

Propuesta del plan de construcción de presas de recarga en la provincia de Alicante (España)

L. M. C. R Rodríguez Hernández⁽¹⁾, L. Solís García-Barbón⁽²⁾, M. Máximo Marín⁽³⁾, M. Fernández Mejuto⁽⁴⁾, V. M. Castillo Sánchez⁽⁵⁾ y J. A. Hernández Bravo⁽⁶⁾

(1) Departamento de Ciclo Hídrico. Diputación Provincial de Alicante. Avda. Orihuela 128. 03006 Alicante.

lrodrigu@dip-alicante.es

(2) Intecsa-Inarsa. C/ Paula Gil Cano, s/n. Edificio Torre Jemeca. 30009 Murcia.

luis.solis@snclavalin.com

(3) Intecsa-Inarsa. C/ Paula Gil Cano, s/n. Edificio Torre Jemeca. 30009 Murcia.

(4) Departamento de Ciclo Hídrico. Diputación Provincial de Alicante. Avda. Orihuela 128. 03006 Alicante.

mfmejuto@dip-alicante.es

(5) Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Apto. 4195. 30080 Murcia.

victor@natura.cebas.csic.es

(6) Departamento de Ciclo Hídrico. Diputación Provincial de Alicante. Avda. Orihuela 128. 03006 Alicante.

jhernan@dip-alicante.es

RESUMEN

El Plan de Construcción de Presas de Recarga en la Provincia de Alicante es una propuesta de la Diputación de Alicante a partir de los trabajos del Departamento de Ciclo Hídrico. Se han generado las series de aportaciones en todas las subcuencas provinciales para los eventos de precipitación de los últimos 50 años, se ha realizado un análisis de las posibles cerradas en vaso permeable de la provincia y se ha seleccionado un conjunto de ellas en función de ciertos criterios, generando la serie de aportaciones a cada una, modelando la infiltración en el vaso y estimando tanto los volúmenes infiltrados como sus costes. Finalmente, tras contrastar con datos empíricos de cuencas instrumentadas para medida continua de escorrentía, se propone la construcción de 52 nuevas presas de recarga en tres horizontes: Fase 1: las 25 de mayor interés, con un objetivo de infiltración de 7,94 hm³/año con coste medio de 0,09 €/m³ y coste total de 12,10 millones de €. Fase 2: 18 presas en serie para aprovechar escorrentía no regulada por la fase 1, con un objetivo de 6,9 hm³/año a 0,08 €/m³ con un coste total de 10,2 millones de €. Fase 3: 10 presas piloto, en principio no tan rentables pero con gran interés para la obtención de datos en cuencas de montaña, con un objetivo de infiltración de 0,9 hm³/año a 0,31 €/m³ y coste total de 4,9 millones de €.

Palabras clave: costes, infiltración, plan, presa, recarga artificial

Recharge dams construction plan proposal for the Alicante province (Spain)

ABSTRACT

The Recharge Dams Construction Plan for the Alicante Province (administrative division within the Comunidad Valenciana in Spain) is a proposal of the Diputación de Alicante, as a result of the previous studies undertaken by the Departamento de Ciclo Hídrico (Department of Water Cycle). Runoff series for all the provincial subbasins for the rainfall events of the past 50 years have been generated, possible impoundment volumes over permeable grounds have been analyzed and a group of them have been chosen attending to certain criteria. Afterwards, for the selected dams, inflow runoff series have been generated, modeling infiltration into the ground and estimating both infiltrated volumes as well as its costs. Finally, after comparing with empirical data of instrumented basins for continuous runoff record, the construction of 52 in three horizons is proposed: Phase 1: the 25 most interesting, with a target of 7,94 hm³/year infiltrated, with average cost of 0,09 €/m³ and total cost of 12,10 millions of €. Phase 2: 18 'serial dams' to regulate runoff that has not been regulated in phase 1, with a target of 6,9 hm³/year infiltrated, with average cost of 0,08 €/m³ and total cost of 10,2 millions of €. Phase 3: 10 'pilot dams', in principle less profitable but very interesting to obtain data in mountain basins, with a target of 0,9 hm³/year infiltrated, with average cost of 0,31 €/m³ and total cost of 4,9 millions of €.

