

# Estimación de la recarga natural en cuatro acuíferos kársticos del alto Vinalopó (Alicante) y relación con el cambio climático

H. Aguilera y J.M. Murillo

Instituto Geológico y Minero de España. c/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid  
E-mails: h.aguilera@igme.es - jm.murillo@igme.es

## RESUMEN

Este estudio supone un primer paso para evaluar los efectos del cambio climático (CC) sobre la recarga natural de los acuíferos. Para estimar la recarga se ha utilizado un modelo matemático unicelular de tipo depósito, que reproduce el fenómeno recarga-explotación-evolución de los niveles piezométricos con un paso de tiempo mensual. Se han seleccionado cuatro acuíferos kársticos sobreexplotados del Alto Vinalopó (Alicante). Las series históricas de recarga para los 100 años del siglo XX, agrupadas por décadas, muestran una tendencia decreciente de tipo logarítmico en los cuatro acuíferos. Este hecho se debe a la tendencia decreciente de la precipitación y creciente de la temperatura observada mediante el test de correlación de Spearman. El porcentaje de recarga sobre la precipitación total sigue también una tendencia significativamente decreciente en todos los casos. La principal conclusión del estudio es que el modelo ERAS (Estimación de la Recarga en Acuíferos Sobreexplotados) se ha mostrado eficaz para estimar la recarga en acuíferos kársticos y, por tanto, es válido para simular condiciones futuras a partir de modelos predictivos de CC.

Palabras clave: cambio climático, kárstico, modelo ERAS, recarga natural, sobreexplotado

## ***Natural recharge estimation in four karstic aquifers from the high Vinalopo region (Alicante) and its relation to climate change***

### ABSTRACT

*This study supposes a first step to evaluate the effects of the climatic change (CC) on the natural recharge of aquifers. To estimate the recharge a unicellular deposit type mathematical model has been used. It reproduces the recharge-exploitation-evolution of piezometric heads phenomenon with a monthly time step. Four overexploited karstic aquifers in the High Vinalopo County (Alicante) have been selected. Annual recharge time series for the 20th century grouped into decades show a logarithmic decreasing tendency in the four aquifers. This fact is due to a decreasing trend of the annual rainfall and an increasing trend of the temperature, observed by means of the Spearman correlation test. The percentage of recharge on total rainfall also follows a significantly decreasing tendency in all cases. The main conclusion of the study is that the ERAS model (Estimation of Recharge in Overexploited Aquifers) has been shown to be efficient to estimate the natural recharge in karstic aquifers and so it is valid for simulating future conditions from CC prediction models.*

*Key words: ERAS model, climate change, karstic, natural recharge, overexploited*

## Introducción

La recarga natural de los acuíferos es un término básico del balance hídrico y su conocimiento y evaluación constituye un problema complejo influenciado por múltiples factores. El cambio climático (CC), en lo que se refiere a las variaciones de temperatura y precipitación principalmente, puede influir notablemente sobre la cantidad de agua que llega a los acuíferos. Determinar cómo estas variaciones influyen sobre la recarga se antoja como un reto de capital

importancia para lograr una gestión eficaz de los recursos hídricos, especialmente de los acuíferos más vulnerables. Según las predicciones de los modelos de CC, para el horizonte de 2030, se prevé un aumento de temperatura media anual que oscilaría entre 1 y 4°C y la precipitación media anual podría experimentar descensos generalizadas entre el 5 y el 15% (MIMAM, 2005). Además se apunta una tendencia irregular tanto espacial como temporal en la distribución de las precipitaciones con una posible intensificación de las mismas en lapsos de tiempo más

cortos, lo que se traduciría en un aumento de la escorrentía superficial en detrimento de la infiltración durante los períodos de mayor torrencialidad. En general, esto implicaría un aumento de los períodos secos.

El estudio que se resume en el presente documento supone un primer paso para evaluar el efecto del incremento o decrecimiento que un posible CC ha producido sobre la recarga natural de cuatro acuíferos de Alicante durante los últimos 100 años. Los objetivos concretos son los siguientes:

- Aplicación de modelo matemático de estimación de la recarga simple y sencillo, como primera aproximación.
- Generación de series históricas de recarga del período 1900-2000.
- Análisis anual y por décadas de la evolución de la precipitación, temperatura y recarga.

