to the Geology and Geomorphology of the Neogene Sedimentary Basins of the Almería Province, SE Spain* (A.E. Mather, J.M. Martín, A.M. Harvey, y J.C. Braga, Eds.), Blackwell, Oxford, 58-88.
- García García, J.P., Sánchez Caparrós, A., Castillo E., Marín, I., Padilla, A. y Rosso, J.I. (2003). En: *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos* (J.A. López-Geta, J.A. de la Orden, J. Gómez, G. Ramos, M. Mejías y L. Rodríguez, Eds.), Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 413-422.
- Li, X., Zhou, A., Liu, Y., Ma, T., Liu, C., Liu, L. y Yang, J. (2012). *Applied Geochemistry* 27, 2031-2041.
- Manca, F., Capelli, G. y Tuccimei, P. (2014). *Environmental Earth Science* DOI 10.1007/s12665-014-3704-9.
- Martín, J.M., Braga, J. C. y Betzler, C. (2003). *Geomorphology* 50, 27-42.
- Uclés, O., Villagarcía, L., Moro, M.J., Cantón, Y. y Domingo, F. (2014). *Hydrological Processes* 28, 2271-2280.
- Zhang, M., Frape, S.K., Love, A.J., Herczeg, A.L., Lehmann, B.E. Beyerle, U. y Purtschert, R. (2007). *Applied Geochemistry* 22, 557-574.