Key words: artificial recharge, costs, dam, infiltration, plan

Introducción

La provincia de Alicante dispone de un conjunto de embalses subterráneos que almacenan importantes volúmenes de agua y que desde mediados del siglo XX constituyeron un origen de recursos de buena

calidad. Aunque los regadíos alicantinos fueron los destinatarios más importantes de las aguas subterráneas, la provincia inició una etapa de desarrollo económico muy activo, en la que el turismo tuvo un papel destacado. El crecimiento de la población consolidó una tendencia creciente de necesidades hídri-

cas, que en la actualidad superan la disponibilidad de recursos renovables en un valor medio de unos 168 hm³/año, que se obtiene de la sobreexplotación de los acuíferos, especialmente del Alto y Medio Vinalopó (53 hm³/año medio) y la infradotación de los regadíos en las comarcas de la Vega Baja, el Medio y Bajo Vinalopó y l'Alacantí (115 hm³/año medio) (DCH, 2007).

La Diputación Provincial de Alicante, consciente del valor y la escasez de los recursos hídricos en la provincia, a través del Departamento de Ciclo Hídrico (DCH) mantiene un continuo seguimiento de la situación hídrica y tiene encomendadas varias tareas relacionadas con las distintas fases de la captación y utilización del agua en el ámbito municipal. El alto conocimiento que se ha adquirido del funcionamien-

