

## UN MACRO-ACUIFERO DETRÍTICO: LA VEGA DE GRANADA

A. Castillo-Martín<sup>(1)</sup> y J. A. Luque-Espinar<sup>(2)</sup>

- (1) CSIC/Instituto del Agua (Universidad de Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada (España).  
[acastill@ugr.es](mailto:acastill@ugr.es)
- (2) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Urb. Alcázar del Genil, 4 bajo Ed. Zulema. 18006.  
Granada (España). [ja.luque@igme.es](mailto:ja.luque@igme.es)

### RESUMEN

*El embalse subterráneo de la Vega de Granada es uno de los más grandes del Sur de la Península Ibérica, al poseer unos recursos medios comprendidos entre 230 y 160 hm<sup>3</sup>/a (según diversas estimaciones) y unas reservas explotables del orden de 1.000 hm<sup>3</sup>. El material acuífero es de naturaleza fundamentalmente aluvial (gravas, arenas y limos) y se extiende sobre una superficie de 200 km<sup>2</sup>, si bien la cuenca vertiente abarca un área de 2.900 km<sup>2</sup>. Las aguas presentan, a nivel general, buena calidad, con un promedio de sales disueltas de 1 g/l y dominio de facies bicarbonatadas cálcicas. Existen, no obstante, algunos problemas puntuales de alta salinidad natural, de afecciones microbiológicas por vertidos y riegos con aguas residuales y, sobre todo, elevados contenidos de nitratos por prácticas agrícolas. Las afecciones por plaguicidas o metales pesados son prácticamente despreciables en la actualidad.*

El acuífero detrítico de la Vega de Granada (figura 1A) es uno de los más importantes de Andalucía (Castillo, 1995); desde el punto de vista geológico, se localiza en el interior de la depresión de Granada, en el ámbito de las Cordilleras Béticas. El material acuífero corresponde, fundamentalmente, al depósito aluvial del río Genil y de sus afluentes de cabecera. Todo este depósito ha generado un potente acuífero, con espesores saturados superiores a 250 m en el sector central. Su superficie es de 200 km<sup>2</sup>, mientras que la de la cuenca vertiente es de 2.900 km<sup>2</sup>.

La cuantía de los recursos es difícil de cuantificar, debido a la complejidad de la partida correspondiente a la infiltración de aguas superficiales (riegos y cauces). Según diversas estimaciones, los recursos estarían comprendidos entre 230 y 160 hm<sup>3</sup>/a (IGME-

CHG, 2002; Castillo, 2005), con una disminución de la recarga con los años por cambios en la dinámica hídrica del sistema. Las reservas explotables del acuífero son de 1.000 hm<sup>3</sup> (FAO-IGME-1972).

El área ha propiciado, desde antiguo, el asentamiento de numerosos núcleos urbanos. En la actualidad hay más de 400.000 habitantes y, aunque el abastecimiento se realiza, fundamentalmente, desde embalses de superficie, hay infraestructura para movilizar más de 1.000 l/s del acuífero para este fin. La fertilidad del suelo ha provocado un intenso aprovechamiento de las aguas para regadío de más de 15.000 ha (cereal, chopos, hortalizas, maíz y tabaco). La industria está poco desarrollada.

