

# El papel del suelo y la vegetación en la estimación de la recarga del acuífero del Ventós (Alicante)

## *Soil and vegetation role in the recharge assessment of Ventos aquifer (Alicante)*

José Miguel Andreu<sup>(1)</sup>, Issam Touhami<sup>(2)</sup>, Juan Bellot<sup>(2)</sup>, Juan Rafael Sánchez<sup>(2)</sup>, Antonio Pulido-Bosch<sup>(3)</sup>, Pedro Martínez-Santos<sup>(4)</sup>, Ernesto García-Sánchez<sup>(5)</sup> y Esteban Chirino<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Apdo. Correos, 99, 03080 Alicante, España. andreu.rodas@ua.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Ecología, Universidad de Alicante, Apdo. Correos, 99, 03080 Alicante, España. issam\_touhami@yahoo.fr, juan.bellot@ua.es, jr.sanchez@ua.es, esteban.chirino@ua.es

<sup>(3)</sup> Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería, Campus de La Cañada, 4120 Almería, España. apulido@ual.es

<sup>(4)</sup> Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, C/ José Antonio Novais, 2, 28040 Madrid, España. pemartin@geo.ucm.es

<sup>(5)</sup> Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández, Avda. Ferrocarril, s/n, 03202 Elche, Alicante, España. ernesto.garcia@umh.es

<sup>(6)</sup> Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, C/Charles R. Darwin, 14, Parque Tecnológico, 46980 Paterna, Valencia, España. esteban.chirino@ua.es

### ABSTRACT

A soil water balance model, HYDROBAL, has been used to quantify recharge in a karst aquifer under dry weather conditions. The model has also been useful to establish the importance of variables such as vegetation types and soil moisture on aquifer recharge rates. Two simulations were carried out. The first one assumes no vegetation cover, while the second takes into account vegetation types and their spatial distribution based on field data. Results show that balance-based methods such as this one should ideally consider vegetation cover. Not doing so, even in the case of semiarid regions, may lead to overestimate recharge.

**Key-words:** HYDROBAL, karstic aquifer, recharge, vegetation role, water budget.

### RESUMEN

La aplicación del modelo de balance hídrico del suelo HYDROBAL ha permitido, además de cuantificar la recarga en condiciones secas para este acuífero, establecer la importancia que juegan otras variables como el tipo de vegetación y, sobre todo, las condiciones hídricas que presenta el suelo en cada momento. Para ello se efectuaron dos modelizaciones, una asumiendo condiciones de suelo desnudo sin vegetación, y otra en la que se tuvo en cuenta el tipo y distribución geográfica de la cobertura vegetal. Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de este tipo de métodos de balances del suelo deberían considerar la cobertura vegetal, incluso en este tipo de ámbitos semiáridos; de lo contrario, se podría generar sobreestimaciones de la recarga.

**Palabras clave:** HYDROBAL, acuífero kárstico, recarga, papel de la vegetación, balance hídrico.

Geogaceta, 51 (2012), 87-90.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2011  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011  
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

## Introducción

El acuífero del Ventós es un pequeño acuífero kárstico situado en la provincia de Alicante en un área de características semiáridas. Con el objeto de mejorar el conocimiento de su funcionamiento hidrogeológico y, especialmente, su recarga natural se instaló un sistema automatizado de control hidrológico y climático, el cual está funcionando desde hace casi una década. Desde entonces el grado de conocimiento sobre estos aspectos ha ido incrementándose a lo largo del tiempo.

A grandes rasgos se ha podido constatar que, debido a su emplazamiento cli-

mático, este acuífero recibe un número reducido de eventos de lluvia anual capaces de generar precipitaciones eficaces, lo que conlleva una baja tasa de recarga, así como periodos sin alimentación que pueden llegar a superar un ciclo anual (Andreu *et al.*, 2002 y 2006). El acuífero experimenta una rápida respuesta piezométrica frente a los eventos de entrada (prácticamente inmediata, menor de un día), haciéndolo especialmente interesante a la hora de estudiar la recarga (Martínez y Andreu, 2010).

