

Artículo publicado en: Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, XXVII: 185-194

DISTRIBUCIÓN DEL IÓN CLORURO EN EL ACUÍFERO DE LA VEGA DE GRANADA; CONSIDERACIONES HIDRODINÁMICAS

SANCHEZ DIAZ, Luis* y CASTILLO MARTÍN, Antonio**

*. *Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada*

** *CSIC e Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada. Email: acastill@ugr.es. Web: www/ugr.es/local/aguas*

Palabras clave: Hidroquímica, hidrodinámica, cloruros, Vega de Granada

RESUMEN

Este artículo hace una puesta al día (2003-04) de la distribución del ión cloruro en el acuífero de la Vega de Granada; los resultados obtenidos son comparados con los de los años 1983-84, de características hidráulicas similares.

Se comienza haciendo una breve reseña del acuífero de la Vega de Granada y de los principales antecedentes de este trabajo; a continuación se exponen los datos de partida utilizados; se finaliza exponiendo los principales resultados obtenidos y haciendo una breve discusión de los mismos.

El carácter conservativo del ión cloruro le convierte en uno de los trazadores químicos clásicos de las aguas subterráneas. En virtud de los resultados obtenidos, se concluye que el acuífero de la Vega de Granada conserva, a grandes rasgos, el mismo modelo de funcionamiento hidrodinámico de los dos últimos decenios, si bien se han detectado algunos cambios locales significativos y un incremento regional moderado de las concentraciones, hecho que se atribuye al aumento de la explotación del acuífero y a una disminución de la recarga del río Genil por cambios en la gestión de las aguas de la cuenca.

INTRODUCCIÓN. ANTECEDENTES

El acuífero detrítico cuaternario de la Vega de Granada (figura 1) es uno de los más importantes de Andalucía (Castillo, 1986a y 1995; FAO-IGME, 1972; IGME, 1981, e ITGE, 1989), al disponer actualmente de unos recursos del orden de 160 hm³/a y de unas reservas explotables de 1.000 hm³. Sus aguas se utilizan mayoritariamente para el regadío, con una explotación neta actual, difícil de evaluar, estimada en unos 60 hm³/a y, en menor medida, para el abastecimiento urbano, el cual se realiza mayoritariamente a partir de recursos superficiales procedentes de Sierra Nevada; no obstante, tras la última gran sequía (1992-95), el acuífero se

aprovechó como depósito de emergencia, por lo que en la actualidad es considerado como una valiosa fuente alternativa en caso de futuras restricciones de suministro.