### Metodología de trabajo

El modelo matemático utilizado es unicelular de tipo depósito y está fundamentado en el modelo MEDA de descarga de acuíferos (Iglesias, 1984). Reproduce el fenómeno recarga-explotación-evolución de los niveles piezométricos con un paso de tiempo mensual. En el modelo, la recarga en el mes  $i$  corresponde a una fracción de la lluvia útil,  $R_i = M \cdot (P_i - T_i^p)^N$ , donde  $M$  y  $N$  son parámetros a calibrar. Los datos de partida son precipitaciones, temperaturas, extracciones y niveles piezométricos. Para los primeros se han utilizado los valores de la estación termoplumiométrica 8007 (Villena), por ser representativa de las condiciones climáticas del área de estudio. La serie ha sido completada con el programa CORTREST, del paquete HIDROBAS, que realiza una correlación ortogonal entre estaciones y restituye los valores de una estación incompleta a partir de una estación base (Ortiz López *et al.*, 2001).

La principal ventaja del modelo es su independencia del mecanismo de desplazamiento del agua en el suelo y en la zona no saturada. La aplicabilidad se restringe a acuíferos que reaccionen ante la recarga de modo rápido y se considera que las únicas entradas al sistema son por la lluvia, y las salidas por bombeos en pozos y sondeos de captación. Por ello, se han seleccionado cuatro acuíferos kársticos (calizos y dolomíticos) sobreexplotados del Alto Vinalopó (Alicante): Jumilla-Villena, Serral-Salinas, Solana y Peñarubia. Los cuatro están incluidos en el "Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización" (DGOHCA e ITGE, 1997).

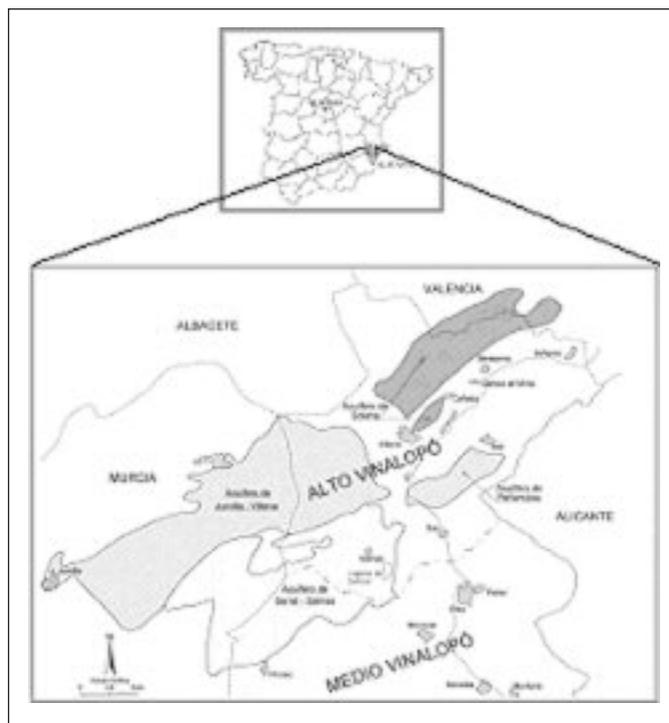


Fig. 1. Situación de los acuíferos en la comarca del Alto Vinalopó  
Fig. 1. Situation of the aquifers at the High Vinalopó region

### Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para los parámetros calibrados implican valores de  $N$  en torno a 1 en todos los casos, lo que sugiere una cierta tendencia hacia la linealización del modelo, y que la recarga absoluta estimada es mayor en Solana y Peñarubia que en Jumilla-Villena y Serral-Salinas, debido al mayor valor de  $M$  en los dos primeros.

El test de correlación Spearman, utilizado para el análisis de la evolución de las variables climáticas a lo largo de los 100 años, ha detectado una tendencia decreciente en la precipitación ( $r=-0,3$ ) y otra creciente, más fuerte, en la temperatura ( $r=0,7$ ), ambas significativas al nivel 0,01, es decir, con un 99% de confianza (Figs. 2 y 3). Estas observaciones concuerdan con las de otros autores para otras regiones de la Península (González-Hidalgo *et al.*, 2001; Labajo y Piorno, 2001; Brunet *et al.*, 1999; Capó *et al.*, 1999). El incremento medio de temperatura por década ha sido de 0,16°C, mientras que la disminución media en la precipitación fue de 32,5 mm por década. En el caso de la precipitación, la Fig. 4 representa la distribución de años húmedos, medios y secos a lo largo de los 100 años hidrológicos de la serie. Esta tipología ha sido establecida ajustando la serie de pluviometrías anuales a la función de distribución