Sin embargo, a pesar de la alta correlación entre los eventos de recarga y los ascensos piezométricos, hasta el momento no se había podido establecer una clara co-

rrespondencia entre la cuantía de la precipitación y la magnitud de dichas recuperaciones. Así, bajo condiciones hidrodinámicas semejantes, lluvias de iguales características generaban respuestas piezométricas diversas. Las diferencias entre eventos de recarga ponen de manifiesto la complejidad inherente al proceso de recarga.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) aumentar el grado la comprensión del proceso de recarga en este pequeño acuífero kárstico mediante la aplicación del modelo de balance hídrico del suelo HYDROBAL, 2) profundizar en la importancia del tipo de vegetación y de las condiciones del suelo sobre el balance hídrico y la recarga en ecosistemas semiáridos.

## El medio físico

El acuífero del Ventós está formado por una secuencia de calizas cretácicas pertenecientes al dominio Prebético de la Cordillera Bética (Fig. 1). Se trata de un pequeño acuífero aislado, de menos de 7 km<sup>2</sup> de superficie y rodeado por materiales margosos de comportamiento impermeable. Este pequeño sistema se alimenta exclusivamente de la recarga procedente de la infiltración de la precipitación caída sobre los materiales permeables, mientras que su descarga tenía lugar, cuando su funcionamiento era en régimen natural, por un manantial, situado en su sector SW. Actualmente, las salidas se producen únicamente por un sondeo, ya que el manantial quedó seco al poco de poner en funcionamiento el bombeo.

El acuífero se emplaza en un ambiente climático mediterráneo de características semiáridas. La precipitación anual media asciende a 275 mm, mientras que la temperatura media anual es de 18,5 °C. El número de días de lluvias en esta región varía entre 20 y 70, si bien, cuando se analizan las cuantías de tales precipitaciones se observa que el 80% de estos días presentan precipitaciones inferiores a 5 mm (Chirino, 2003).

El relieve que constituyen las sierras de Ventós y Castellar presenta una vegetación de características semiáridas, en la que existe un predominio del esparto con respecto a otras especies y en la que se encuentran numerosos pinos de pequeño tamaño diseminados que no llegan a formar un bosque. A grandes rasgos las comunidades vegetales mejores representadas son espartales (*Stipa tenacissima*), matorrales (*Quercus coccifera* L., *Pistacia lentiscus* L. y *Erica multiflora* L.) conjuntamente con pinos de replantación (*Pinus halepensis*) y pastizales (*Brachypodium retusum*).

Desde un punto de vista edáfico, el suelo existente sobre este relieve está poco desarrollado. Se ha estimado una profundidad media de 0,15 m, valor obtenido por penetración de una vara hasta alcanzar la roca en 12 transectos sobre el acuífero. A grandes rasgos, puede clasificarse como un Leptosol lítico. Muestra un patrón textural típico compuesto por 17,7 % arcillas, 50,9 % limos, 8,4 % arena fina y 23,0 % arena gruesa. Como principales características se puede destacar que presenta una densidad media de 1,28 g cm<sup>-3</sup> y una porosidad de 58,2 % (Chirino, 2003; Ramírez, 2006).