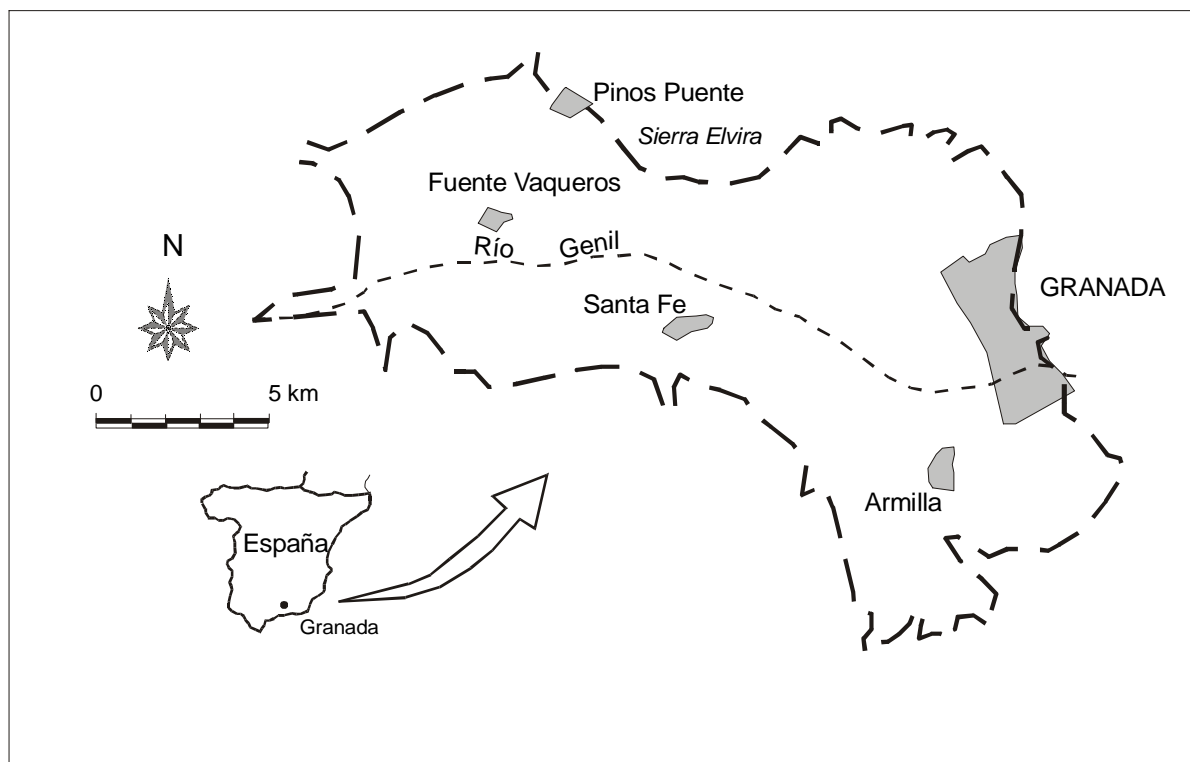


Figura 1.- Localización del acuífero de la Vega de Granada

La hidroquímica, y, en definitiva, la calidad de las aguas subterráneas del acuífero ha sido investigada en numerosas ocasiones (Castillo, 1986a, 1994, Castillo y Perandrés, 2002, Castillo y Sánchez, 1994, Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración, y FAO_IGME, 1972); las aguas poseen una salinidad media del orden de 1 a 1,5 g/l y una facies dominante bicarbonatada cálcica; en definitiva, son buenas para el regadío (Castillo, 1993), y solamente aceptables para el consumo humano (Castillo, 1986b); al respecto, los principales problemas de calidad son su elevada dureza, y, sobre todo, los indeseables contenidos en nitratos (a partir, fundamentalmente, de los fertilizantes aplicados en la agricultura) que se dan en sectores y épocas concretas (Castillo *et al.*, 1995, 1997 y 2004).

No obstante, algunos cultivos especialmente sensibles tienen problemas de comercialización, que no de producción, por los indeseables niveles de ciertos compuestos. Ese es el caso del tabaco en la Vega de Granada, un cultivo que a principios del presente siglo ocupaba una extensión de 1.500 has (de la variedad Burley), del que vivían 2.200 familias, y del que se obtenía una renta anual del orden de 12,5 M de euros (a razón de 0,41 euros/kg). Como se sabe, la calidad de la hoja del tabaco para su combustión está directamente influenciada por la concentración en cloruros de las aguas de riego, estimándose que contenidos superiores a 30 mg/l pueden ser perjudiciales para su óptima comercialización. La mayor parte de la extensión del acuífero (70%) posee aguas con concentraciones en cloruros

superiores a 30 mg/l, lo que ocasiona una pérdida de calidad del tabaco irrigado con las mismas. Acuciados por este problema, en 2002 se firmó un contrato de investigación entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y la Universidad de Granada para poner al día la hidroquímica del acuífero y el estado de la calidad de las aguas para el regadío (especialmente del tabaco).

Como ya se ha comentado, la hidroquímica del acuífero había sido abordada en ocasiones anteriores, y, concretamente, la distribución, tanto espacial como temporal de los cloruros y otros iones relacionados geoquímicamente. En Castillo (1986a) se muestran por primera vez mapas de isocontenidos de cloruros, algunos de ellos obtenidos a partir de datos originales de FAO_IGME (1972) para los años comprendidos entre 1969 y 1982 y otros elaborados para los meses de septiembre de 1983 y marzo de 1984; con los valores existentes se realiza una estadística básica y diversos tratamientos de correlación con el resto de parámetros físico-químicos. En Castillo (1994) se vuelven a repetir los muestreos hidroquímicos y a realizar mapas de isocontenidos de cloruros. Por último, en Castillo y Sánchez (1994) se expone la influencia que tienen las evaporitas de borde en la hidrogeoquímica del acuífero, trabajo muy ilustrativo sobre la procedencia de los cloruros y sus concentraciones por áreas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la realización de este trabajo se han utilizado, básicamente, cuatro grandes muestreos espaciales de cloruros (de 80 a 200 puntos), ejecutados, con idéntico criterio, para las fechas de septiembre de 1983 y marzo de 1984 (Castillo, 1986a), y para las de septiembre de 2003 y marzo de 2004 (Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración). Asimismo, se hace uso de la evolución mensual obtenida entre junio de 2003 y marzo de 2004 para unos 35 puntos testigo del acuífero.