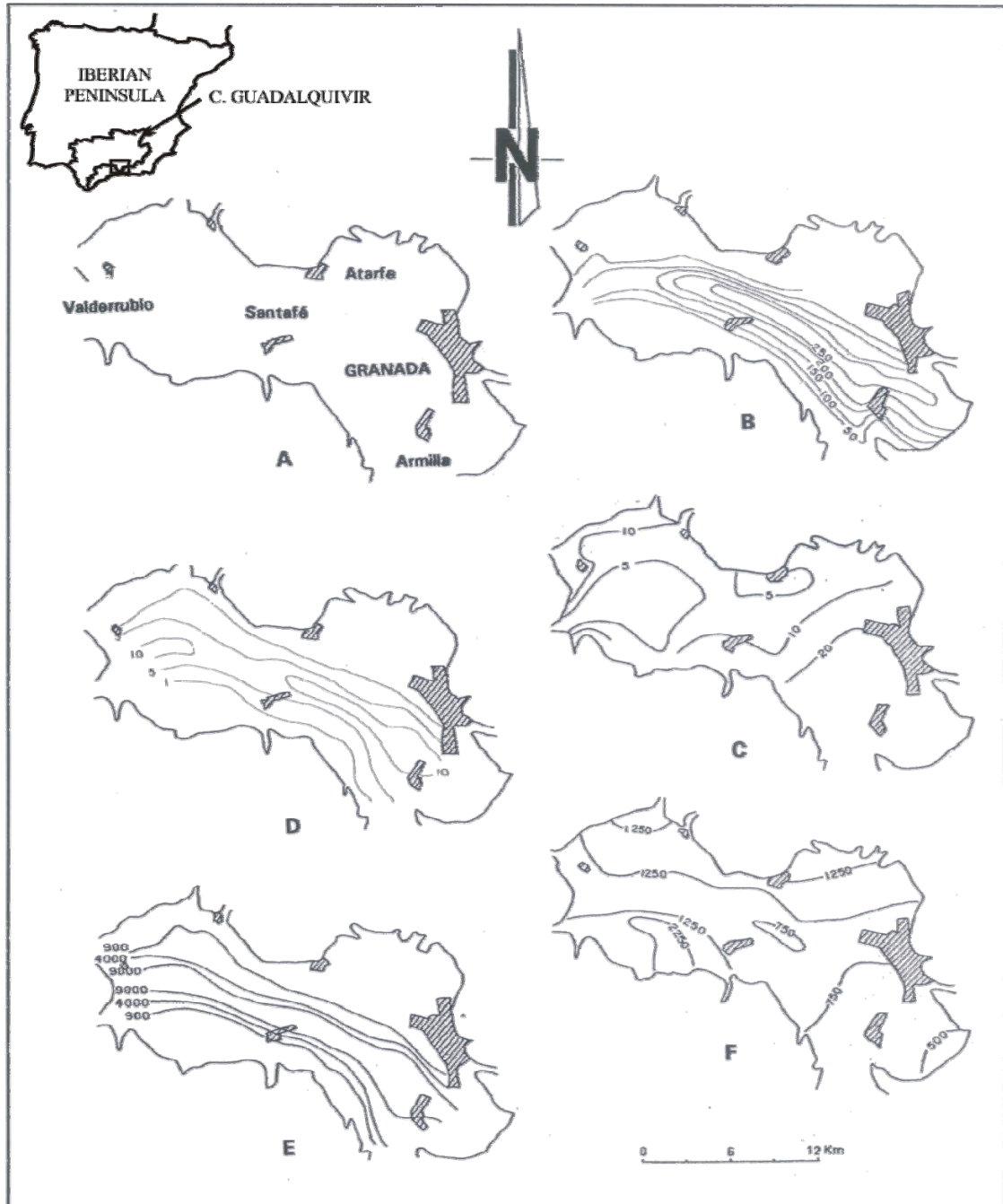


Figura 1. A. Localización geográfica del acuífero de la Vega de Granada; B. Mapa de isoespesor saturado, en m (FAO-IGME, 1972); C. Mapa de isoespesor no saturado, en m (Castillo, 1986); D. Mapa de isocoeeficientes de almacenamiento (FAO-IGME, 1972); E. Mapa de isotransmisividades, en  $m^2/día$  (FAO-IGME, 1972); F. Mapa de isoconductividades, en  $\mu S/cm$  (Castillo, 1986).