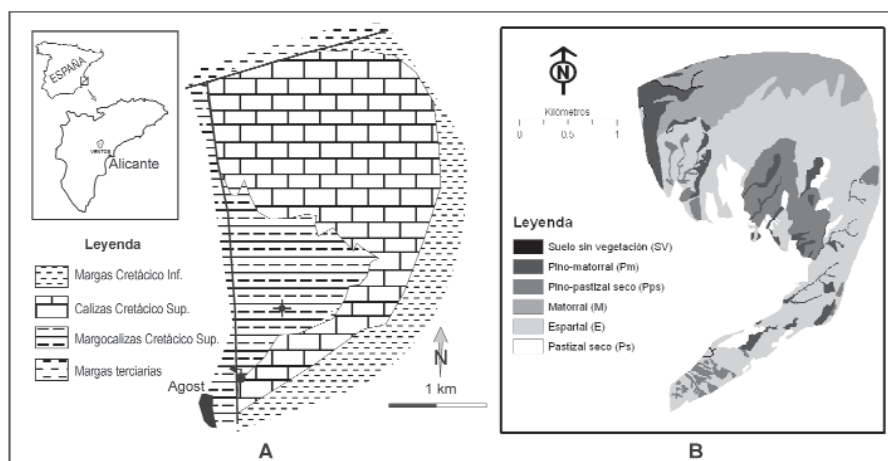


Fig. 1.- A) Localización geográfica, esquema hidrogeológico del acuífero. B) Unidades de cobertura vegetal sobre el área de recarga del acuífero del Ventós.

Fig. 1.- A) Geographical setting, hydrogeologic scheme. B) Vegetation cover units on the aquifer recharge area of Ventós.

## El modelo HYDROBAL

El modelo HYDROBAL, desarrollado por el Departamento de Ecología de la Universidad de Alicante, es un modelo de balance hídrico que permite estimar el flujo de agua diario a través de la cubierta vegetal y establecer de forma cuantitativa un balance de agua en el suelo. Su diseño conceptual se asemeja a los modelos BALDOS.10, VISUAL BALAN, o SWAT, si bien, su principal característica frente a otros es que fue calibrado para condiciones climáticas semiáridas. El modelo ha sido aplicado en estudios previos con buenos resultados (Bellot *et al.*, 1999, 2001; Chirino, 2003).

Para establecer el balance hídrico de forma cuantitativa, el modelo requiere de un conjunto de variables de entrada. Algunas con una resolución diaria como las climáticas (precipitación y temperatura, entre otras); otras son parámetros específicos del suelo como capacidad de campo, punto de marchitez y humedad del suelo inicial y, finalmente, varios parámetros para el calibrado del modelo (consumo de agua de la vegetación, humedad inicial), el tipo de formación vegetal (pinar, matorral, pastizal, espartal, etc.) y el porcentaje de cobertura vegetal, la cual juega un papel importante en los cálculos desarrollados por el modelo.

A partir de los datos de entrada, el modelo calcula la evapotranspiración potencial ( $Et_p$ ) según diversos métodos. En este caso se han utilizado las ecuaciones de Haergraves-Samani; así como la distribución diaria de la lluvia en diferentes flujos de agua (intercepción, precipitación neta, escorrentía

superficial) para cada tipo de cubierta vegetal. Para estimar la evapotranspiración real ( $Et_r$ ), el modelo utiliza una aproximación exponencial negativa como una función de la evapotranspiración potencial ( $Et_p$ ) y de un factor  $k$ . El factor  $k$  es un parámetro empírico que integra las características estructurales y ecofisiológicas de la cubierta vegetal (Chassagneux y Choisnel, 1986). Entre las variables de salida que permite estimar el modelo se encuentran la humedad del suelo a nivel diario y el drenaje profundo, variable que puede considerarse como la cantidad de recarga potencial que percolaría por la zona no saturada adentrándose en el acuífero.

## Resultados

Para la aplicación del modelo HYDROBAL se ha utilizado el periodo comprendido entre los años hidrológicos 2002/03 y 2005/06. El modelo se ha empleado bajo dos supuestos: (1) sin tener en cuenta la vegetación y (2) teniendo en cuenta la cobertura vegetal que presenta actualmente el relieve. Para ello se elaboró una cartografía con los 6 tipos más representativos de vegetación sobre el área de recarga del acuífero, la cual se ubica en la parte más elevada del relieve. Los tipos de cubierta vegetal identificados fueron: suelo sin vegetación (SV), espartal (E), pastizal seco (Ps), matorral (M) y las formaciones derivadas de la reforestación sobre estas dos últimas, pinar sobre pastizal seco (Pps) y pinar sobre matorral (Pm). La tabla 1 y la figura 1 B muestran su extensión superfi-

cial y su distribución sobre el área de recarga.

Tipos	Superficie (%)
Sin Vegetación	1
Espartal	50
Pastizal seco	11
Matorral	14
Pinar pastizal seco	12
Pinar matorral	12

Tabla I.- Extensión de la cubierta vegetal.

