

## **Sobre la calidad físico-química de las aguas superficiales del área metropolitana de Granada**

Sánchez Díaz, Luis\* y Castillo Martín, Antonio\*\*

\* *Instituto del Agua. Universidad de Granada. C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada. E-mail: acastill@ugr.es*

\*\* *CSIC e Instituto del Agua de la Universidad de Granada*

**Palabras clave:** hidroquímica, aguas superficiales, Vega de Granada

### **RESUMEN**

En esta contribución se exponen algunos rasgos de la calidad general de los principales cauces y embalses del área metropolitana, a partir de análisis espaciales y temporales realizados en el periodo 2003-04. Los datos obtenidos permiten concluir que existe una clara diferenciación espacial de calidades, siendo la variabilidad temporal poco importante.

### **INTRODUCCION**

El área metropolitana de Granada se localiza en la Vega de Granada y pies de monte circundantes, englobando a Granada capital y demás núcleos urbanos de su contorno (500.000 habitantes; fig. 1). Todo el sector se halla enclavado en la cuenca del Alto Genil, dentro de la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir. La morfología deprimida, rodeada de sistemas montañosos, entre ellos la vertiente occidental de Sierra Nevada, le confiere una relativa abundancia de aguas superficiales. Estas acceden a través de la arteria principal, el Genil, junto a sus afluentes de cabecera, los ríos Dílar, Monachil, Aguas Blancas, Darro, Cubillas y Velillos, que drenan una superficie próxima a 2.900 km<sup>2</sup> (fig. 1). La mitad de estos cauces tienen reguladas actualmente sus aportaciones, disponiendo de los embalses de Canales (río Genil), Quéntar (Aguas Blancas), Cubillas y Colomera (cuenca del Cubillas). Las aportaciones superficiales son del orden de 330 hm<sup>3</sup>/a.

Dada la excelente calidad en origen de muchos de estos recursos, y, en especial, de los procedentes de Sierra Nevada, se utilizan mayoritariamente para el abastecimiento urbano del área metropolitana de Granada, reservando los sobrantes, las aguas residuales y las subterráneas para el regadío.