En la figura 2 se muestran sendos mapas de isocontenidos en cloruros para los meses de septiembre de 1983 y 2003. Del mismo modo, en la figura 3 se comparan los mapas obtenidos para los meses de marzo de 1984 y 2004. Como puede observarse, las pautas de distribución son similares para las cuatro campañas referidas. No obstante, se confirman ciertas diferencias significativas; así, la franja de anomalía negativa relativa (valores inferiores a 50 mg/l), que antes se extendía por toda la mitad oriental y a lo largo del río Genil, hasta la población de Fuente Vaqueros (ver toponímicos en la figura 1), se ha visto amortiguada y disminuida en los muestreos de 2003-04; en estos últimos años se aprecia también la aparición de dos áreas de anomalía positiva (valores superiores a 100 mg/l), una al Oeste de la población de Pinos Puente y otra al Noreste de Santa Fe, áreas que antes no existían; por contrapartida, aparece en los muestreos más recientes un área de anomalía negativa relativa (valores comprendidos entre 50 y 100 mg/l) al Oeste de la población de Santa Fe, en el sector de influencia del arroyo Salado, en este caso posiblemente ligada a una deficiente interpretación de los isocontenidos (por insuficiencia de puntos de control) del sector en cuestión en los mapas de 1983-84.

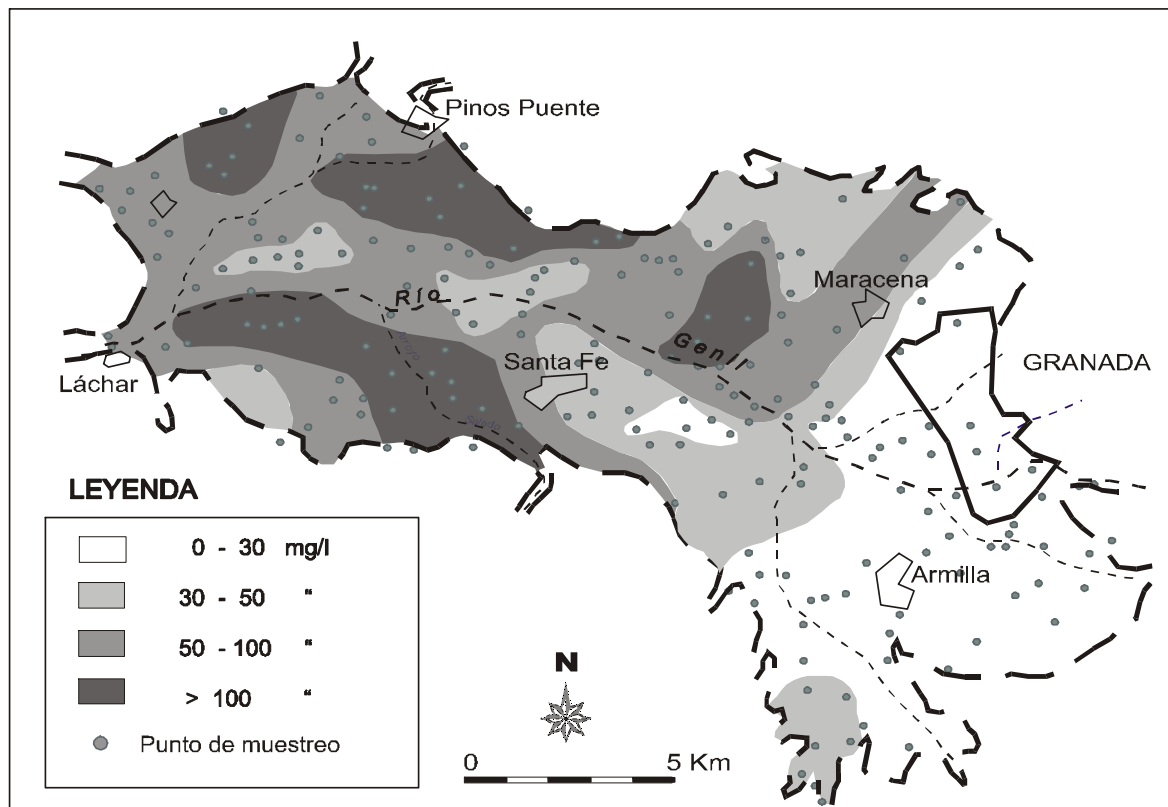
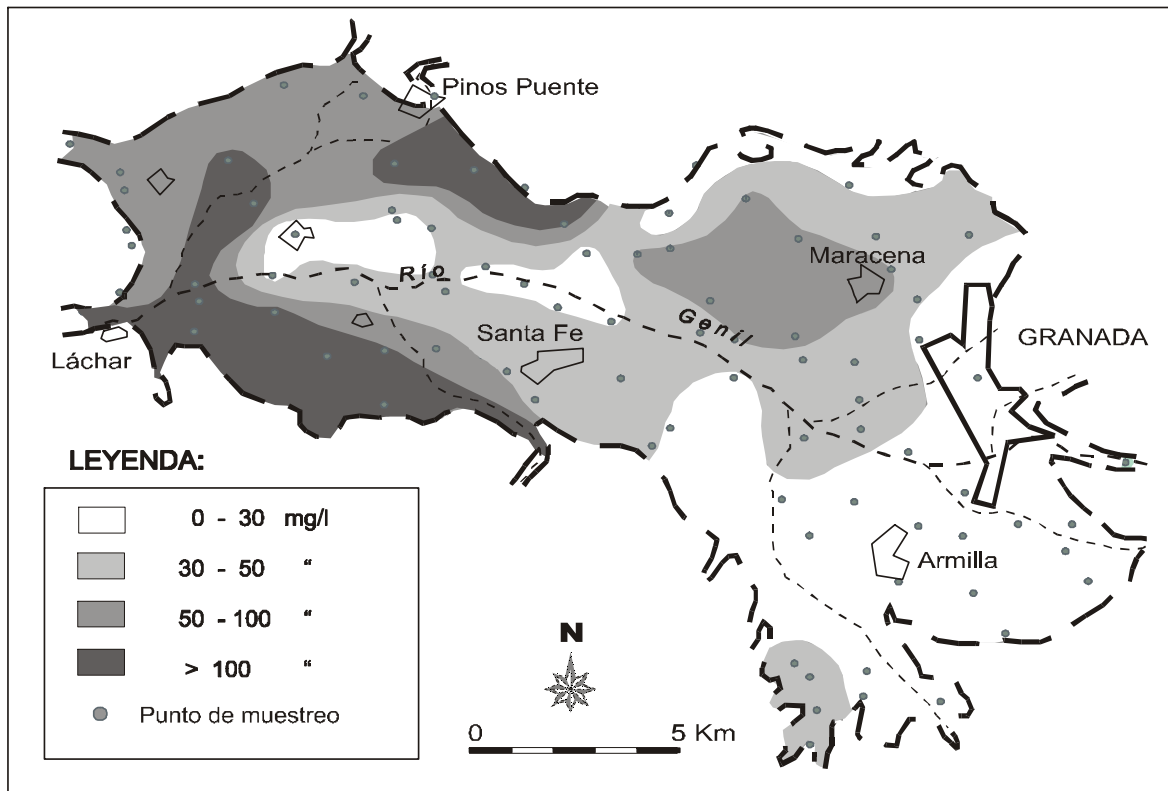