Los materiales acuíferos presentan una intensa alternancia de niveles de gravas, arenas y limos, con rápidos cambios de facies en la horizontal, en relación con los canales de aporte de energía. Este potente y extenso depósito detrítico-aluvial tiene forma de teja invertida en

dirección Este-Oeste. La potencia disminuye hacia el Oeste y los laterales (figura 1B). Los límites están constituidos por materiales neógeno-cuaternarios poco permeables del relleno postorogénico de la depresión de Granada, de litologías variables, desde las conglomeráticas a las arcillosas, con la excepción de los materiales carbonatados subbéticos de Sierra Elvira, que poseen alta permeabilidad y mantienen una moderada descarga subterránea hacia el acuífero de la Vega de Granada.

La transmisividad hidráulica media es del orden de 4.000 a 6.000 m<sup>2</sup>/día, con valores extremos comprendidos entre 40.000 m<sup>2</sup>/día (sector centro-oriental) y la decena de m<sup>2</sup>/día en los bordes más arcillosos (figura 1E). La porosidad eficaz media se estima en un 6%, con valores extremos que fluctúan entre el 1 y 10% (figura 1D). Los valores de transmisividad y de porosidad son, en gran parte, coincidentes en el espacio, conformando un sector centro-oriental de máxima potencialidad hidráulica, donde se ubican las captaciones con mayores caudales específicos.

La alimentación procede mayoritariamente de la infiltración de una parte de las aguas de escorrentía y regadío que acceden a la Vega desde su amplia cuenca vertiente. Ello supone aproximadamente el 75 % de la recarga del sistema, mientras que el resto corresponde a infiltración del agua de precipitación y a aportes ocultos desde los límites del acuífero. Como se expuso anteriormente, la estimación de las aportaciones, según distintas fuentes, fluctúa entre 230 y 160 hm<sup>3</sup>/a.

Todo este volumen anual de recarga presenta una circulación de dirección y sentido aproximado Este-Oeste. El gradiente hidráulico es, en general, muy bajo, del orden del 0,5%, excepción hecha del sector Nororiental y de los bordes del acuífero, donde la disminución de permeabilidad, por un incremento en los contenidos de arcilla, eleva los gradientes hasta valores superiores al 1,5% (figura 2). La figura 2 (superior) muestra una piezometría realizada en 1967 (FAO-IGME, 1968); esta piezometría corresponde a una situación próxima a las condiciones naturales de flujo del acuífero. Asimismo, en la figura 2 (inferior) se adjunta uno de los últimos levantamientos piezométricos realizados en el acuífero de la Vega de Granada (1997; en Castillo, 2005), lo que permite observar como se ha visto modificado el nivel en los últimos 30 años (Castillo, 2005).