Table I.- Surface vegetation cover.

Los resultados del modelo quedan sintetizados en la figura 2. En ella se puede comprobar una excelente correspondencia entre los pulsos de recarga que HYDROBAL estima con las entradas reales que experimenta el acuífero, y que debido al rápido comportamiento del acuífero quedan reflejadas como ascensos piezométricos casi instantáneos. Aunque ambos supuestos suelen generar los mismos eventos de recarga, la principal diferencia entre ellos radica en la magnitud del drenaje profundo estimado. Así, la recarga total para todo el periodo estudiado sin considerar la vegetación fue de 200 mm (Fig. 2), mientras que teniendo en cuenta la vegetación fue de 64 mm (Fig. 2). El ajuste de la evolución piezométrica simulada, si no se toma en consideración la vegetación, queda muy alejado de los datos reales observados.

Estos resultados indican que, a pesar de que en este tipo de ambientes semiáridos la cobertura vegetal no parece estar muy desarrollada, su influencia en la recarga es más que significativa. Ello concuerda con otros estudios previos que indicaban que el tipo de especie y el incremento de la estructura y cobertura vegetal aumentan variables como la intercepción y el consumo hídrico que, a su vez, incrementan la transpiración, reduciendo la precipitación neta y el drenaje profundo, y por consiguiente, la recarga hacia el acuífero (Navar *et al.*, 1999, Chirino, 2003).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante el supuesto 2 en que se consideró la cobertura vegetal, la recarga media anual obtenida ha sido de 17 mm. Este valor supone aproximadamente una tasa del recarga del 8% de la precipitación. Se trata de un periodo que puede considerarse seco, ya que presenta una precipitación media de 211 mm, cantidad inferior al módulo pluviométrico anual medio (275 mm). Ello se debe en gran medida a la pre-

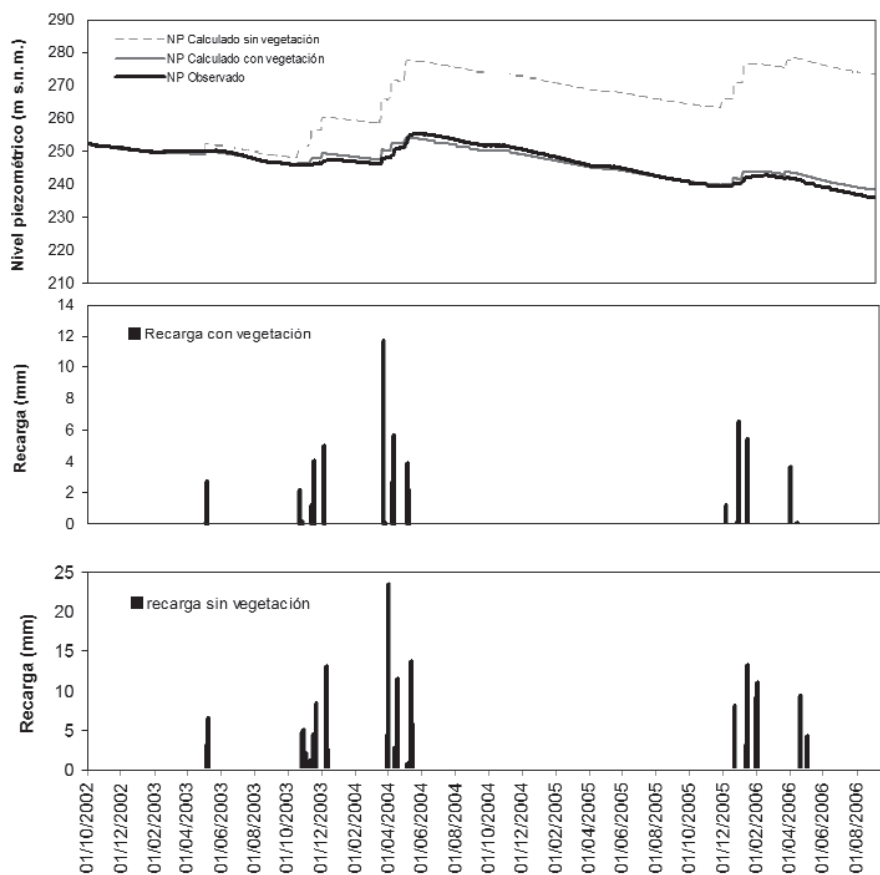


Fig. 2.- Comparación de las variaciones piezométricas reales con las obtenidas a partir del drenaje profundo resultado de la aplicación HYDROBAL con y sin vegetación.

