

# Recarga artificial de acuíferos en la MASub Boquerón y gestión integrada de recursos hídricos mediante Optiges

## *Artificial groundwater recharge in the MASub Boquerón and integrated management of water resources with Optiges*

Antonio Jódar Abellán<sup>1</sup> y José Luis García Aróstegui<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Avenida de la Inmaculada 62, Murcia, España. antonio.jodar@um.es

<sup>2</sup>Instituto Geológico y Minero de España, IGME. Avenida Miguel de Cervantes 45, 5ªA. j.arostegui@igme.es

<sup>3</sup>Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente. Campus de Espinardo. Universidad de Murcia. j.arostegui@um.es

### ABSTRACT

*Artificial groundwater recharge is the technique in which water is usually introduced into the subsoil in order to alleviate water deficits of certain hydrogeological formations. In the study the appropriateness of incorporating the technique into a real system of water resources management is valued choosing the Boquerón groundwater body, and in particular the aquifer with the same name, located in the municipality of Hellín (Segura basin, Spain). The modeling indicates that the technique would reduce water deficits and increase guarantee of supply in the system elements, although the recharged volume is not sufficient to reduce the overexploitation of the Boquerón aquifer.*

**Key-words:** Artificial recharge, groundwater body, system of water resources management.

### RESUMEN

*La recarga artificial de acuíferos es la técnica con la que se introduce agua en el subsuelo generalmente para paliar los déficits hídricos de determinadas formaciones hidrogeológicas. En el estudio se valora la idoneidad de incorporar la técnica en un sistema de gestión de recursos hídricos real seleccionando la Masa de Agua Subterránea Boquerón, y en concreto el acuífero del mismo nombre, localizado en el municipio de Hellín (cuenca del Segura, España). La modelización indica que la técnica permitiría reducir los déficits hídricos e incrementar la garantía del suministro en los elementos del sistema, aunque el volumen recargado no es suficiente para disminuir la sobreexplotación del acuífero Boquerón.*

**Palabras clave:** Recarga artificial, masa de agua subterránea, sistema de gestión de recursos hídricos

*Geogaceta*, 59 (2016), 51-54  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 27 de julio de 2015  
Fecha de revisión: 20 de octubre de 2015  
Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2015

## Introducción

La recarga artificial de acuíferos incorpora a una formación hidrogeológica subterránea (acuífero) agua procedente del exterior de los materiales que la definen. Dicha recarga se realiza mediante dispositivos situados en superficie (balsas, surcos, zanjas, etc.) o en profundidad (pozos de recarga, pozos con drenes radiales, etc.), cuyas fuentes de agua pueden proceder de las precipitaciones, aguas de escorrentía superficial y subterránea, aguas embalsadas, retornos de riego, etc (Bouwer, 2002; Murillo-Díaz, 2004).

Así mismo, hoy en día la técnica se ha implantado ampliamente en numerosas naciones, siendo en algunos países un proceso esencial en la gestión de recursos hídricos (Fernández-Escalante, 2004; Biswas, 2008). Sin embargo, Dillon (2005) afirma que su uso has-

ta la fecha ha sido localizado, presentando además una expansión geográfica limitada. En el caso de España, son numerosas las experiencias realizadas, aunque la técnica no se considera actualmente una opción relevante en la gestión de recursos hídricos.

Destaca por tanto la necesidad de implementar la técnica en el territorio nacional, y especialmente en las zonas áridas y semiáridas del mismo donde los acuíferos abastecen en gran medida a las demandas de los sistemas hídricos en periodos de escasez (sequías). Por ello, dichas formaciones deberían ser contempladas como embalses subterráneos capaces de proporcionar tales recursos durante las sequías gracias a su previa recarga artificial en las estaciones húmedas, planteamiento enunciado en la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) y de uso conjunto (Pérez-Sánchez, 2013).

El presente trabajo pretende ratificar que la técnica de recarga artificial de acuíferos en la Masa de Agua Subterránea (MASub) Boquerón permitiría reducir a largo plazo el estado de sobreexplotación que presentan actualmente los acuíferos que la integran (Búhos, Umbría y en especial el Boquerón) al tiempo que mejoraría el suministro hídrico sobre el resto de elementos (demandas urbanas, agrarias, etc.) del sistema de gestión de recursos hídricos en el que se localiza este último acuífero: el municipio de Hellín (cuenca del Segura, España).