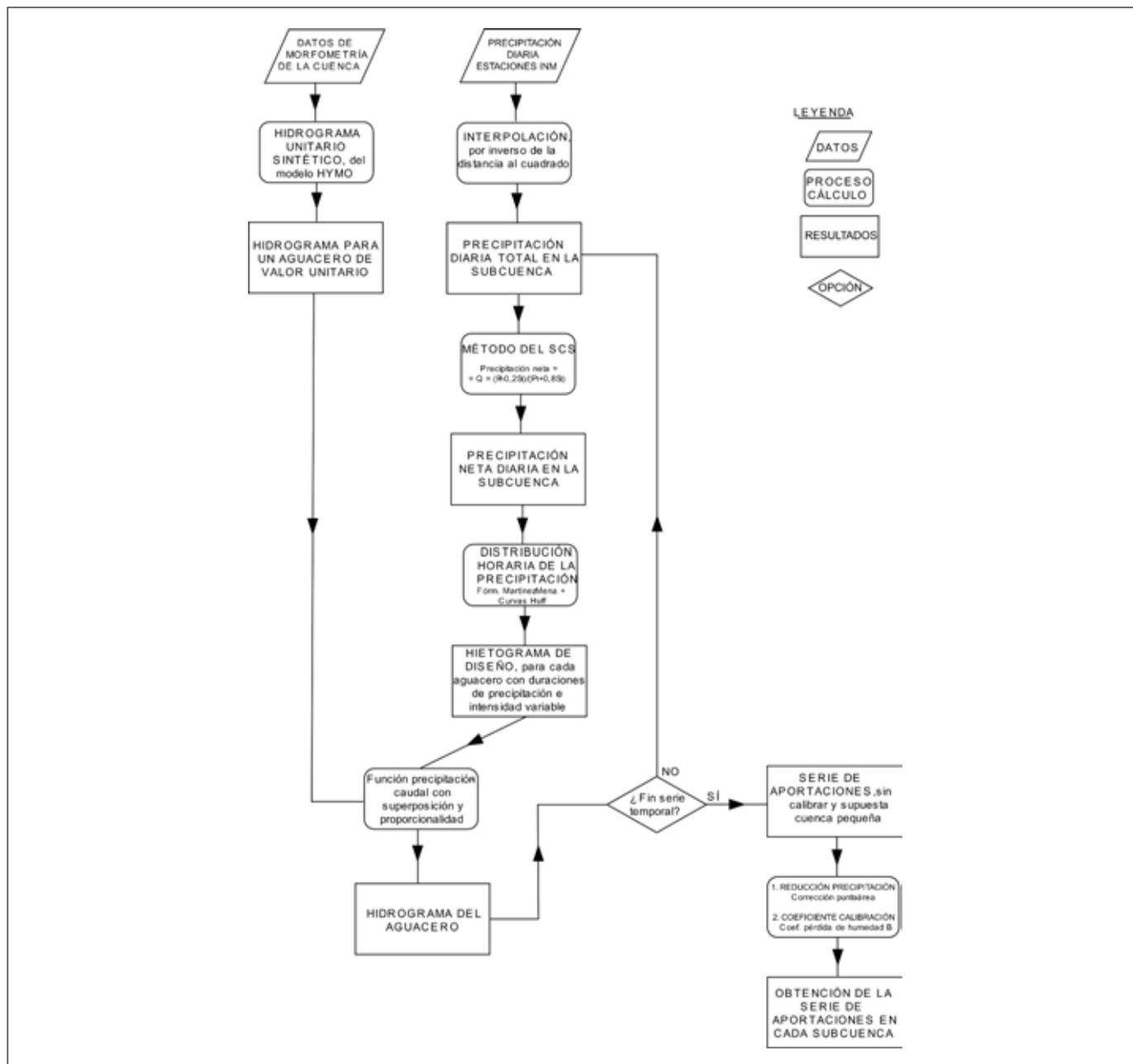


Figura 1. Diagrama de flujo que resume el procedimiento de evaluación de escorrentía superficial en las subcuencas. Los dos últimos pasos permiten ampliar las condiciones de aplicación del método para adaptarlo a todas las subcuencas de interés
 Figure 1. Flow diagram that summarizes the procedure followed to evaluate runoff in subbasins. Last two steps allow to expand the method restrictions to adapt it for all the interesting subbasins

to de los acuíferos provinciales, ha permitido al DCH promover los estudios para la evaluación de los volúmenes de agua que podrían incrementar la alimentación de los acuíferos mediante la construcción de pequeñas presas en cauces permeables.

Fruto de estos estudios que, como se explica más adelante, se han ido desarrollando durante diferentes fases en la última década (DCH 1999, DCH 2001, DCH 2004), se presenta ahora este Plan de Presas de Recarga (PPR) (DCH, 2008), que cumple dos requisitos básicos: no mermar aportaciones a los embalses superficiales existentes ni disminuir las aportaciones hídricas a ecosistemas sensibles.

Metodología

Las zonas más adecuadas para estudiar la construcción de las presas de recarga, atendiendo a las restricciones hidrológicas y medioambientales descritas en el párrafo anterior, son las subcuencas situadas en zonas de cabecera.

Por este motivo, la primera tarea desarrollada ha sido la definición y valoración morfométrica de las subcuencas de órdenes 3 y 4, identificándose 233 en las que se centró posteriormente el estudio de escorrentía-infiltración y emplazamientos.

A continuación, se procedió a la generación de la escorrentía superficial en todas las subcuencas utilizando una variante del método del número de curva que considera el coeficiente de pérdida de humedad. El método fue calibrado mediante la transformación punto-área y la relación de Karnieli *et al.* (1988), en las

cuencas de Alicante, utilizando los valores de escorrentía calculada facilitados por la CHJ, generando los hidrogramas de avenidas, a escala horaria, mediante el método del hidrograma unitario sintético.

La ubicación de posibles cerradas en las subcuencas se realizó mediante una aplicación que, partiendo del MDT E=1:25.000 del IGN y E=1:10.000 de la propia Diputación permite la generación automática de presas y la obtención de sus características geométricas (volumen de embalse, cuenca vertiente, superficie de inundación) además de la permeabilidad del vaso. Las condiciones impuestas a la aplicación y a la selección de emplazamientos fueron las siguientes:

- No se deben mermar las aportaciones reguladas a los embalses superficiales existentes.
 - No se deben disminuir las aportaciones hídricas de ecosistemas sensibles.
 - Se actuará preferentemente sobre acuíferos sobreexplotados o con riesgo de sobreexplotación.
 - Las presas piloto se priorizarán en acuíferos pequeños, donde los efectos de la recarga sean fácilmente observables.
 - Las presas no se situaran en los cauces principales de las cuencas hidrográficas.
 - Se descartan los acuíferos detríticos.
 - El vaso del embalse se ubicará en todo o en su mayor parte en afloramientos de permeabilidad alta-muy alta.
 - La zona de inundación no debe producir afecciones significativas sobre infraestructuras, construcciones y zonas agrícolas de explotación intensiva.
- Una vez seleccionados se aplicó el modelo de simulación de la escorrentía con los parámetros esti-