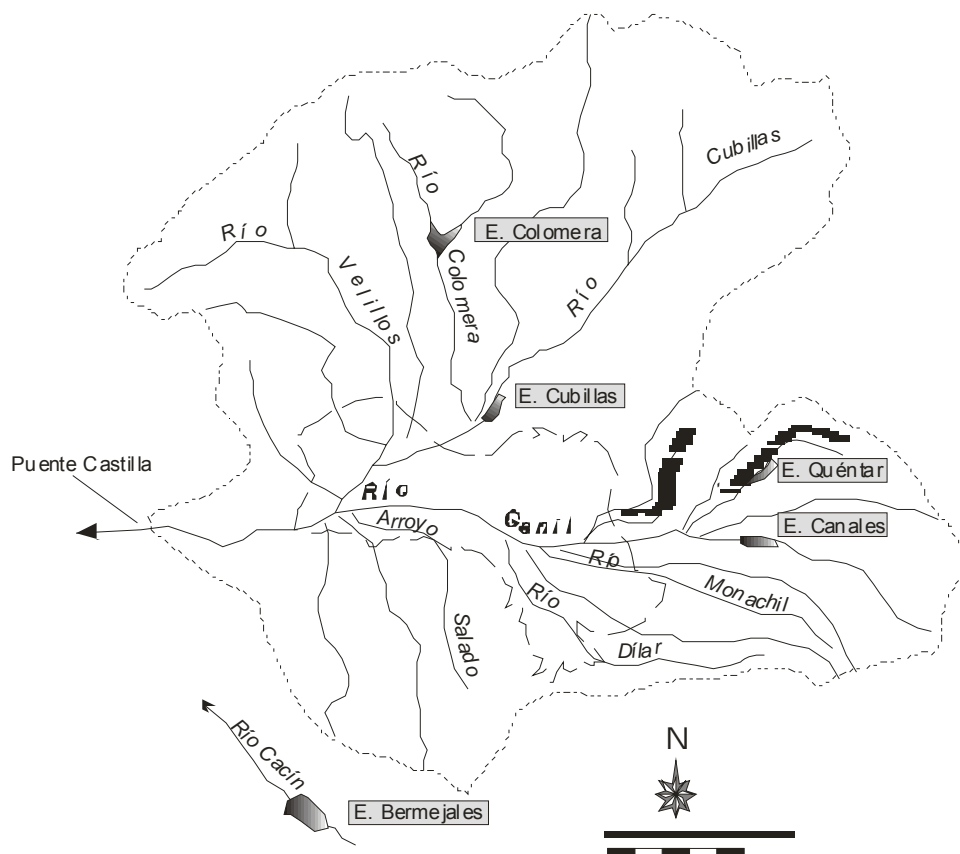


Figura 1.- Localización geográfica del área estudiada y esquema hidrográfico de la cuenca del Alto Genil

La calidad de las aguas superficiales ha sido estudiada en varias ocasiones. Castillo *et al.* (1985), Castillo (1986) y Sánchez *et al.* (1986) hicieron una caracterización hidroquímica preliminar de los principales cursos superficiales; Castillo y Benavente (1988) realizaron un perfil hidroquímico del río Genil; Castillo *et al.* (1990) llevaron a cabo el primer estudio intensivo de estas aguas a través de numerosas estaciones de control, en lo que se denominó “Proyecto del Alto Genil” (Castillo *et al.*, 1991). Por fin, Castillo y Sánchez-Díaz (2004) actualizan la calidad de las aguas de la Vega de Granada, incluyendo todos los cursos superficiales y embalses del área metropolitana.

Esta contribución proviene de ese último trabajo, realizado para la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Durante los años 2003-2004 se llevó a cabo un estudio hidroquímico de actualización de la calidad de las aguas. En concreto, se realizaron dos campañas espaciales de 50 puntos de medida, una en septiembre-octubre de 2003 y otra en marzo-abril de 2004; de forma complementaria, se seleccionaron 15 puntos representativos (entre ríos y embalses), que se analizaron mensualmente de junio de 2003 a mayo de 2004.

## CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

### Conductividad

La conductividad de las aguas es un parámetro utilizado como indicador de salinidad, y, consecuentemente, de la calidad general de las mismas. Castillo y López Chicano (1991) establecieron la relación entre ambas variables para los ríos de la zona.

En general, las aguas de superficie de la Vega de Granada poseen valores de conductividad moderados. En la figura 2 se expone la evolución mensual obtenida para la media de los valores de la red de control (con la excepción del arroyo Salado, cuya alta salinidad, 7.900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , desvirtúa los valores medios). Como puede observarse, existe una relativa homogeneidad de valores, comprendidos entre 430 (mayo de 2004) y 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (noviembre de 2003), siendo el valor medio de la serie mensual de 562  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La evolución muestra un ligero incremento de la conductividad de junio a octubre, a partir del cual, esta decrece muy lentamente hasta febrero, y con algo más de intensidad hasta mayo. En principio, esta evolución responde a un patrón clásico, que relaciona de forma inversa la conductividad con el caudal de los diferentes cauces, sin bien, como ya ha quedado expuesto, la variabilidad de los valores medios es pequeña.