## Material y métodos

En primer lugar, se analizó la hidrogeología de la MASub Boquerón, así como las experiencias de recarga artificial realizadas en el acuífero Boquerón consultando informes por

lo general a cargo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), junto con las tesis doctorales de Senent-Alonso (1984) y Pérez-Sánchez (2013).

Seguidamente, debido a la limitación de información disponible, el análisis queda restringido al acuífero Boquerón y por ende al municipio de Hellín, bajo el que se encuentra la práctica totalidad del mismo. Los elementos de dicho sistema de recursos hídricos son introducidos en el *software* Aquatool+, aplicando el entorno de trabajo de Optiges, para hallar la gestión óptima de los recursos hídricos.

Los elementos del sistema (Fig. 1) consisten en la demanda urbana de la localidad de Hellín, abastecida con 100 l/s procedentes del río Mundo a través del canal de Hellín, 65 l/s del embalse de Talave y bombeos desde el acuífero Boquerón realizados únicamente en sequías. La demanda agraria de la comunidad de regantes (C.R.) Martínez Parras recibe 900 l/s del canal de Hellín y hasta 63,4 l/s del acuífero en la estación estival. Así mismo, las restantes demandas agrarias (C.R. Fuente de Isso, Sociedad Agraria de Transformación del Ojeado y C.R. Peñarubia) extraen sus recursos en exclusiva del acuífero (Pérez-Sánchez, 2013).

Las aportaciones del río Mundo se estimaron a partir de las entradas mensuales de éste al embalse de Talave en el periodo 1943-2012 gracias a la información del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (CEH-CEDEX). Por lo tanto, la simulación realizada con Optiges queda incluida en dicho periodo.

En cuanto al embalse del Talave la información del mismo se extrajo del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR).

El acuífero Boquerón se configura, en la modelización, como acuífero unicelular con un volumen inicial de 448 hm<sup>3</sup> y una recarga natural de 1,28 hm<sup>3</sup>/año (Pérez-Sánchez, 2013).

Por último, se plantearon dos escenarios en los que enmarcar el sistema de recursos hídricos modelizado siendo el primero fiel reflejo del esquema actual de gestión en el municipio, mientras que en el segundo se introduce la recarga artificial de acuíferos a través del elemento recarga.

### Hidrogeología de la MASub Boquerón

La MASub Boquerón (070.004) se localiza en el extremo oriental de la zona Prebética, al borde sureste de los Llanos de Albacete, y

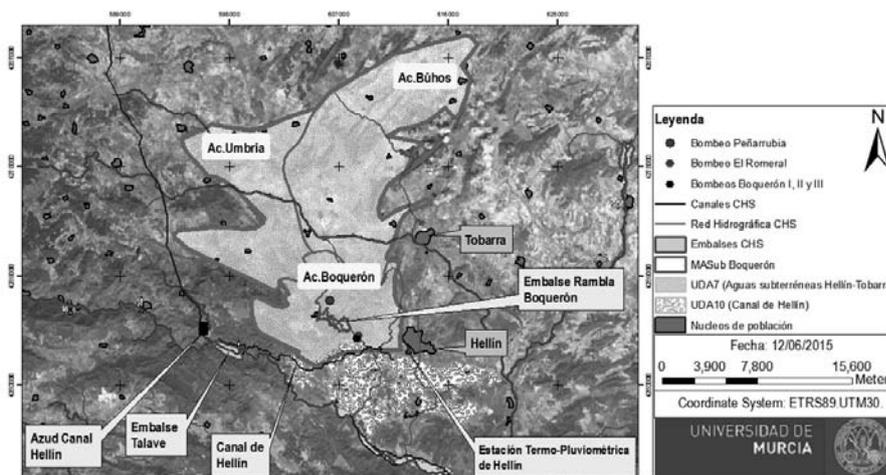


Fig. 1.- Elementos del sistema de recursos hídricos en el municipio de Hellín.

Fig. 1.- System elements of water resources in the municipality of Hellín.

en la porción meridional de la Cordillera Ibérica a lo largo de 287,43 km<sup>2</sup> de superficie. Alberga los acuíferos Búhos, Umbria y Boquerón (Aragón-Rueda *et al.*, 2010).