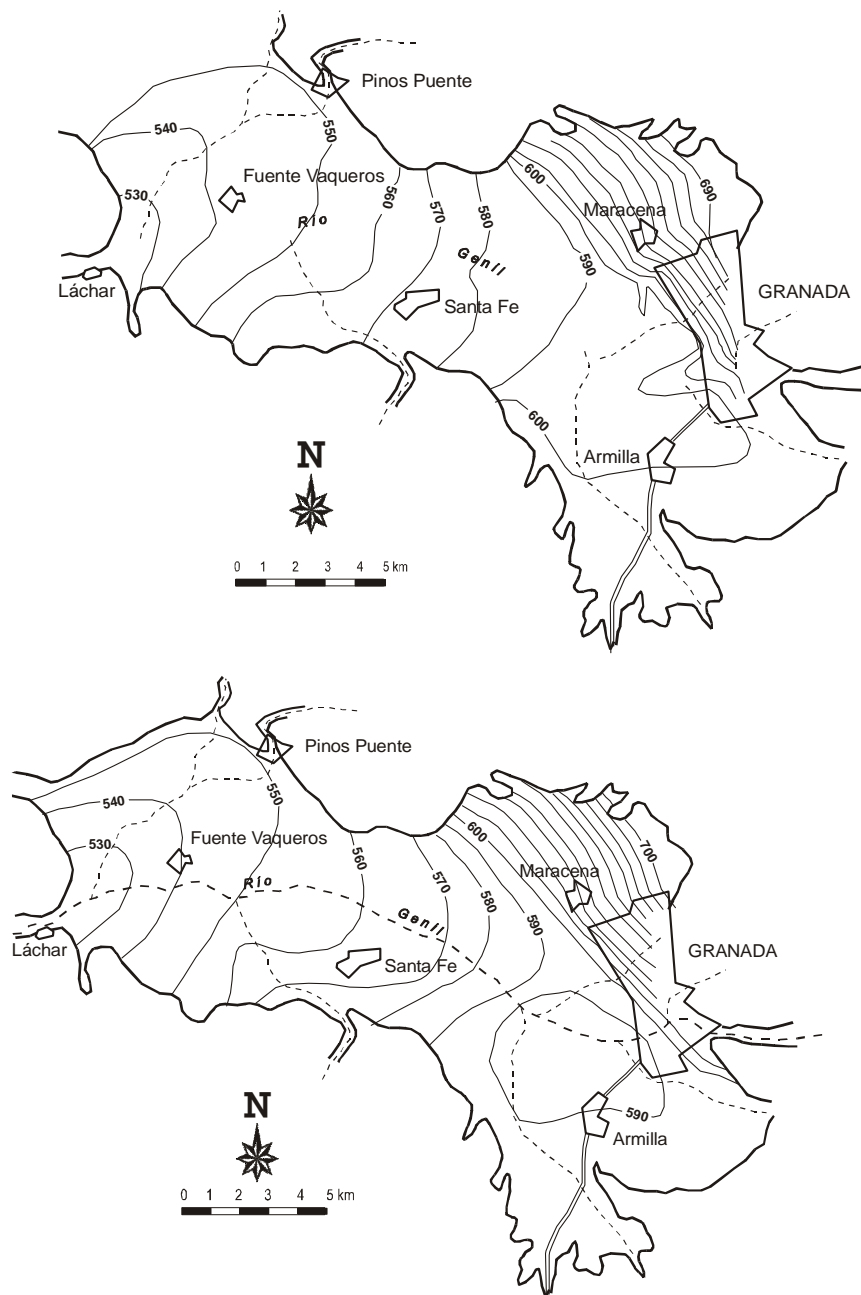


Figura 2. Mapas piezométricos (valores en m s.n.m.) del acuífero de la Vega de Granada para 1967 (superior), en FAO-IGME (1968), y 1997 (inferior), en Castillo (2005).

La descarga se produce mayoritariamente a través de aliviaderos naturales, localizados en el cierre occidental del acuífero; se trata de descargas difusas a los ríos Genil y Cubillas. La estimación aproximada de esta descarga se realizó a partir de la descomposición de los hidrogramas de la estación de aforos de Puente Castilla (Adarve y Castillo, 1999); para el periodo comprendido entre 1970-96, se evaluó una descarga subterránea media de  $130 \text{ hm}^3/\text{a}$ . El resto de la descarga correspondería a extracciones netas del sistema, ya que se consideran

despreciables las transferencias ocultas a otros sistemas limítrofes. La cuantía de la explotación por bombeo es muy difícil de estimar, debido a la multitud de captaciones sin control existentes y a la extrema variabilidad de las extracciones con los años, en relación directa con la disponibilidad de recursos de superficie.

Como ocurre en todos los grandes sistemas acuíferos detríticos, la calidad y contaminación de las aguas varía mucho según los sectores, debido a la concurrencia en ellos de diferentes condicionamientos, tanto naturales, como, sobre todo, antrópicos. En general, las aguas del acuífero son de aceptable calidad para su uso en abastecimiento humano, especialmente las del sector Suroriental (área de cabecera). La conductividad media de las aguas es de 1.300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sánchez-Díaz y Castillo, 2005), con valores extremos, en sectores localizados, comprendidos entre 400-550 y 2.000-4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La facies predominante es bicarbonatada cálcica, siendo para el resto sulfatada cálcica.