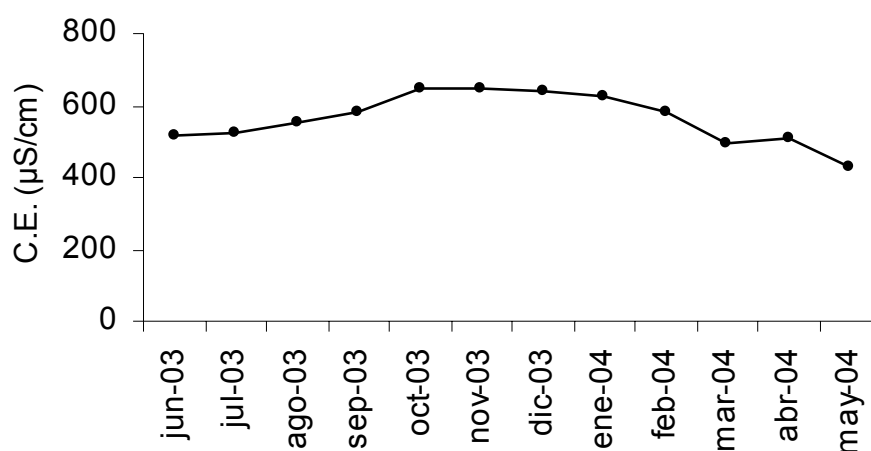


Figura 2.- Evolución mensual (2003/04) de la conductividad media de los puntos de la red de control de aguas superficiales (con excepción del arroyo Salado)

En la figura 3 se expone el mapa de isovalores de conductividad obtenido para marzo-abril de 2004. En él se observa que las aguas procedentes de la mitad oriental de la Vega de Granada (cauces de Sierra Nevada) son las de menor salinidad (inferior a 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que las de la mitad occidental presentan valores más altos, y de forma muy significativa el arroyo Salado, si bien sus caudales, afortunadamente, no son elevados. Como es habitual, se detecta un incremento natural de la salinidad en el sentido del flujo de los respectivos cauces, lo que es especialmente significativo en el entorno de la ciudad de Granada por vertidos de aguas residuales urbanas a los mismos.

Los valores de conductividades obtenidos permiten establecer la siguiente clasificación: a) cauces y embalses con aguas de conductividad inferior a 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Dílar, Monachil y Genil, y embalses de Quéntar y Canales; b) cauces y embalses con aguas de conductividades medias comprendidas entre 400 y 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Darro, canal de Albolote (Deifontes), Cubillas y Aguas Blancas, y embalses de Cubillas y Colomera; c) cauces y embalses con aguas de conductividades medias comprendidas entre 750 y 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Velillos y canal de Cacín (a partir del embalse de los Bermejales); y d) cauces con aguas de conductividades superiores a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : arroyo Salado y, ocasionalmente, tramos bajos del Cubillas y Genil (aguas abajo de Láchar).