En cuanto a la estratigrafía de la MASub, los materiales de mayor antigüedad datan del Triásico. Los más recientes pertenecen al Cuaternario, siendo el Jurásico el periodo mejor representado. Las agrupaciones de materiales más abundantes de dicho periodo consisten en un conjunto superior calizo-margoso (Malm) y otro inferior dolomítico (Lías-Dogger). Este último constituye el sistema acuífero de mayor relevancia regional dada su gran transmisividad y adecuada accesibilidad, debiéndose la permeabilidad de los materiales al origen secundario de la dolomitización y en menor medida a su elevada fracturación (Senent-Alonso, 1984; Aragón-Rueda *et al.*, 2010).

### Flujo subterráneo en la MASub Boquerón

La MASub Boquerón ha mostrado tradicionalmente constantes interacciones (por el flujo subterráneo) con la cuenca del Júcar y en especial con la Unidad Hidrogeológica (UH) de la Mancha Oriental, situada en dicha cuenca y al norte de la citada MASub. Por ello, en determinados estudios se considera esta MASub como una formación compartida con la cuenca del Júcar (Aragón-Rueda *et al.*, 2010).

Durante las últimas décadas, la piezometría indicó un claro sentido de circulación norte-sur del flujo subterráneo en la MASub Boquerón, es decir, desde los compartimentos más meridionales de la cuenca del Júcar a la del Segura por el norte, dirigiéndose posterior-

mente desde dicha MASub hacia la UH de Tobarra por el sureste (Fig. 2).

Sin embargo, actualmente en la MASub Boquerón existe un descenso generalizado de los niveles piezométricos, más acusado en el sector occidental y próximo a la cuenca del Júcar originando salidas laterales hacia la misma. En el sector oriental de la MASub se conservan los flujos primigenios con un flujo subterráneo procedente del noreste (en la cuenca del Júcar).

Destaca la existencia de una extensa zona de recarga en la cuenca del Júcar, entre las UH de Corral Rubio, Tobarra-Tedera-Pinilla y Boquerón (CHS, 2010; Almagro-Costa, 2013) lo que facilitaría la implementación de la recarga artificial con métodos en superficie, ya que con posterioridad dicho volumen alcanzaría la MASub Boquerón.

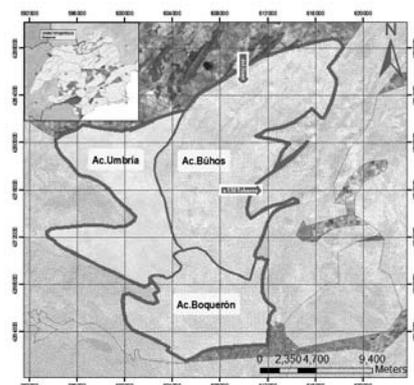


Fig. 2.- Delimitación de los acuíferos que constituyen la MASub Boquerón y relaciones laterales de los mismos.

Fig. 2.- Delineation of aquifers that make up the MASub Boquerón and lateral relationships between them.

### Estado actual: entradas, salidas y sobreexplotación

La MASub Boquerón percibe unas entradas laterales, desde la UH Mancha Oriental, de 10.27 hm<sup>3</sup>/año junto con aportes por recarga natural (infiltración), procedentes de la pluvio-metría, de unos 4,4 hm<sup>3</sup>/año. Las extracciones (salidas) en la misma alcanzan, según Aragón-Rueda *et al.* (2010), 26,99 hm<sup>3</sup>/año mientras que Senent-Alonso y García-Aróstegui (2014) las cifran en 25 hm<sup>3</sup>/año. Dicha situación conduce a un estado de sobreexplotación generalizada en los tres acuíferos que integran la MASub (Tabla I).

Dicha problemática se inició a finales de los años 70 y principios de los 80 aunque los primeros descensos en el nivel piezométrico no se produjeron hasta 1983. Estos desequilibrios surgieron por los bombeos realizados, desde 1978, en la zona sur de Albacete. En la actualidad, el nivel piezométrico ha continuado descendiendo, por debajo de la cota de descarga en toda el área, provocando que los manantiales inventariados (Polope, Mercedes, Isso, etc.) se encuentren secos (Aragón-Rueda *et al.*, 2010; CHS, 2010; Almagro-Costa, 2013).