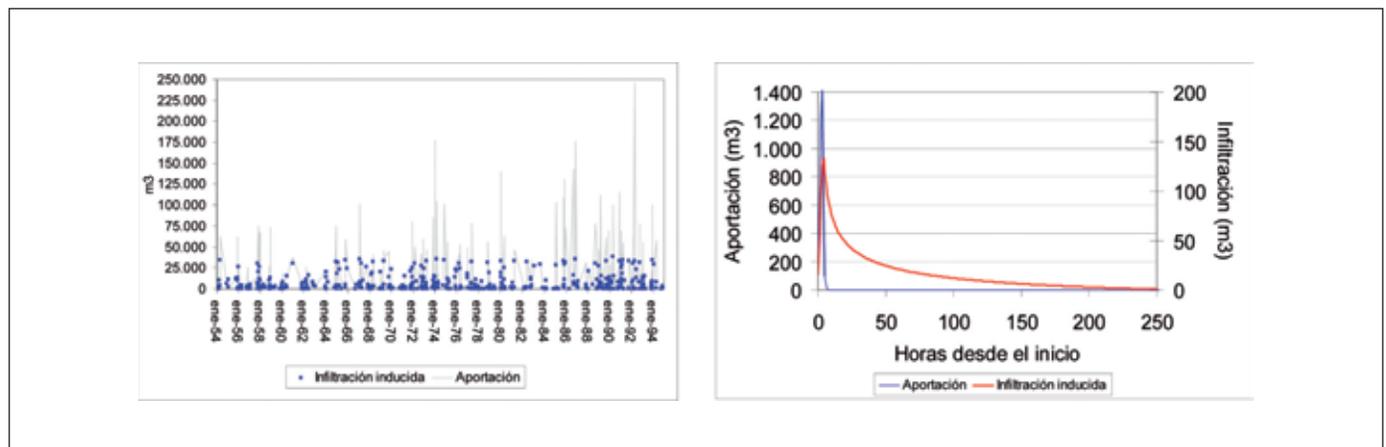


Figura 2. Ejemplo de series de infiltración generadas para un emplazamiento seleccionado. A la izquierda, series de escorrentía y valores de infiltración generados para todo el periodo de cálculo. A la derecha, detalle de una avenida
 Figure 2. Dams gauged for remote measuring of levels and flood outflows. On the left, runoff series and infiltration values for the studied period. On the right, detailed data for a flood event

mados para la subcuenca en los que se ubica cada emplazamiento. Para el cálculo de la infiltración en los embalses de recarga se utilizó el método de Green-Ampt.

A partir de los resultados obtenidos se analizaron las relaciones volumen de embalse-infiltración indu-

cida y coste, aportación y agua infiltrable en cada presa, y los costes por m³ de agua infiltrada. De este análisis se obtuvo una relación de emplazamientos de presas hidroeconómicamente rentables, que se ha completado con el estudio de viabilidad en fotografía aérea, cartografía 1:10.000 y visitas *in situ*, y el análisis de presas en serie para aquellas cuencas en las que una sola presa es insuficiente para regular la escorrentía generada.

El resultado de este proceso es la propuesta de una serie de emplazamientos junto con sus aportaciones, infiltraciones inducidas, costes de construcción, amortización y mantenimiento, e influencia de la recarga en el balance de los acuíferos.

Principales características hidrológicas de la provincia

La provincia de Alicante se localiza en el sureste de la península Ibérica, una zona con relieve muy accidentado y sobre la que confluyen influencias climáticas atlánticas por el oeste, mediterráneas por el este y las entradas de aire de Europa continental o de África. Esta configuración causa una gradación climática desde el tipo húmedo o subhúmedo en la zona noroeste al árido al sur del eje Elche-Crevillente, pasando por tipos secos y semiáridos. Las precipitaciones presentan, por tanto, gran variedad, no solo espacial sino también temporal.

Desde el punto de vista geológico también hay una clara variación de norte a sur de la provincia. Hacia el norte las estructuras son poco accidentadas y hay una presencia importante de rocas permeables, lo que configura acuíferos extensos y con parámetros hidráulicos buenos (Albuera-Mustalla, Almudaina-Segaria, Carrascal-Ferrer, Depresión de Benisa, Solana, etc.). Hacia el sur, la mayor presencia de formaciones margosas y arcillosas, junto a la mayor complejidad estructural determina la presencia de acuíferos más pequeños y peores características hidráulicas (Caballo-Fraile, Carrasquilla-Peña Chico, Chinorlet, Umbría). En las Vegas de los principales ríos provinciales (Vinalopó y Segura) las formaciones acuíferas están constituidas por materiales detríticos de poco espesor y aguas de escasa calidad.

Esta configuración hace que las zonas óptimas para la ubicación de presas de recarga, como también confirman los resultados del estudio, sea el tercio norte de la provincia, ya que en esta zona es en la que hay escorrentía superficial suficiente y es en la que predominan los acuíferos carbonatados, que presentan mejores características a medida que se asciende más al norte de la provincia (figura 4).