Figura 2.- Mapas de isocontenidos en cloruros del acuífero de la Vega de Granada para septiembre de 1983 (Castillo, 1986a; arriba) y septiembre de 2003 (Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración)

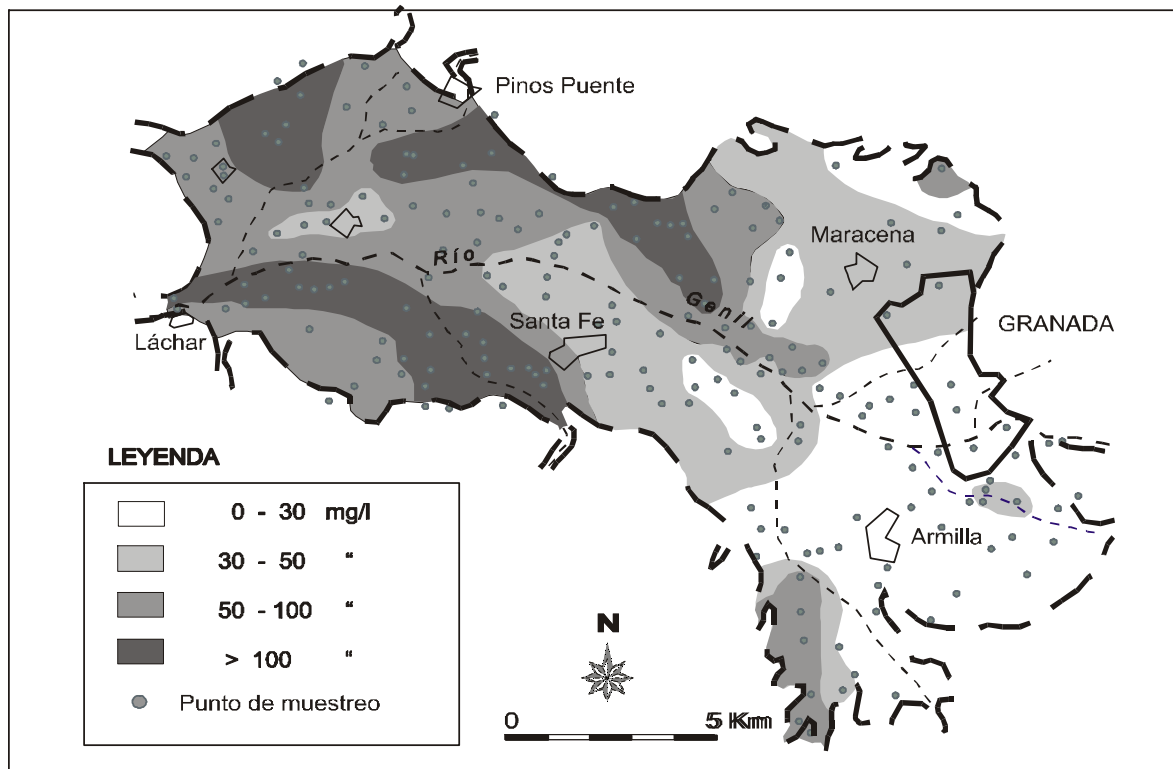
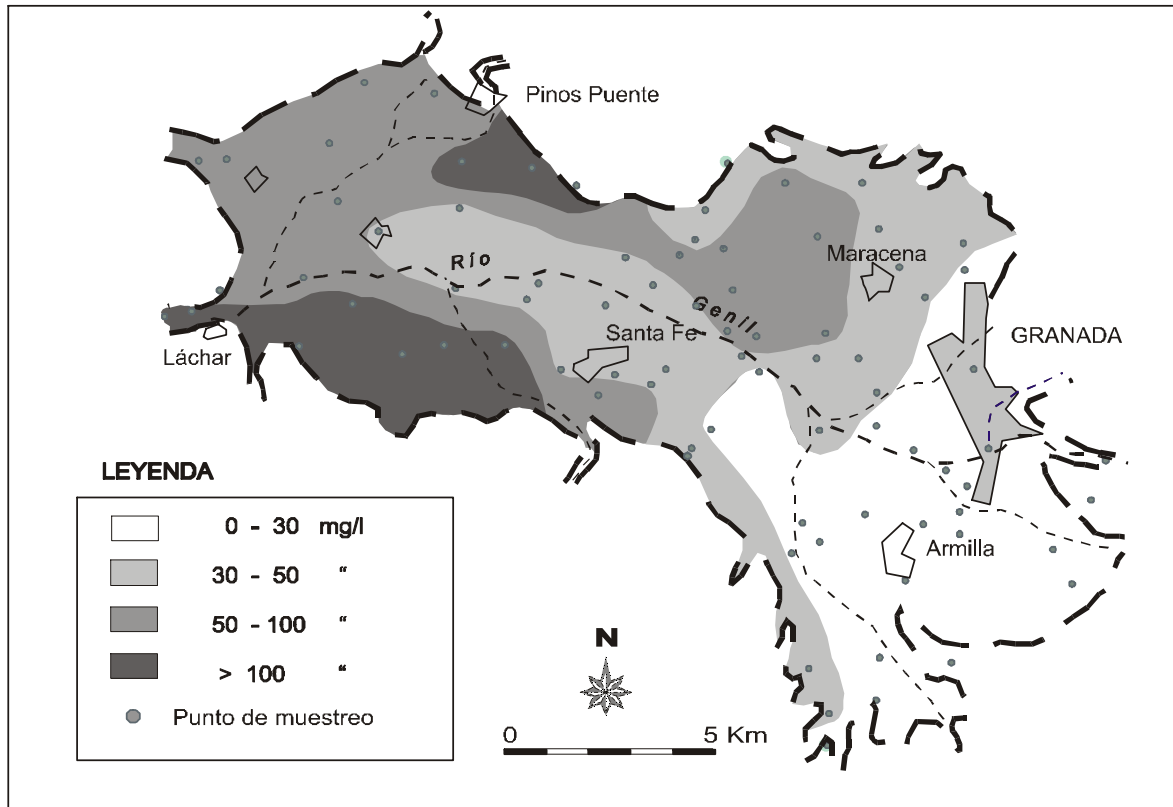


Figura 3.- Mapas de isocontenidos en cloruros del acuífero de la Vega de Granada para marzo de 1984 (Castillo, 1986a; arriba) y marzo de 2004 (Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración)

En definitiva, se observa un moderado incremento, con los años, de las áreas con mayores contenidos en cloruros. En concreto, los valores medios de los cuatro muestreos comentados, y en orden cronológico, son de 57,2, 57,2, 75,6 y 76,7 mg/l, respectivamente. Así pues, el incremento medio detectado entre los años 1983-84 y 2003-04 es del 33% (coincide que el incremento de la conductividad media detectado fue del 27 %). En el incremento medio de los cloruros resulta curioso constatar que tanto los valores mínimos, como los máximos apenas han sufrido variaciones significativas ni en cantidad ni en localización. Así, los valores mínimos permanecen estables alrededor de 5 a 10 mg/l para puntos localizados en el borde Suroriental del acuífero (sector de cabecera), mientras que los valores máximos (del orden de 400 a 500 mg/l) se localizan en el tercio meridional, a la entrada del arroyo Salado (procedente de la lixiviación de terrenos evaporíticos del Mioceno; Castillo y Sánchez, 1994).