Fig.2.- Comparison between water table variations and calculated water table using the deep drainage data estimated by HYDROBAL model with and without vegetation cover.

sencia de dos de los años más secos del registro (desde 1975).

Otro de los aspectos que el modelo HYDROBAL ha mostrado con claridad ha sido que, el volumen de recarga que genera cada evento de lluvia depende, en gran medida, del estado de humedad que presenta el suelo en el momento en que se produce la precipitación. La figura 3 A permite observar la distribución de las precipitaciones frente a la evolución de la humedad del suelo durante el periodo octubre-diciembre de 2003, mientras que la figura 3 B representa la cantidad de recarga estimada por el modelo (supuesto 2 con vegetación) frente al ascenso de la piezometría. Durante ese período las extracciones pueden considerarse prácticamente constantes, ya que el bombeo del único sondeo sobre el acuífero fue de 160, 132 y 139 h cada uno de los meses, bombeando unas horas cada día.

Inicialmente es posible observar como cada pulso de precipitación genera un rápido incremento del contenido de agua en el suelo, el cual comienza a disminuir pro-

gresivamente después de alcanzar el máximo. Con esta evolución de humedad, las precipitaciones que se produjeron durante mediados de octubre encontraron un suelo prácticamente seco, por lo que la lluvia quedó saturando el suelo y no generó apenas recarga, mientras que las producidas en noviembre o diciembre encontraron un suelo próximo a la saturación, por lo que parte de esta lluvia se transformó en recarga. Esto explicaría en gran medida cómo lluvias de menor magnitud, como la ocurrida el 20 de noviembre, generan mayores tasas de recarga y, por consiguiente, mayores ascensos piezométricos que otras como la de 17 de octubre y que no tuvieron respuesta alguna

### Conclusiones

El acuífero del Ventós es un pequeño sistema kárstico ubicado en una región de características semiáridas en la que la mayoría de los eventos de precipitación suelen ser de pequeña magnitud. Ello genera que