### Experiencias de recarga artificial en el acuífero Boquerón

La única experiencia de recarga artificial en la cuenca del Segura se llevó a cabo en el acuífero Boquerón durante el estudio hidrogeológico Alto Júcar-Alto Segura, entre 1968 y 1973, la cual fue posteriormente estudiada por Senent-Alonso (1984) y Pérez-Sánchez (2013). En la experiencia se recargaron los excedentes no regulados del canal de Hellín, localizados al término de la zona de riego del canal (límite sur del acuífero) en las proximidades de la batería de pozos Boquerón I, II y III. En concreto al impedir la salida de 4,1 hm<sup>3</sup>/año de las surgencias naturales de dicha formación en los meses de no regadío, se incrementaron las disponibilidades en 19 hm<sup>3</sup>/año, pudiendo alcanzar los 32,5 hm<sup>3</sup>/año considerados como po-

MASub Boquerón (070.004)	Recursos (hm <sup>3</sup> /año)	Extracciones (hm <sup>3</sup> /año)	Balance (hm <sup>3</sup> /año)	Consumo reservas (hm <sup>3</sup> )
Boquerón	1,19	6,63	-5,44	-179
Búños	1,91	13,53	-11,62	-382
Umbría	1,76	10,04	-8,28	-273

Tabla I.- Recursos y salidas en la MASub Boquerón (año de referencia: 2009).

Table I.- Resources and outputs in Boquerón MASub (reference year: 2009).

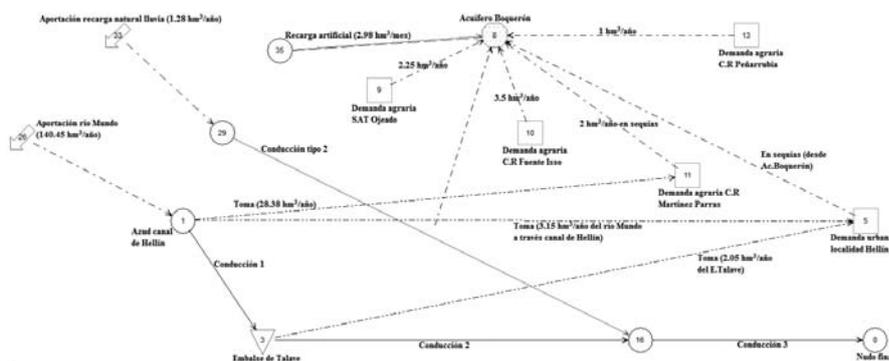


Fig. 3.- Modelización del sistema de gestión de recursos hídricos en el municipio de Hellín.

Fig. 3.- Modeling of the water resources system planning and management of the municipality of Hellín.

tenciales para usos agrícolas (Senent-Alonso, 1984; Pérez-Sánchez, 2013).

### Resultados y discusión

En este apartado se optimizan los recursos hídricos existentes en el contexto de la MASub Boquerón y especialmente en el acuífero Boquerón, aplicando el modelo Optiges para el periodo 1943-2012 (Solera-Solera *et al.*, 2007). Se establecen además dos escenarios con el fin de recoger ampliamente la posible evolución del sistema de recursos hídricos considerado.

En el primer escenario (E.1) se implementa la simulación del sistema contemplando una gestión análoga a la actual, puesto que las demandas y las aportaciones presentan una distribución de los recursos hídricos similar a la que poseen hoy en día. Sin embargo, en el segundo escenario (E.2) se incorpora la técnica de recarga artificial de acuíferos, a través del elemento recarga, introduciendo el consumo de reservas en el acuífero (179 hm<sup>3</sup>) estimado por Senent-Alonso y García-Aróstegui (2014) a lo largo de cinco años, es decir, a razón de 2,98 hm<sup>3</sup>/mes (Fig. 3).

Con dicho escenario se pretende situar al sistema modelizado en la gestión integrada de recursos hídricos y de uso conjunto.

Una vez ejecutado el modelo se obtiene, en la serie histórica seleccionada, la mejor optimización posible de los recursos hídricos existentes en la zona partiendo de la información incluida en los elementos del sistema.

En la Tabla II se muestra, para cada escenario, el número de veces que las demandas o conducciones tendrían fallos, lo que resulta ser inverso a la garantía, tanto mensual como anual, del suministro. Así mismo, se visualizan los meses con déficit y estos divididos en magnitudes (déficit mensual por magnitudes). Esta última variable refleja el número de meses en los que habrá fallos (déficit de suministro)

clasificando dichos fallos en cuatro categorías (magnitudes) que varían de 1 (fallo de mayor gravedad) hasta 4 (fallo de reducida repercusión) en función de la mayor o menor garantía de suministro con la que debe abastecerse a cada demanda.