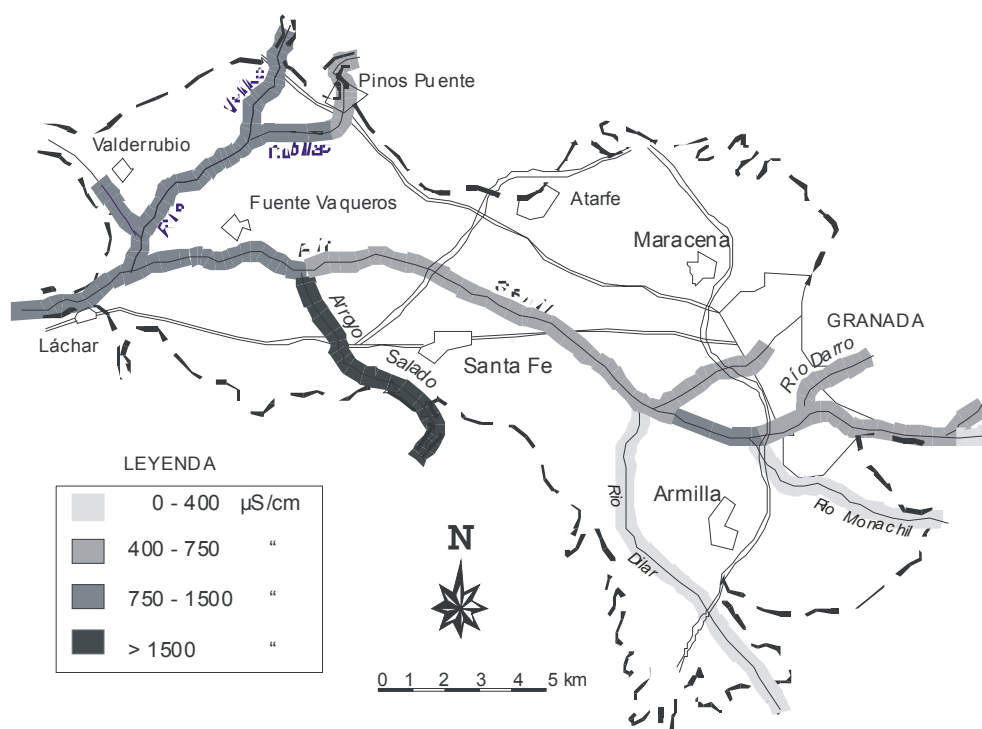


Figura 3.- Mapa de isovalores de conductividad para las aguas superficiales del área metropolitana de Granada, a partir de 50 puntos de control (marzo-abril de 2004)

## Nitratos

Las aguas superficiales que acceden a la Vega de Granada se caracterizan por presentar concentraciones promedio muy bajas de nitratos. Castillo y López Chicano (1992) recopilaron la evolución temporal de nitratos (1974-89) del río Genil en la estación de Loja, aguas abajo de la zona de estudio. En la figura 4 se expone la evolución mensual obtenida para la media de los valores de la red de control. Los valores promedio hallados estuvieron comprendidos entre 7 mg/l (noviembre de 2003) y 12 mg/l (abril de 2004), mientras que la media de la serie mensual fue de 9,4 mg/l. Como era de esperar, la evolución obtenida no sigue, en este caso, el patrón anteriormente expuesto para la conductividad, al no poseer los nitratos una correlación significativa con la salinidad, ya que su proceso de enriquecimiento, como es bien conocido, sigue una pauta diferente al de la mineralización natural.

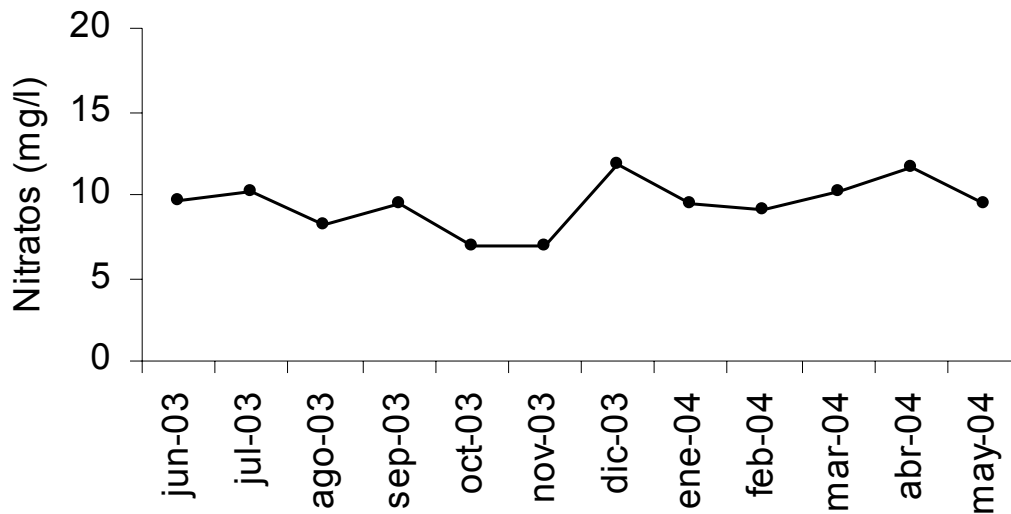
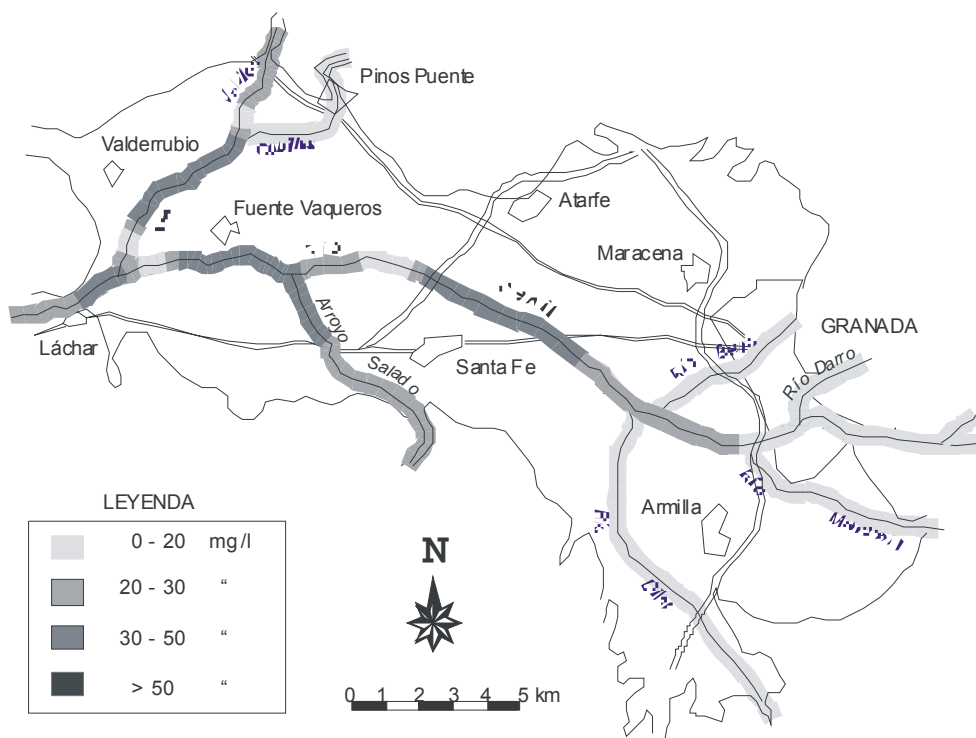