En la figura 4 se expone una gráfica comparativa de las superficies de acuífero afectadas por diferentes concentraciones de cloruros (de 0 a 30, de 30 a 50, de 50 a 100 y más de 100 mg/l) para los cuatro muestreos referidos. Como puede observarse, es significativo el descenso con el tiempo de la superficie afectada por valores inferiores a 30 mg/l, superficie que se ha reducido (de 1983-84 a 2003-04) en un 18%, mientras que, a nivel medio, han aumentado levemente las superficies con rangos de concentraciones superiores (la superficie con valores superiores a 100 mg/l se ha incrementado en un 8,5%).

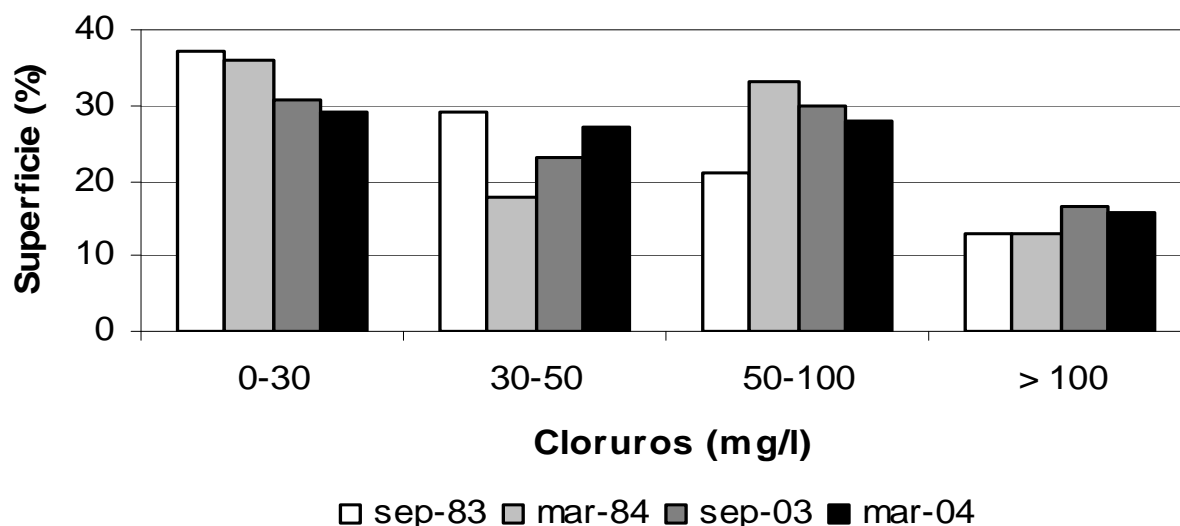


Figura 4.- Distribución de superficies (en %) afectadas por diferentes intervalos de concentración en cloruros para los muestreos de septiembre de 1983, marzo de 1984, septiembre de 2003 y marzo de 2004

La correlación de los cloruros con el resto de especies químicas es poco significativa en el acuífero de la Vega de Granada, con la excepción lógica del sodio (Castillo, 1986a, y Fernández-Lorca y Castillo, 1985). Ello se debe a que la principal fuente de aporte de los cloruros procede de entradas locales de aguas de lixiviación de evaporitas del Trías y del Mioceno (por los bordes centro-septentrional y del

tercio meridional del acuífero, respectivamente; Castillo y Sánchez, 1994), situación que no se produce en el resto del acuífero, en el que no existe un aporte significativo de cloruros, que no sea el procedente, básicamente, del lixiviado de la sal contenida en la superficie del suelo por procesos reiterados de evaporación, así como de la aportada por las aguas residuales infiltradas.