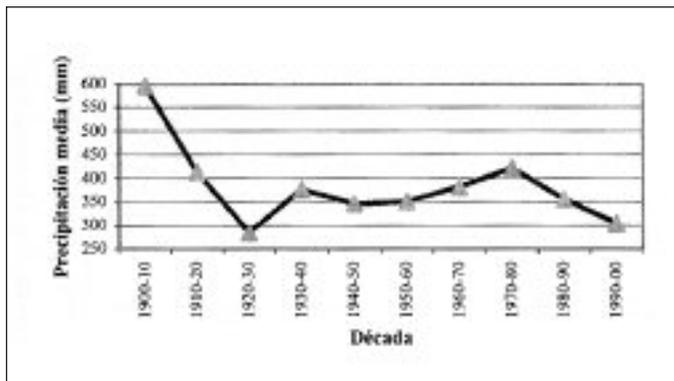


Fig. 2. Precipitación media en la estación 8007 (Villena) en cada década

Fig. 2. Mean decade rainfall at the 8007 station (Villena)

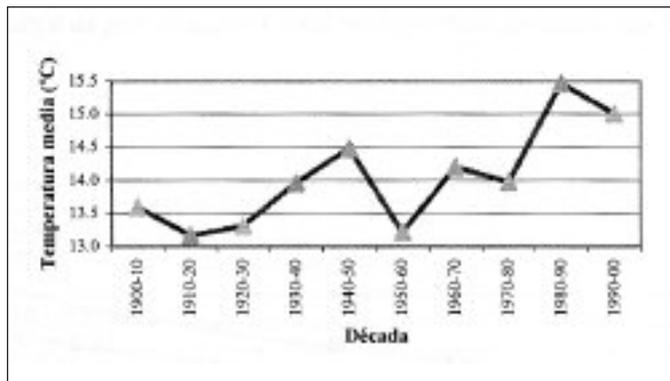


Fig. 3. Temperatura media en la estación 8007 (Villena) en cada década

Fig. 3. Mean decade temperature at the 8007 station (Villena)

de Goodrich. Se observa una mayor abundancia de años húmedos en el primer tercio de siglo y un incremento de años secos durante el tramo final del mismo. La desviación acumulada respecto a la precipitación media anual se acopla perfectamente a la sucesión de los distintos tipos de años y viene a corroborar el descenso generalizado de la pluviometría durante el período considerado. Los pequeños picos de descenso representarían los eventos de sequía más pronunciados.

Las series históricas de recarga agrupadas por décadas muestran una clara tendencia decreciente, de tipo logarítmico, en los cuatro acuíferos (Fig. 6). Destaca el rápido descenso de los valores de recarga anual media a lo largo de las tres primeras décadas del siglo y el hecho de que se haya reducido en más de un 50% entre 1900-1910 y 1990-2000. El análisis de correlación de Spearman ha mostrado también que el porcentaje de recarga sobre la precipitación total sigue una tendencia significativamente decreciente en todos los casos (Fig. 5). Por tanto, la recarga relativa se ve reducida progresivamente a lo largo del siglo a medida que disminuye la precipitación total y aumenta la temperatura.

### Conclusiones

Los valores del parámetro N han resultado ser próximos a la unidad en todos los casos, lo que sugiere una ligera tendencia hacia la linearización, y por tanto, una posible simplificación del modelo ERAS.

Las series históricas de recarga agrupadas por décadas muestran una clara tendencia decreciente de tipo logarítmico en los cuatro acuíferos.

El porcentaje de recarga sobre la precipitación acaecida disminuye progresivamente a lo largo del

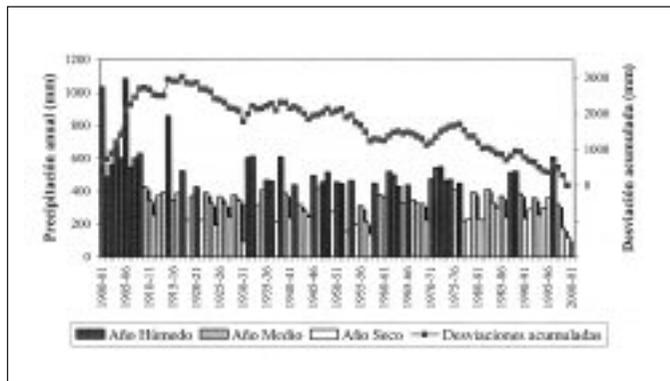


Fig. 4. Precipitaciones anuales en la estación 8007 (Villena) durante el período 1900-2000. Tipo de año hidrológico a partir de la función de distribución de Goodrich, la línea representa las desviaciones acumuladas respecto a la precipitación media anual

Fig. 4. Annual rainfall at the 8007 station (Villena) along the 1900-2000 period. Type of hydrologic year (humid, average or dry) based on the Goodrich distribution function. Line shows the accumulated deviations from the mean annual rainfall