Figura 4.- Evolución mensual (2003/04) de los nitratos de los puntos de la red de control de aguas superficiales

Del análisis de la evolución temporal expuesta parece deducirse la existencia de una fluctuación de niveles de concentración, muy estrechamente ligada con periodos de escorrentía más o menos acusada; entre los picos detectados, sobresalen los de diciembre y abril, en relación con mayores tasas de escorrentía, y, consecuentemente, de lixiviación del nitrógeno contenido por fertilización en los horizontes de suelo. Por el contrario, la época de menor escorrentía, desde junio a noviembre, marca una línea decreciente en la concentración de nitratos.

En la figura 5 se expone el mapa de isocontenidos en nitratos obtenido para el muestreo de marzo-abril de 2004. Como era de esperar, los tramos más altos de los cauces son los que presentan, en general, concentraciones más bajas (inferiores a 20 mg/l), mientras que estas se incrementan en el sentido del flujo, lo cual es especialmente visible en los principales ríos del área (Genil y Cubillas). En esta ocasión, el arroyo Salado presenta bajas concentraciones, al proceder de terrenos salinos de secano (con poca fertilización). El aumento de los nitratos con el flujo viene impuesto por la lixiviación del nitrógeno de fertilizantes (normalmente por precipitaciones y retorno de regadíos) y por el aporte de nitrógeno orgánico y amoniacal (posteriormente oxidado) de aguas residuales vertidas a los cauces. Las surgencias del acuífero de la Vega de Granada a los ríos Genil y Cubillas, en el entorno de Fuente Vaqueros, elevan las concentraciones de las aguas de ambos cauces, ya que dichos aportes subterráneos poseen contenidos relativamente elevados de nitratos, del orden de 50 mg/l. El acuífero de la Vega de Granada, como todas las áreas de regadío, presenta un importante problema de afección por los fertilizantes aplicados en la agricultura. Castillo *et al.* (1995 y 1997) estudian la evolución de las dosis fertilizantes aplicadas, así como la evolución de las concentraciones en nitratos del acuífero, respectivamente.