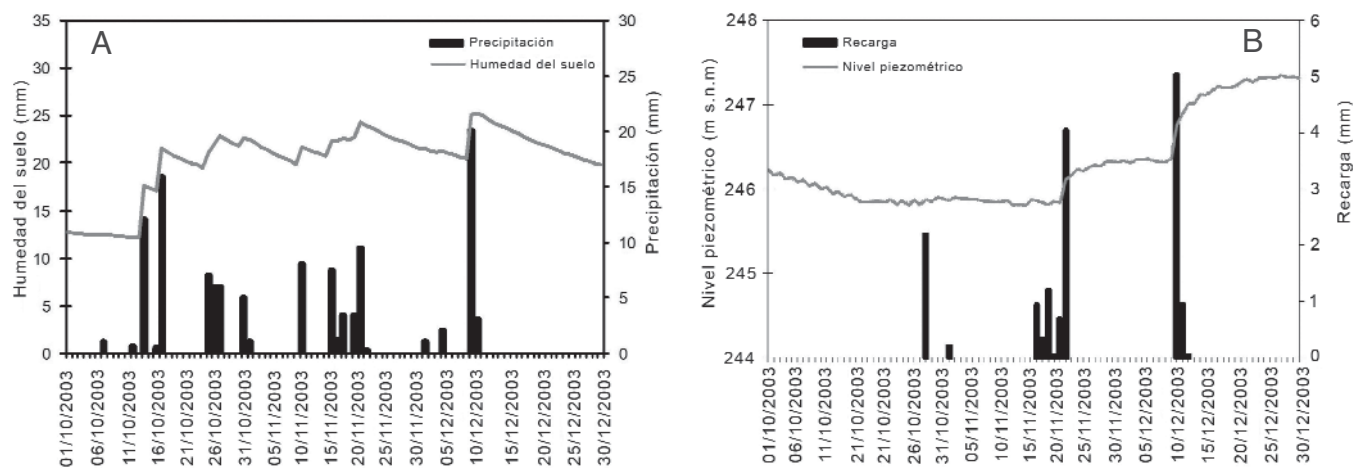


Fig. 3.- A) Evolución de la humedad del suelo frente a la precipitación. B) Variaciones piezométricas frente a la recarga estimada por HYDROBAL con vegetación para el periodo octubre-diciembre 2003.

Fig. 3.- A) Soil moisture evolution versus precipitation. B) piezometric level variations versus estimated recharge using HYDROBAL with vegetation during October-December 2003 interval.

su alimentación sea reducida. La aplicación del modelo de balance del agua en el suelo HYDROBAL ha permitido establecer una tasa de recarga del 8% para el periodo 2002/03-2005/06, si bien se trata de un periodo de características secas.

La estimación de la recarga realizando dos modelizaciones con y sin vegetación ha permitido establecer el notable papel que puede llegar a jugar la vegetación en este ambiente semiárido, en el que la cobertura vegetal no está muy desarrollada. Ello sugiere que los métodos de balances de agua en el suelo deberían considerar la cobertura vegetal, incluso en este tipo de ámbitos semiáridos, de lo contrario se podría generar sobreestimaciones de la recarga.

Por último, este tipo de modelo también nos ha permitido conocer mejor el funcionamiento del acuífero frente a la recarga y cómo el suelo modula las entradas que tienen lugar tras cada evento de recarga. No obstante, además de los factores biológicos

y edáficos, otros factores ambientales todavía deberían ser tenidos en cuenta en futuras investigaciones.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos CGL2004-03627/HID, REN2000-0529, REN 2002-0417-CO2-01/HID y del MCyT, del IGCP-513 de la UNESCO y del programa de becas del MAEC-AECID. Agradecemos la ayuda prestada al Excmo. Ayto. de Agost, Excmo. Dip. de Alicante y AQUAGEST LEVANTE, S.A. Agradecemos a los Drs. J. J. Durán y R. Jiménez-Espinosa sus comentarios y sugerencias.

#### Referencias

- Andreu, J.M., Delgado, J., García-Sánchez, E., Pulido-Bosch, A., Bellot, J., Chirino, E. y Ortiz de Urbina, J.M. (2002). *Geogaceta*, 31, 63-66.
- Andreu, J.M., Linares, J., Pulido-Bosch, A., García-Sánchez, E. y Bellot, J. (2006). En: *Karst, cambio climático y aguas subterráneas*. Publ.

IGME. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas. nº 18. Madrid, 193-202.

Bellot J., Bonet A., Sánchez J.R. y Chirino E. (2001). *Landscape and Urban Planning*, 55, 41-53.

Bellot, J., Sánchez, J.R., Chirino, E., Hernández, N., Abdelli, F. y Martínez, J.M. (1999). *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 24, 353-357.

Chassagneux, P. y Choisnel, E. (1986). *Annals of Forest Science*, 43, 505-520.

Chirino, E. (2003). *Influencia de las precipitaciones y de la cubierta vegetal en el balance hídrico superficial y en la recarga de acuíferos en clima semiárido*. Tesis Doctoral, Univ. de Alicante, 387 p.

Martínez-Santos P. y Andreu J.M. (2010). *Journal of Hydrology*, 388, 389-398.

Navar, J. Charles, F. y Jurado, E. (1999). *Forest Ecology and Management*, 124, 231-239.

Ramírez, D.A. (2006). *Estudio de la transpiración del esparto (Stipa tenacissima L.) en una cuenca del semiárido alicantino: un análisis pluriescalas*. Tesis Doctoral, Univ. de Alicante, 293 p.