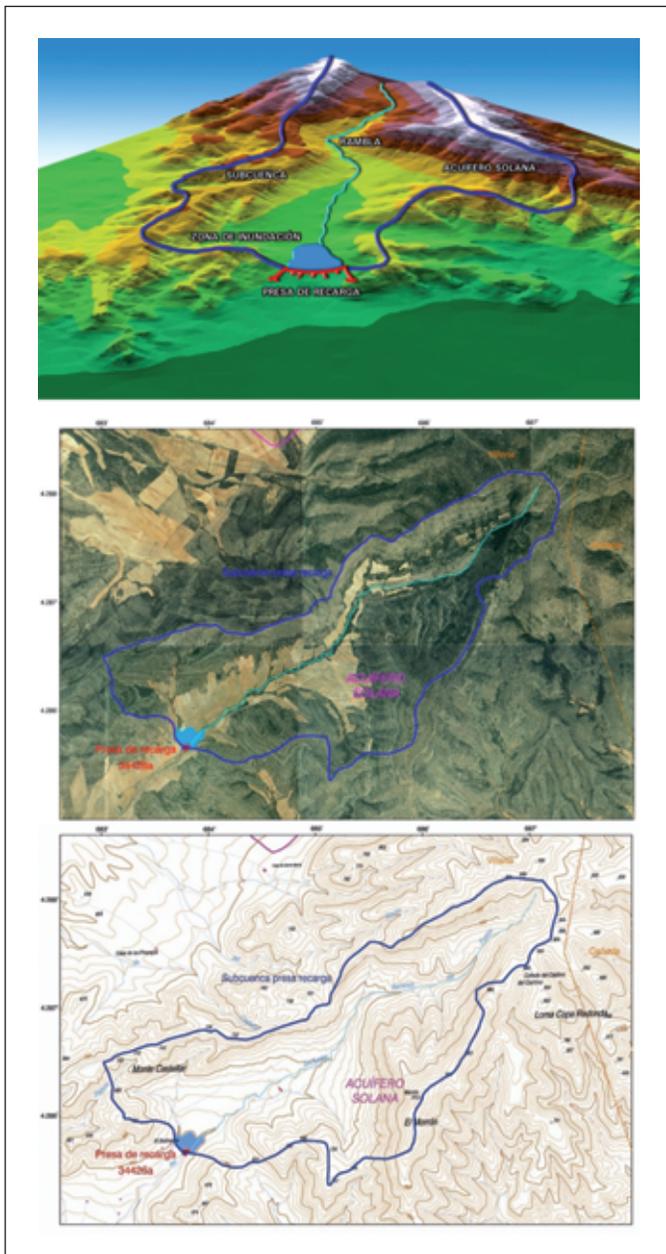


Figura 3. Cada una de las subcuencas seleccionadas de modo automático por la aplicación fue representada y validada en mapas y fotos aéreas de detalle

Figure 3. Each one of the selected subbasins automatically by the application was plotted and validated in maps and detailed aerial photography

Contraste de la metodología adoptada con cuencas piloto en Alicante

En la provincia existen algunas presas construidas con finalidad de restauración hidrológico-forestal de cauces y riberas. La Diputación de Alicante, aprovechando esta situación, ha adaptado e instrumentado dos de estas presas (en el Barranco de Fontilles de Orba y al norte de Ibi), que por su situación y características son semejantes a dos de las propuestas en el plan, para permitir su funcionamiento como presas de recarga y a la vez recibir por medio de su red de telemetría registros continuos de precipitaciones, niveles de llenado y desborde en presas. De esta

forma ha sido posible establecer comparaciones con los resultados teóricos del estudio, y en el futuro seguirán dando información que permita la mejor calibración de los modelos, junto con otras tres de reciente instalación en Planes, Benichembla y Jijona.

Análisis de resultados presa de Orba

Para relacionar las alturas de llenado con el volumen embalsado se ha determinado la curva de llenado de la presa, para lo cual se procedió a cubicar el almacenamiento de la presa para los distintos niveles de llenado. La máxima altura registrada es 3,8 m y equiva-