En ambos escenarios la localidad de Hellín se sitúa como la única demanda con una garantía de suministro del 100%, no teniendo en consecuencia meses con déficit o fallos, puesto que actualmente es la demanda que recibe más aportes. Por ello ante la posible escasez de recursos la demanda urbana adquiere mayor relevancia en el suministro que las agrarias.

Tras dicha localidad, la demanda que presenta mejores resultados en el E.1 es la comunidad de regantes (C.R.) Martínez Parras, ya que recibe mayores aportes que las restantes demandas agrarias. Seguidamente se encuentra la C.R. Fuente de Isso, quedando en último lugar la C.R. Peñarubia y la Sociedad Agraria de Transformación del Ojeado a las que el modelo otorga resultados idénticos debido a las prioridades fijadas en el suministro hídrico. Sin embargo, en el E.2 las cuatro demandas agrarias obtienen una garantía del abastecimiento del 100% (fallos nulos) gracias al aumento en los aportes subterráneos al haber realizado recarga artificial en el acuífero.

Exceptuando las demandas, el único elemento del sistema con fallos es la conducción 3, la que conecta el nudo 16 con el nudo final (Fig. 3). Dicha conducción contiene los caudales ecológicos extrapolables al resto del sistema, por lo que un fallo en la misma perjudicará la conservación del estado ecológico de los cursos fluviales y ecosistemas asociados al citado sistema. La conducción mejora sus resultados en el E.2 al reducir los déficits en meses con magnitud 4 (de 99 a 93).

En cuanto al volumen inicial en el acuífero Boquerón (448 hm<sup>3</sup>), en el E.1, éste se reduce alrededor del 50% debido a las extrac-

Escenarios	Garantía mensual (%) y fallos		Garantía y fallos anual (%) y fallos		Meses con déficit		Déficit mensual por magnitudes (1: max.; 4: min)	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
Demanda Localidad Hellín	100 0 fallos	100 0 fallos	100 0 fallos	100 0 fallos	0	0	Mag 1	0 Mag 1
Demanda Agraria SAT Ojedo	66,7 276 fallos	100 0 fallos	0 0 fallos	100 0 fallos	276	0	276 Mag 1	0 Mag 1
Demanda Agraria C.R. Fuente Isso	75 207 fallos	100 0 fallos	0 69 fallos	100 0 fallos	207	0	207 Mag 1	0 Mag 1
Demanda Agraria C.R. Martínez Parras	89,7 85 fallos	100 0 fallos	50,7 34 fallos	100 0 fallos	86	0	86 Mag 1	0 Mag 1
Demanda Agraria C.R. Peñarubia	66,7 276 fallos	100 0 fallos	0 69 fallos	100 0 fallos	276	0	276 Mag 1	0 Mag 1
Conducción 3	-	-	99,3	99,3	-	-	7 Mag 1	7 Mag 1
			2 Mag 2	2 Mag 2			2 Mag 2	2 Mag 2
			2 Mag 3	2 Mag 3			2 Mag 3	2 Mag 3
			99 Mag 4	93 Mag 4			99 Mag 4	93 Mag 4
			6 fallos	6 fallos				

Tabla II.- Garantías y fallos en las demandas (urbana y agrarias), así como en la conducción 3, en los escenarios modelizados. Periodo 1943-2012.

Table II.- Guarantees and mistake on demands (urban and agrarian), and in the conduction 3, in the modeled scenarios. Period 1943-2012.

ciones (bombeos) realizadas, pese a la recarga natural de las precipitaciones. Sin embargo, en el E.2, la reducción del volumen continua siendo del 50%, ya que aunque el acuífero ve incrementadas las entradas, por recarga artificial, el bombeo para abastecer a las diferentes demandas es ampliado en el modelo, motivo por el cual éstas obtienen una garantía en el suministro hídrico del 100%.

**Conclusiones**

En el trabajo ha quedado patente que la Masa de Agua Subterránea (MASub) Boquerón, integrada por los acuíferos Boquerón, Búhos y Umbría, presenta actualmente una sobreexplotación de 25 hm<sup>3</sup>/año con un vaciado total de reservas de 179 hm<sup>3</sup>.