Por lo que respecta a la contaminación de las aguas, decir que el mayor impacto es el producido por el vertido de fertilizantes agrícolas, hecho responsable de un elevado contenido de nitratos de las aguas, con un valor medio de 65 mg/l (Sánchez-Díaz y Castillo, 2005), aunque en ciertos sectores se han medido concentraciones de hasta 350 mg/l). Los niveles de plaguicidas son bajos, no representando actualmente ningún riesgo sanitario. La práctica muy extendida de regar con aguas residuales urbanas sin depurar, o insuficientemente tratadas, es la responsable de algunas contaminaciones puntuales por microorganismos patógenos. La contaminación ligada a la industria es poco relevante debido al escaso volumen y peligrosidad de los vertidos generados; a nivel muy puntual se han detectado contenidos anómalos de metales pesados.

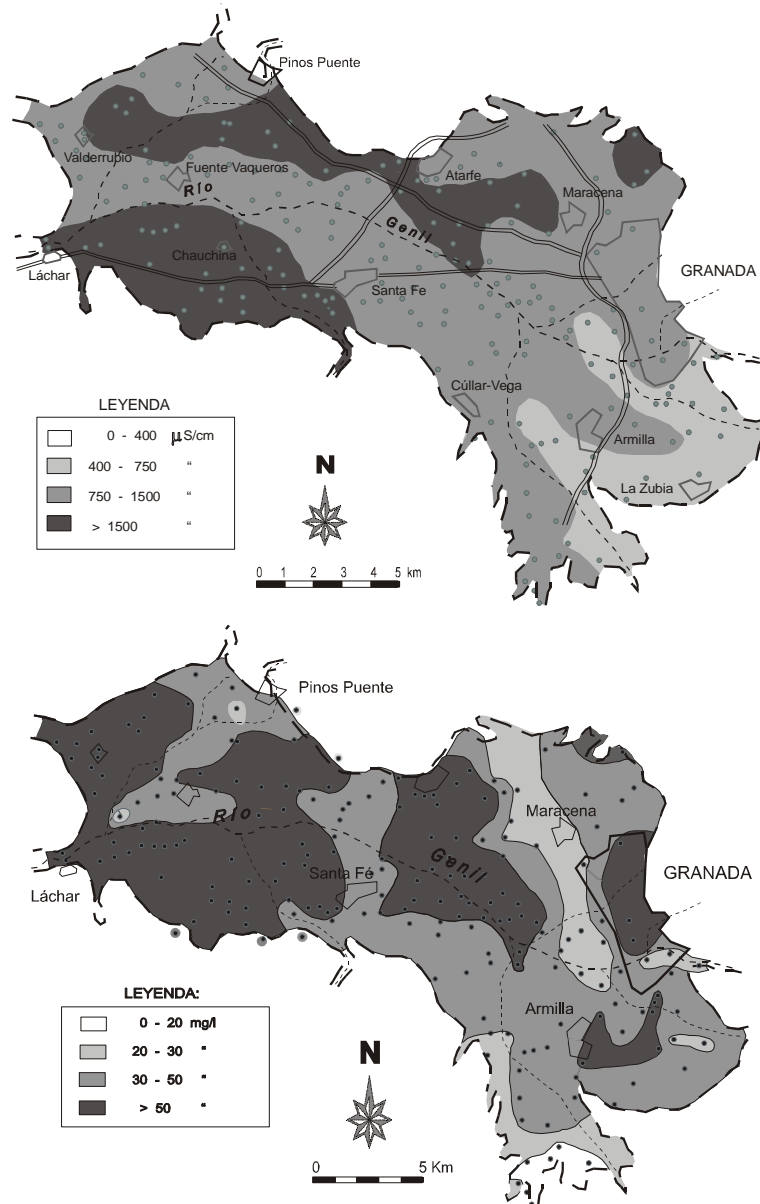


Figura 3.- Mapas de isovalores de conductividad (superior) y nitratos (inferior) para el acuífero de la Vega de Granada (marzo de 2004; Castillo y Sánchez-Díaz, 2004)