La evolución mensual obtenida entre junio de 2003 y marzo de 2004 (figura 5) muestra, a nivel general, una gran uniformidad, con un leve incremento mantenido entre junio y enero, a partir del cual parece iniciarse un tímido descenso. Aunque esta evolución puede estar afectada por la hidraulicidad anual, las reiteradas evoluciones obtenidas para otros parámetros (fundamentalmente la conductividad y la piezometría) nos indican que las tendencias evolutivas mantienen el mismo sesgo de unos años a otros (a nivel general del acuífero, no por sectores, como es lógico). No en vano se trata de un acuífero con una gran inercia, debido a su extensa superficie (200 km²) y al elevado valor de sus recursos renovables (160 hm³/a). Así pues, los valores medios más altos de cloruros deben darse alrededor de los meses invernales (en enero-febrero para 2003-04), mientras que los valores mínimos se obtendrían al final de la primavera (en Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración, podrá disponerse de la evolución de un año hidráulico completo, así como por puntos y sectores).

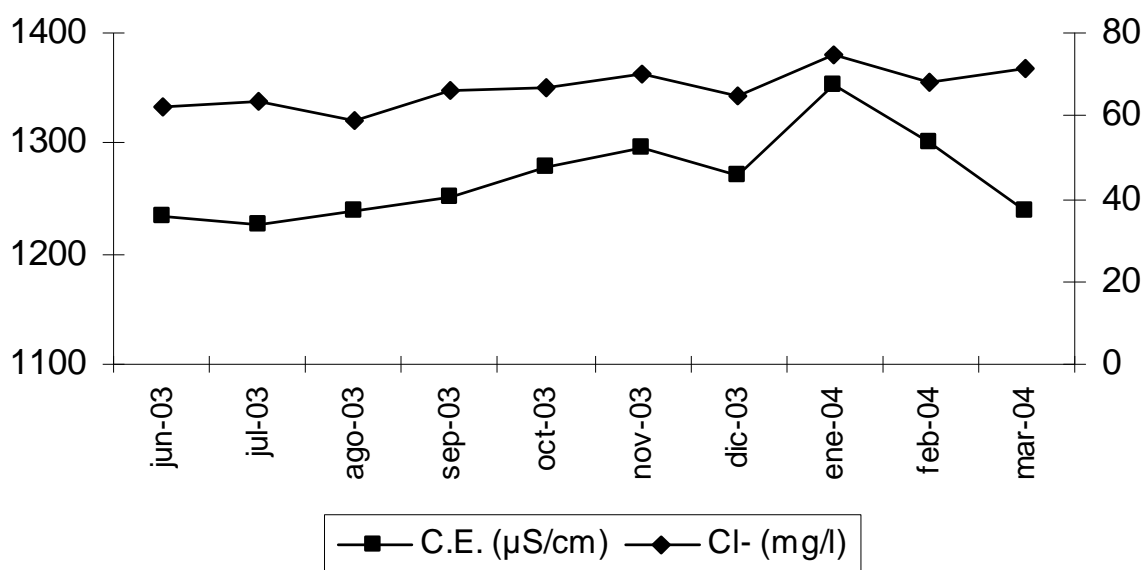


Figura 5.- Evolución mensual (junio 2003 a marzo de 2004) de los valores medios de cloruros y conductividad del acuífero de la Vega de Granada

La geoquímica y dinámica de los cloruros en la Vega de Granada explica muy bien la evolución comentada. Así, los aportes máximos responden a impulsos pluviales, que lixivian sales evaporíticas del terreno y, en menor medida, las contenidas en el suelo por procesos evaporativos; por el contrario, es desfavorable al incremento de las concentraciones en cloruros la coincidencia de menores aportes pluviales, con máximos de escorrentía nival a través de los ríos que bajan de Sierra Nevada (río Genil y sus afluentes Dílar y Monachil), cuyas aguas de infiltración de mínima concentración en cloruros actúan de diluyentes.

Este hecho tiene una enorme trascendencia hidroquímica en el acuífero de la Vega de Granada, y permite explicar muchos mapas de isovalores; de este modo, es la explicación de la faja o banda de aguas de anomalía negativa relativa en cloruros que acompaña al río Genil hasta la población de Fuente Vaqueros, y que puede observarse en los mapas de isocontenidos expuestos anteriormente. Lo comentado también es válido, a nivel general, para la salinidad de las aguas, razón por la cual, la evolución de la conductividad, pese a tener solo una moderada correlación con los cloruros ($r = 0,61$, en Fernández-Lorca y Castillo 1985) presenta una tendencia evolutiva similar a la de los cloruros (figura 5).