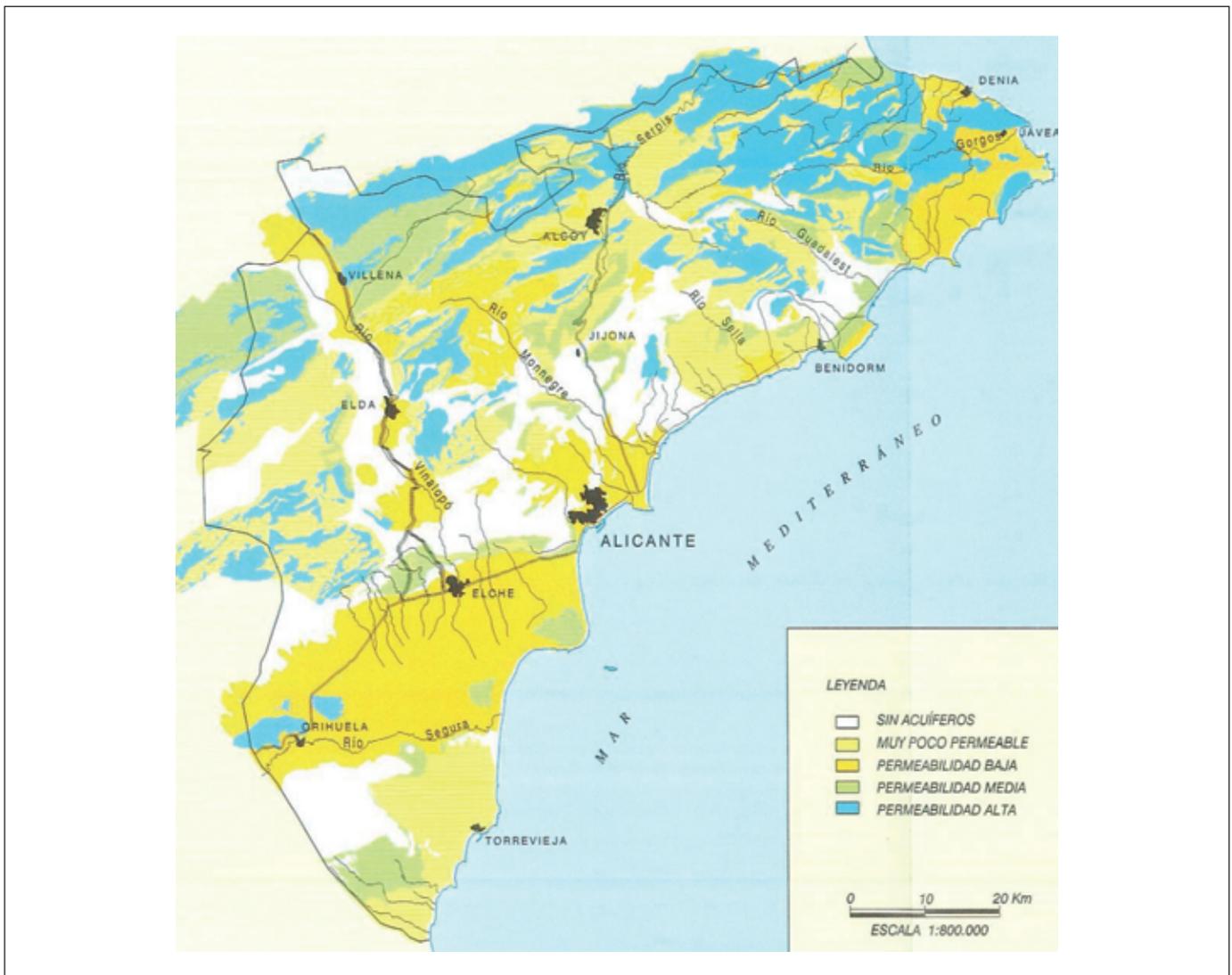


Figura 4. Mapa provincial de permeabilidad, en el que se observa una gradación desde los valores altos en los afloramientos calcáreos al norte, a las bajas permeabilidades de los acuíferos detríticos al sur (DCH, 2003)
Figure 4. Provincial map of hydraulic conductivity, which shows a gradation from high values of the limestone outcrops in the north, to the low hydraulic conductivities of clastic aquifers in the south (DCH, 2003)



Figura 5. Presas instrumentadas para teledeteción de niveles de llenado y caudales de desborde
 Figure 5. Dams gauged for remote measuring of levels and flood outflows

le a 1.800 m³ embalsados, para un cuenca vertiente de 500 ha. En la figura 6 se observa la curva obtenida junto con la expresión que la define.