Desde otro punto de vista, al calcular el valor espectral (Jenkins y Watts, 1968), mediante el método de Blackman-Tukey (Blackman and Tukey, 1958), de las series piezométricas, se observa la existencia de cuatro ciclos distintos: 11 años, 3,2 años, 1 año y 0,5 año, aunque en series pluviométricas aparece un quinto ciclo de 22 años (Luque-Espinar, 2001; Luque-Espinar *et al*, 2005). Tanto este último como el primero, cabe relacionarlos con ciclos solares, sin embargo la mayoría de los autores consideran que el ciclo de los once años junto con el de tres se deben a la NAO (North Atlantic Oscillation), que marca el

comportamiento climático de las latitudes en las que nos encontramos. No obstante, el ENSO (El Niño South Oscillation) también podría influir en esta parte del planeta (Eddy, 1976; Hurrell, 1995). El ciclo de 1 año de duración cabe relacionarlo con el ciclo hidrológico. Por último, el ciclo de medio año también tiene un claro reflejo en algunas series, que estaría relacionada con ciclos de esta duración observados en la región, tal y como se refleja en las series termoplumiométricas.

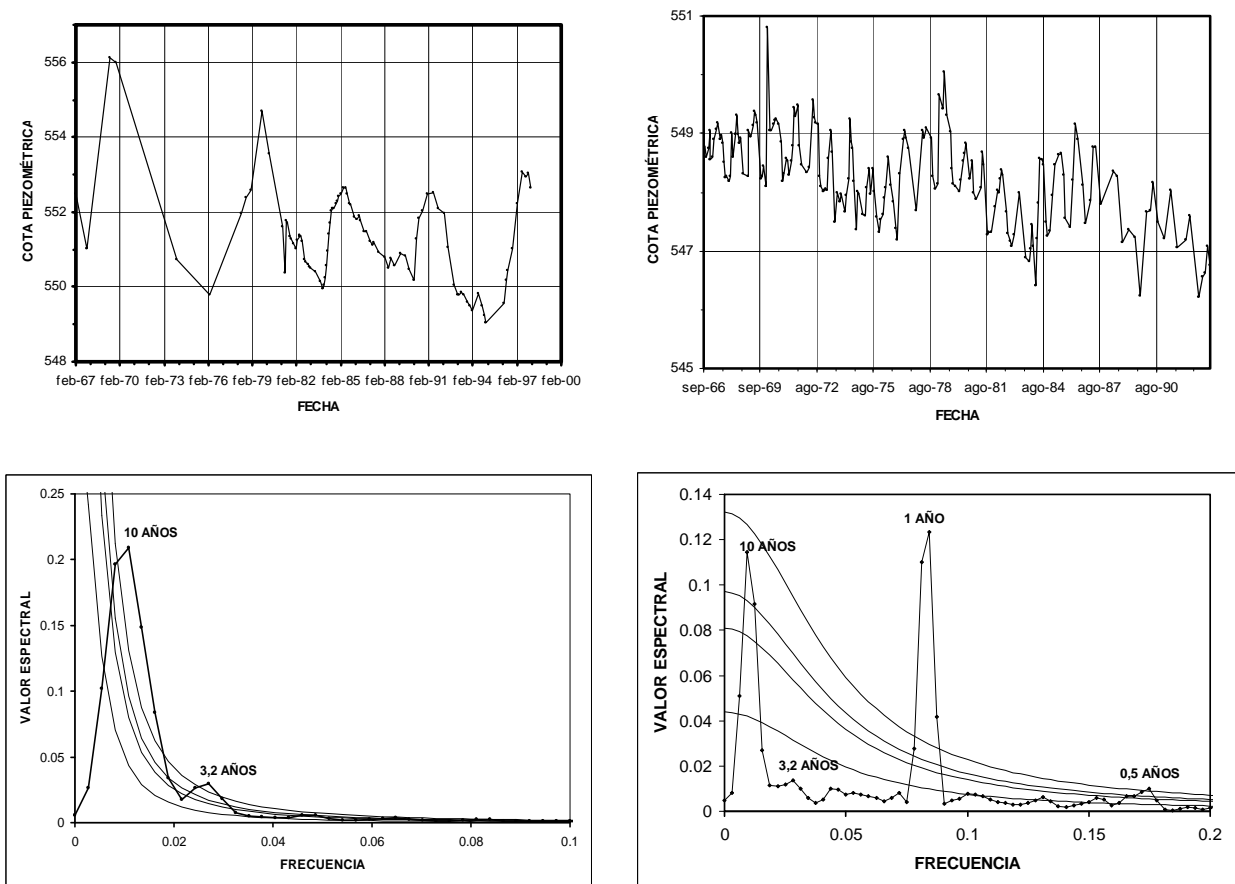


Figura 4. Evolución piezométrica en dos puntos de la Vega de Granada (arriba). Valor espectral correspondiente (abajo). Las líneas que se superponen a los gráficos del valor espectral indican el nivel de significado del pico (90% el inferior y 99% el superior (Luque-Espinar et al, 2005).



## **BIBLIOGRAFÍA**

Blackman, R. B. and Tukey, J. W. (1958). The measurement of power spectra from the point of view of communication engineering. Dover Publications, New-York.

Adarve, A. y Castillo, A. (1999). Estimación de los recursos drenados por el acuífero de la Vega de Granada al río Genil mediante el análisis de los hidrogramas de la estación de Puente Castilla (Granada; España). *Geogaceta*, 25: 7-10