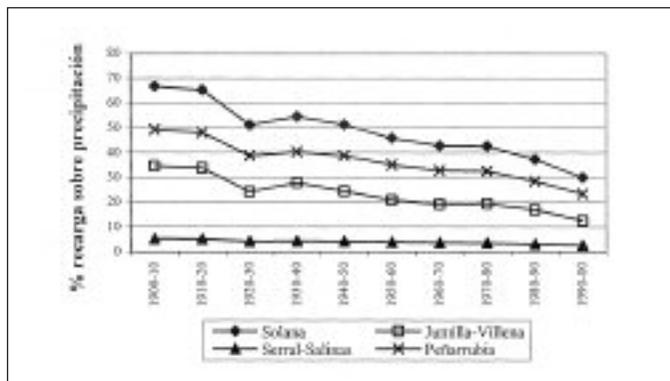


Fig. 5. Porcentajes de recarga sobre precipitación acaecida por acuífero y década

Fig. 5. Recharge as percentage of total precipitation for each aquifer and decade

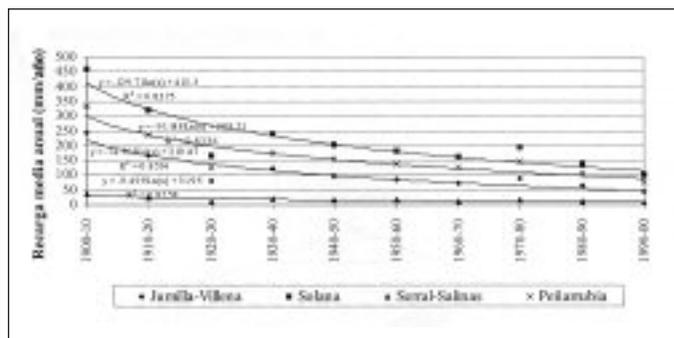


Fig. 6. Ajuste logarítmico de la recarga media anual a lo largo de las cuatro décadas en los acuíferos de Jumilla-Villena, Serral-Salinas, Solana y Peñarubia

*Fig. 6. Logarithmic fit for the mean annual recharge into Jumilla-Villena, Serral-Salinas, Solana and Peñarubia aquifers, along the four decades*

siglo XX, lo que puede indicar una disminución efectiva de los recursos subterráneos disponibles.

El modelo ERAS se ha mostrado eficaz y, por tanto, puede ser válido para simular, en una primera aproximación, los distintos escenarios de CC en acuíferos sobreexplotados. Para una mayor concreción, en un futuro próximo será necesario elaborar herramientas matemáticas capaces de suministrar una mayor precisión. Dichas herramientas deberán contemplar un paso de tiempo de tipo horario.

## Referencias

Brunet, M., Aguilar, E., Saladie O., Sigró, J. y López, D. 1999. Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria en el NE de España. En: Oikos-Tau (ed.), *La Climatología*

española en los albores del siglo XXI. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Barcelona, 103-112.

Capó, E., Llasat, M.C. y Quintas, L. 1999. Caracterización pluviométrica espacio temporal de España dentro del proyecto AMHY/FRIEND. En: Oikos-Tau (ed.), *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Barcelona, 123-130.

DGOHCA-ITGE, 1997. Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación salinización. Predefinición del programa de actuación (convenio DGOHCA-ITGE).

González-Hidalgo, J.C., De Luis, M., Raventós, J. y Sánchez, J.R. 2001. The spatial and temporal structure of rainfall trends in the Valencia Region (eastern of Spain) over the second half of the 20<sup>th</sup> century. En: Springer-Verlag (ed.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, New York, 175-189.

Iglesias López, A. 1984. Diseño de un modelo para el estudio de descargas de acuíferos. *Modelo Meda*. *Boletín Geológico y Minero*, 95 (1), 52-57.

Labajo, J.L. y Piorno, A. 2001. Regionalization of precipitation in Castilla and Leon. Analysis of its temporal behaviour. En: Springer-Verlag (ed.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, New York, 163-174.

MIMAM, 2005. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efectos del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. En fase de publicación.

Ortiz López, J.I., Iglesias Delgado, T.E., Hernández Manchado, R., De Mera Merino, A., Gómez Sánchez, M., López Bravo, J. y Ballester Rodríguez, A. 2001. Desarrollo de programas para el tratamiento de series hidrológicas y evaluación de aportaciones hídricas subterráneas (HIDROBAS v. 3.0). VII Simposio de Hidrogeología, Murcia, 23, 333-341.

Recibido: diciembre 2005

Aceptado: julio 2006