*Figura 5.- Mapa de isocontenidos en nitratos para las aguas superficiales del área metropolitana de Granada, a partir de 50 puntos de control (marzo-abril de 2004)*

En definitiva, las bajas concentraciones detectadas (incluidas las de los cuatro embalses controlados) se deben a la escasa actividad agrícola de regadío y ocupación humana moderada de la mayor parte de las respectivas subcuencas antes de entrar en la Vega de Granada, con la única salvedad del río Velillos, afectado por vertidos orgánicos de diversa naturaleza.

A pesar de ello, en ningún caso, salvo excepciones, se superan concentraciones medias de 30 mg/l, lo que se considera aceptable, ya que la legislación española admite hasta 50 mg/l para las aguas de bebida. Las aguas con menores concentraciones medias de nitratos son las de los ríos Dílar, Genil y Aguas Blancas.

### **Otros parámetros físico-químicos y microbiológicos**

Los análisis completos realizados a las aguas de superficie aportaron información adicional. En la figura 6 se presenta el mapa de facies hidroquímicas obtenido para marzo-abril de 2004; en él se observa que las cabeceras de los distintos cauces son bicarbonatadas cálcicas, con la excepción del arroyo Salado, con facies clorurada sódica. Aguas abajo de la confluencia del arroyo Salado con el río Genil, las aguas pasan a ser sulfatadas cálcicas en ese muestreo, en respuesta a la presencia de mayores contenidos salinos.

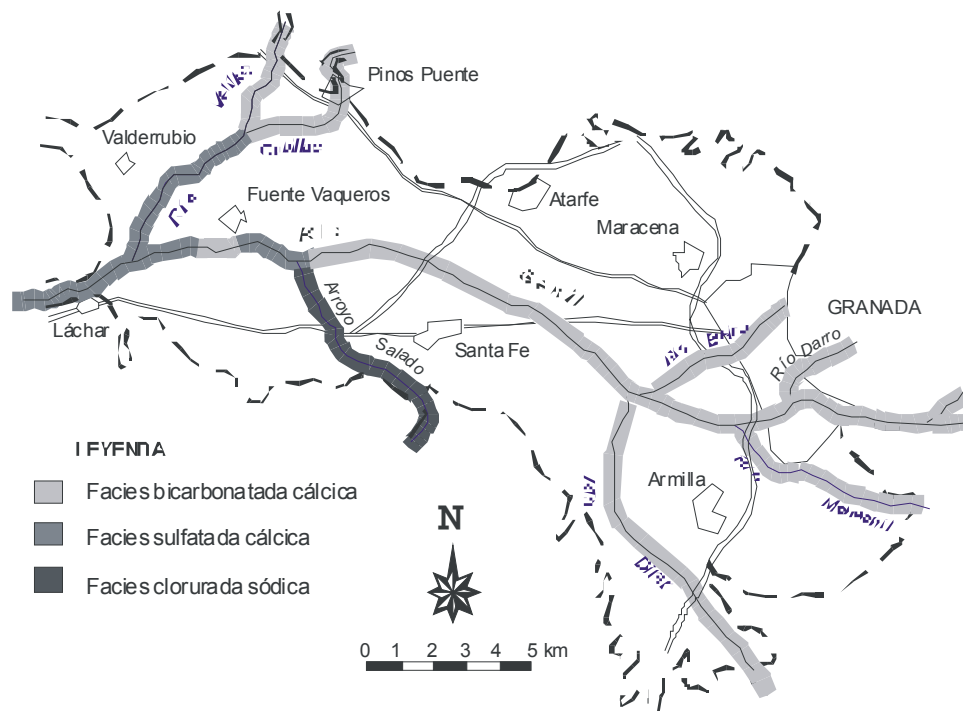


Figura 6.- Mapa de distribución de facies hidroquímicas para las aguas superficiales del área metropolitana de Granada, a partir de 50 puntos de control (marzo-abril de 2004)

Las concentraciones de plaguicidas halladas (junio de 2003) para las dos muestras seleccionadas (especialmente vulnerables: Genil en la Presilla y Láchar) fueron bajas. No se detectaron plaguicidas polares ni compuestos fenólicos, mientras que los plaguicidas organoclorados y organofosforados estuvieron dentro de rangos admisibles (inferiores a  $0,04 \mu\text{g/l}$  para los organoclorados y a  $0,004 \mu\text{g/l}$  para los organofosforados).