Castillo, A. (1986). Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada. Tesis Doct. Univ. Granada. Ed. Univ. Granada & IGME. 658 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. (2005). “El acuífero de la Vega de Granada. Ayer y hoy (1966-2004). En: ”Agua, Minería y Medio Ambiente, Libro Homenaje al Profesor Rafael Fernández Rubio”. López Geta *et al.* (eds). *IGME*, 161-172 p

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. inédito. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. 123 p

Eddy, JA. (1976). The Maunder Minimum. *Science*, 192, 1189-1202.

FAO-IGME (1968). Proyecto de investigación hidrogeológica de la cuenca del Guadalquivir. PNUD informe restringido.

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. Informe restringido.

Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation, regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.

IGME-CHG (2002). Revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de nueva normativa y definición de nuevas unidades hidrogeológicas. Inédito.

Jenkins, Gm. and Watts, D.G. (1968). *Spectral analysis and its applications*. Holden-Day, San Francisco, 525 pp.

Luque-Espinar, J.A. (2001). Análisis geoestadístico espacio-temporal de la variabilidad piezométrica. Aplicación a la Vega de Granada. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, 298 pp.

Luque, J.A.; Castillo, A.; Juárez, J.; Riera, J.; Rubio, J.C.; Perandrés, G.; Delgado, J.; Mittelbrum, L.; Navarro, R.; Chica, M. y Delgado, M. (2002). Los acuíferos de la Depresión de Granada y su cornisa. Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete. Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces. 347-356, Madrid.

Luque Espinar, J. A., Pardo Iguzquiza, E. y Chica Olmo, M. (2005). Análisis de ciclicidades de series hidrogeológicas en el estudio de los procesos de recarga. Actas del VI Simposio sobre el agua en Andalucía. 451-458. Madrid.

Sánchez-Díaz, L. y Castillo, A. (2005). Calidad general de las aguas de la Vega de Granada. Análisis comparativo de las aguas superficiales, subterráneas y residuales. En: J.A. López Geta, J.C. Rubio y M. Martín Machuca (eds). VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. Vol . II, 1.237-1.245 p