Se define la tasa de infiltración como la capacidad de infiltración que tiene el vaso permeable de la presa, es decir, el volumen de agua que es capaz de infiltrarse según la altura de llenado por unidad de tiempo. Las curvas de infiltración obtenidas en la presa son diferentes para cada evento de precipitación, ya que mientras se está produciendo infiltración se siguen recibiendo aportes superficiales, que en cada caso varían en función de la precipitación. Por

este motivo, para la determinación de la tasa de infiltración se ha seleccionado un evento de precipitación de corta duración y que presenta el registro de vaciado más rápido. A partir de estos datos y de la curva de llenado es posible obtener la tasa de infiltración media (TIM) entre dos niveles (V_n y V_{n-1}):

$$TIM = \frac{V_{n-1} - V_n}{\Delta t}$$

y la función de tasa de infiltración para un nivel de lle-

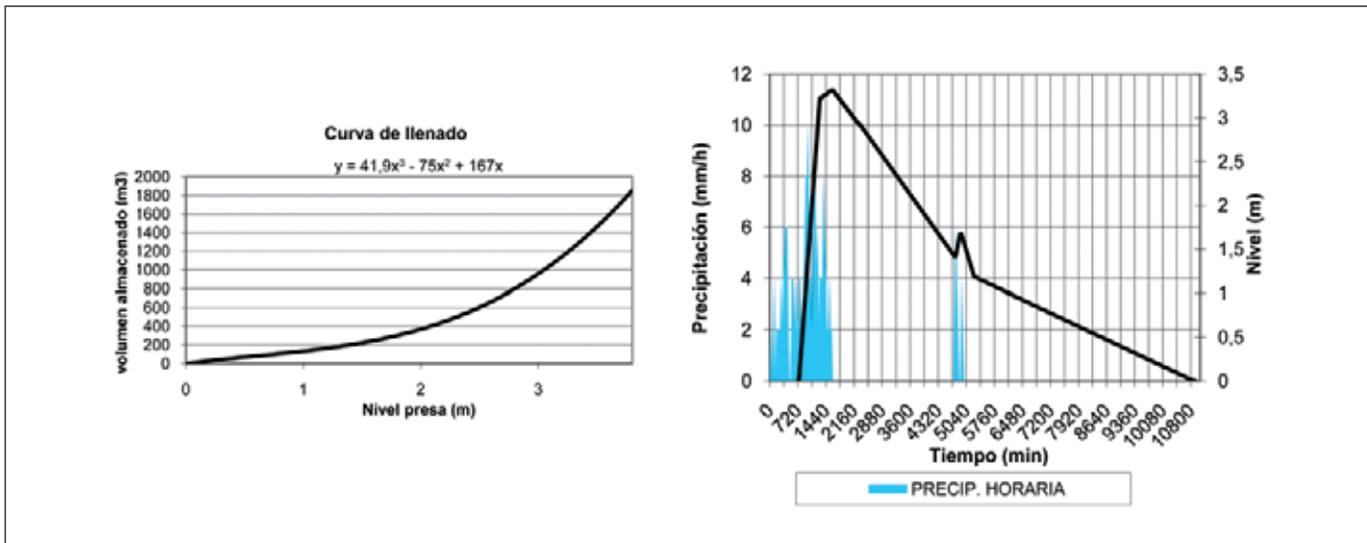


Figura 6. Curva de llenado (izquierda). Evolución del nivel a consecuencia de un evento de precipitación (derecha)
 Figure 6. Reservoir storage curve (left). Level evolution consequence of a rainfall event (right)

nado n , que permitirá calcular la infiltración que se produce cuando el embalse está a cierto nivel independientemente de las entradas que esté recibiendo. En este caso la tasa de infiltración es $61,77e^{0,75n}$ ($m^3/hora$).

A partir de estas expresiones para cada evento de llenado se ha estudiado la curva llenado-vaciado (en la gráfica se muestra un ejemplo para el evento del 12/05/2004). El volumen de infiltración sumado al volumen desbordado en cada evento de precipitación determina el volumen de escorrentía total. Relacionando el volumen de escorrentía con el volumen total de precipitación, se obtiene el coeficiente de escorrentía.

Para el periodo de estudio (01-01-1999 hasta 01-05-2006) se ha obtenido un umbral de escorrentía en torno a los 20 mm/día, con coeficientes de escorrentía situados en el intervalo [0,2-11,4], y se han producido un total de 12 eventos de recarga con un volumen infiltrado del orden de 268.000 m^3 en 7,5 años, lo que supone una media de unos 36.000 $m^3/año$.