Las concentraciones halladas para metales pesados fueron bajas para cobre (inferiores a  $5 \mu\text{g/l}$ ), no detectándose, salvo en un solo caso, ni plomo ni cromo. El resto de los elementos analizados (hierro, manganeso y aluminio) tampoco aportaron concentraciones elevadas. Todo ello estaría relacionado con la escasez de vertidos industriales a la red fluvial, y con el efecto fuertemente diluyente de los aportes naturales, exentos de metales.

Gómez (1991) realizó un completo estudio bacteriológico de las aguas superficiales ahora estudiadas. En 2003-04, los indicadores microbiológicos determinados: coliformes totales y fecales, enterococos fecales, Clostridios sulfito reductores y *Escherichia Coli* dieron positivo en casi todos los puntos muestreados (especialmente en el río Genil en la Presilla y Láchar), como era de esperar, por los vertidos incontrolados al río, así como desde las EDAR de Purchil y los Vados. Los valores de DQO y SS dieron, sin embargo, valores inferiores a  $300 \text{ mg/l}$ , indicativos de aguas con suficiente poder de autodepuración natural.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos utilizados para la realización de este artículo provienen del contrato de investigación titulado “*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 (2002-04). También es de destacar el apoyo recibido del proyecto de investigación BTE2002-00152, del antiguo Ministerio de Ciencia y Tecnología.

## BIBLIOGRAFÍA

- Castillo, A. 1986. *Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada*. Tesis Doct. Univ. Granada. Coed. Serv. Public. Univ. Granada e IGME. 658 pág.
- Castillo, A. y Benavente, J. 1988. Consideraciones sobre la tendencia evolutiva del quimismo del río Genil (Sierra Nevada-Iznájar). *II Congreso Geológico de España*, 2: 363-366
- Castillo, A.; Fernández-Rubio, R. y Gracia, I. 1985. Características físico-químicas de las aguas superficiales de La Vega de Granada. Influencia en el quimismo de las pertenecientes al embalse subterráneo. *I Congreso de Geoquímica*. 63-64
- Castillo, A. y López-Chicano, M. 1988. Consideraciones acerca de las relaciones existentes entre las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del Alto Genil. *II Congreso Geológico de España*, 2: 367-370
- Castillo, A. y López-Chicano, M. 1991. Estudio de las relaciones caudal-conductividad-total de sólidos disueltos en algunos ríos de la provincia de Granada. *El Agua en Andalucía*, II: 289-296
- Castillo, A. y López-Chicano, M. 1992. Evolución temporal (1974-89) de los nitratos en el río Genil (estación de Loja; Granada). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XVI: 159-167
- Castillo, A.; Pulido-Bosch, A. y Martínez-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 Sánchez-Díaz, L. (2004). *Estudio de la calidad de las aguas de la Vega de Granada. Aplicación al riego del tabaco*. Inf. restringido para la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. 124 p
- Castillo, A. (coord.) y otros 1990. *Caracterización físico-químico-biológica de las aguas del Alto Genil. Estudio integral de la calidad y contaminación de las aguas*. Inf. Univ. Granada para la Dirección General de Obras Hidráulicas (Madrid). 1 vol. texto 278 pág. y 10 vol. de anexos



Gómez, L. 1991. Bacteriología del Alto Genil. *Tesis Licenc. Univ. Granada*. 122 p

Sánchez-Caballero, M.A.; Fernández-Gutiérrez, A. y Castillo, A. 1986. Caracterización físico-química preliminar de las aguas superficiales de la cuenca del Alto Genil. *El Agua en Andalucía*, II: 511-521