Por ello se estima que gracias a las conexiones hidráulicas entre los acuíferos de la MASub, la recarga artificial únicamente en alguno de los tres favorecería que los restantes posteriormente vieran restituidas sus reservas resolviendo así la problemática. Debido a los numerosos afloramientos permeables solamente serían necesarios dispositivos de recarga artificial en superficie, por lo general de menor coste que los métodos en profundidad.

Este planteamiento fue incorporado en el municipio de Hellín, contemplado como un perfecto sistema de gestión de recursos hídricos. Se establecieron dos escenarios siendo el primero fiel reflejo de la gestión actual de dichos recursos en el municipio, mientras que en el segundo se recarga artificialmente el acuífero Boquerón, la única formación en la que ya se han realizado experiencias de recarga artificial en la cuenca del Segura. Este último escenario, de gestión integrada de re-

ursos hídricos y de uso conjunto considerando al acuífero como un embalse subterráneo, permite valorar los posibles beneficios de la técnica no sólo sobre éste sino también sobre el resto de elementos del sistema.

En los resultados del modelo, la única demanda que posee, en ambos escenarios, un abastecimiento del 100% es la localidad de Hellín, mientras que las restantes mejoran la garantía del suministro en el segundo escenario. Comportamiento similar a éstas muestra la conducción número 3 cumpliendo así en mayor medida las premisas de la Directiva Marco del Agua (DMA) del año 2000 en cuanto al caudal ecológico de los cursos fluviales.

Por último, el acuífero Boquerón muestra una reducción del volumen inicial (448 hm<sup>3</sup>) del 50% en ambos escenarios, ya que si bien en el segundo las entradas en el mismo aumentan por recarga artificial de los excedentes del canal de Hellín, también se amplía en el modelo el volumen extraíble por las diferentes demandas gracias a lo cual obtienen un abastecimiento del 100%. Lógicamente, para conseguir un aumento en los volúmenes del acuífero, y por ende una reducción de la sobreexplotación, sería necesaria una recarga artificial de mayor magnitud.

**Agradecimientos**

Se agradecen las correcciones y sugerencias de los revisores del trabajo.

**Referencias**

Almagro-Costa, F.J. (2013). *Trabajos de medida de caudales en manantiales y nive-*

*les hidrométricos y piezométricos en humedales de la cuenca del Segura*. Confederación Hidrográfica del Segura, 282 p. Aragón-Rueda, R., Hornero-Díaz, J.E., Trujillo-Toro, C., García-Barbón, L.S., Berredo-Garrido, J.A. y García-Fernández, J.A. (2010). *Trabajos de apoyo en la definición de la transferencia subterránea de la MASub Boquerón con otras masas definidas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar*. Instituto Geológico y Minero de España, 62 p.

Biswas, A.K. (2008). *Water Resources Development* 24, 5-22.

Bouwer, H. (2002). *Hydrogeology Journal* 10, 121-142.

CHS (2010). *Estudio de cuantificación del volumen anual de sobreexplotación de los acuíferos de las Unidades Hidrogeológicas 07.02 Sinclinal de la Higuera, 07.03 Boquerón, 07.16 Tobarra-Tederapinilla, 07.18 Pino, 07.49 Conejeros-Albatana, 07.55 Corral-Rubio*. Confederación Hidrográfica del Segura, 42 p.

Dillon, P. (2005). *Hydrogeology Journal* 13, 313-316.

Fernández-Escalante, A.E. (2004). *Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales: aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 1331 p.

Murillo-Díaz, J.M. (2004). *Recarga de acuíferos. Evaluación y análisis de condicionantes técnicos y económicos. Acuífero aluvial del Bajo Guadalquivir*. Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Madrid, 749 p.

Senent-Alonso, M. (1984). *Problemática de la recarga artificial de acuíferos. Realizaciones españolas y sus posibilidades en el sureste español*. Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Madrid, 412 p.

Senent-Alonso, M. y García-Aróstegui, J.L. (2014). *Sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Segura. Evaluación y perspectivas*. Instituto Euromediterráneo del Agua, 231 p.

Solera-Solera, A., Paredes-Arquiola, J. y Álvarez-Andreu, J. (2007). *AQUATOOLDMA SSD para planificación de Cuencas*. Univ. Politécnica de Valencia, 231 p.

Pérez-Sánchez, J. (2013). *Gestión conjunta de recursos hídricos a escala local. Aplicación del modelo Simges al caso de Hellín (Albacete)*. Tesis Doctoral, Univ. de Murcia, 342 p.