Los resultados obtenidos, junto a otros datos hidroquímicos e hidrodinámicos, parecen confirmar un incremento, a nivel general, de la salinidad de las aguas subterráneas del acuífero de la Vega de Granada; el principal motivo de ello no sería el de una extensión de las áreas de aporte o de anomalía positiva, sino, más bien, el de un retroceso de las áreas con valores más bajos (inferiores a 30 mg/l); la causa estaría en la disminución de aportes de mínima concentración en cloruros procedentes de la infiltración de aguas de Sierra Nevada, hecho que se evidencia en las recientes distribuciones hidroquímicas obtenidas a lo largo del río Genil (Castillo y Sánchez-Díaz, en elaboración). La regulación de estas aguas por embalses y su distribución para abastecimiento urbano en cabecera ha restado caudal a este río, y, por tanto, capacidad de infiltración (que antaño se producía mayoritariamente, no tanto a través del lecho, sino merced a acequias de derivación y a sus "careos" y riegos). La aparición de dos pequeñas áreas de anomalía positiva, una al Oeste de Pinos Puente y otra al Noreste de Santa Fe están por confirmar con otras herramientas hidrogeológicas, pero, en principio, podrían deberse a un aumento de la explotación local (incremento de la tasa de recirculación-llamada de aguas más salinas) y/o a la existencia de vertidos clorurados.

AGRADECIMIENTOS

Los datos de partida utilizados para la realización de este artículo, provienen de un proyecto de investigación realizado al amparo de una beca del PFPI del Gobierno español (años 1983 y 1984), y del contrato de investigación "*Estudio de la calidad de las aguas de la Vega de Granada: aplicación al riego del tabaco*", suscrito entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y la Universidad de Granada. También es de destacar el apoyo recibido del proyecto de investigación BTE2002-00152, del antiguo Ministerio de Ciencia y Tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- CASTILLO, A. (1986a). "Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada". Ed. Serv. Publ. Univ. Granada (coedición con Instituto Geológico y Minero de España). ISBN: 84-8499-998-X. 658 p
- CASTILLO, A. (1986b). "Calidad para consumo humano de las aguas de La Vega de Granada". *Sanidad e Higiene Pública*, 60: 1.141-1.152

- CASTILLO, A. (1993). "Calidad agronómica de las aguas de riego de La Vega de Granada". *Naturalia Baética*: 5, 91-103
- CASTILLO, A. (1994). "Caracterización de los recursos y reservas del sistema hídrico de la Vega de Granada. Consideraciones sobre la calidad de las aguas". *Inf. restringido*. Univ. Granada para GIRSA. 150 p
- CASTILLO, A. (1995). "El embalse subterráneo de la Vega de Granada, uno de los más importantes de Andalucía". *Tierra y Tecnología*, 9: 37-42
- CASTILLO, A.; MARTINEZ CARMONA, N. y PULIDO BOSCH, A. (1995). "Cuantificación del nitrógeno aportado por fertilizantes al acuífero de la Vega de Granada". *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XX: 467-479
- CASTILLO, A.; PULIDO BOSCH, A. y MARTINEZ CARMONA, N. (1997). "Evolution de la pollution par fertilisants dans un grand aquifere detritique du sud de l'Espagne". In: *Freshwater Contamination*. Ed. B. Webb. IAHS Publ. nº 243: 203-209
- CASTILLO, A. y PERANDRES, G. (2002). "Calidad del acuífero de la Vega de Granada". *Libro Homenaje a Manuel del Valle Cardenete*. Ed. IGME, CHG, COPTJA y Diputación de Granada. 185-188
- CASTILLO, A. y SANCHEZ, P. (1994). "Influencia de las evaporitas de borde en la hidrogeoquímica del acuífero de la Vega de Granada". *Geogaceta*, 14: 13-14
- CASTILLO, A. y SANCHEZ-DIAZ, L. (en elaboración). "Estudio de la calidad de las aguas de la Vega de Granada: aplicación al riego del tabaco" *Inf. restringido*. Junta de Andalucía-Universidad de Granada
- CASTILLO, A., SANCHEZ-DIAZ, L., CHICA, M. y LUQUE, J.A. (2004). "Distribución espacial de nitratos en el acuífero de la Vega de Granada: análisis de las situaciones de 1983 y 2003". *Geogaceta*, 111-114
- FAO-IGME (1972). "Proyecto piloto de las aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir; utilización de las aguas subterráneas para la mejora de los regadíos de la Vega de Granada". *Inf. restringido*
- FERNANDEZ-LORCA, S. y CASTILLO, A. (1985). "Estimaciones de parámetros físico-químicos en aguas por correlación simple. Aplicaciones al sistema hidrológico de la Vega de Granada". *I Congreso de Geoquímica*. 61-62
- IGME (1981). "Informe sobre la evolución y estado actual del acuífero aluvial de la Vega de Granada". *Inf. restringido*
- ITGE (1989). "Vega de Granada". *Serie manuales de utilización de acuíferos*