En el estudio teórico se propone una presa piloto en una ubicación muy cercana a la de este emplazamiento existente, pero unos centenares de metros más aguas abajo. En el caso de la ubicación propuesta se aplicó el modelo a varias presas de diferente ubicación, siendo las más interesantes para comparar con los datos reales medidos las de 1.093 m^3 y 1.743 m^3 . El modelo considera el periodo 01-01-1954 hasta 31-12-1994, para el que se obtuvieron un total de 14 eventos de recarga, lo que representa una

media de unos 0,34 episodios anuales, con un volumen medio infiltrado de 588 $m^3/año$ (presa de 1.092 m^3) y de 761 $m^3/año$ (presa de 1.743 m^3).

La comparación de los resultados medidos con los modelados pone de manifiesto que para los eventos comparados de ambos estudios con similar escorrentía entrante a la presa, en los que cabría esperar una infiltración del mismo orden de magnitud, el estudio teórico produce valores de infiltración claramente menores. Esto es: el volumen desbordado es mucho mayor que la infiltración en el modelo, mientras que para los datos medidos es a la inversa. Esto indica que la tasa de recarga en el vaso del embalse es mayor que la que se sugiere en el modelo.

El estudio teórico sólo considera 14 eventos en 41 años con una escorrentía media de 9.600 $m^3/año$; esto comparado con los 12 eventos de llenado telemedidos en 7,5 años y escorrentía media de 48.000 $m^3/año$, pone en evidencia la infravaloración de la escorrentía. Los resultados teóricos podrían representar de forma más precisa la realidad ajustando con detalle a las características locales los valores del umbral de escorrentía y la tasa de infiltración de la presa, en la fase de proyecto de cada presa.

En este caso, el estudio de infiltración en emplazamientos para presas de recarga infravalora el volumen de infiltración en el vaso de las mismas, tanto en lo que corresponde al número de eventos de recarga como al volumen de infiltración en cada una de ellos. Este hecho indica que las presas propuestas en el estudio, al menos en las áreas con características

hidrológicas similares de la provincia, recibirán más infiltración de la modelada en el mismo, lo que las haría más rentables, tanto desde el punto de vista del costo del agua infiltrada como del de mejora de la situación de los niveles en los embalses subterráneos provinciales.

Análisis de resultados presa de Ibi

Se trata de una pequeña presa con capacidad de embalse de unos 100 m³, con una superficie de inundación sobre calizas oligocenas de permeabilidad media-alta y cuenca vertiente de 320 ha.

Como en el caso anterior se ha determinado la curva de infiltración. En este caso no se dispone de ningún evento de precipitación de corta duración con llenados importantes. Por tanto, se han utilizado los datos correspondientes al final del periodo de llenado, a partir del cambio de velocidad de infiltración, ya que se supone que este refleja el momento en el que la presa deja de recibir aportes por el cauce. De esta forma se ha obtenido una expresión de la forma $4,9n^2+16,4n-7,78$ para la tasa de infiltración horaria para cada nivel de llenado n .

Del análisis de los niveles de presa para el periodo en estudio (23-12-2003 hasta 30-11-2007) se observa que existen registros de nivel en el embalse en 6 ocasiones. Se han obtenido porcentajes de escorrentía del orden del 0,3%, y una media de 1,5 eventos de llenado anuales. Dado que el volumen de embalse es muy pequeño, los volúmenes recargados también lo

son, sumando 3.300 m³, que representa una media de 825 m³/año.

En el estudio teórico no se consideraba específicamente la existencia de la presa telemedida, si bien en la fase II se proponía como una de las ubicaciones posibles una cuenca cercana situada al sureste de donde está situada la presa telemedida. En el modelo se considera el periodo 01-01-1954 hasta 31-12-1994, obteniendo porcentajes de escorrentía muy bajos, en torno al 1%. Para el periodo de estudio se preveían un total de 52 eventos de recarga, lo que representa una media de unos 1,3 episodios anuales, con un volumen medio infiltrado de 2.550 m³/año para un embalse de capacidad 6.375 m³.

Estos datos, si bien no son directamente comparables debido a la diferencia de capacidad de los dos embalses, a las diferentes ubicaciones de las presas y a la corta serie de datos medidos, ponen de manifiesto los bajos coeficientes de escorrentía a medida que se avanza hacia el sur de la provincia y que los resultados del modelo son realistas en orden de magnitud, si bien infravaloran las velocidades de infiltración en el vaso de la presa.

Propuesta del Plan Provincial de Construcción de Presas de Recarga

El (PCPR) propuesto está formado por 53 presas (Figura 8), con un coste constructivo total de 27,2 millones de €. El volumen medio anual de infiltración inducida por las presas se ha calculado en 15,68

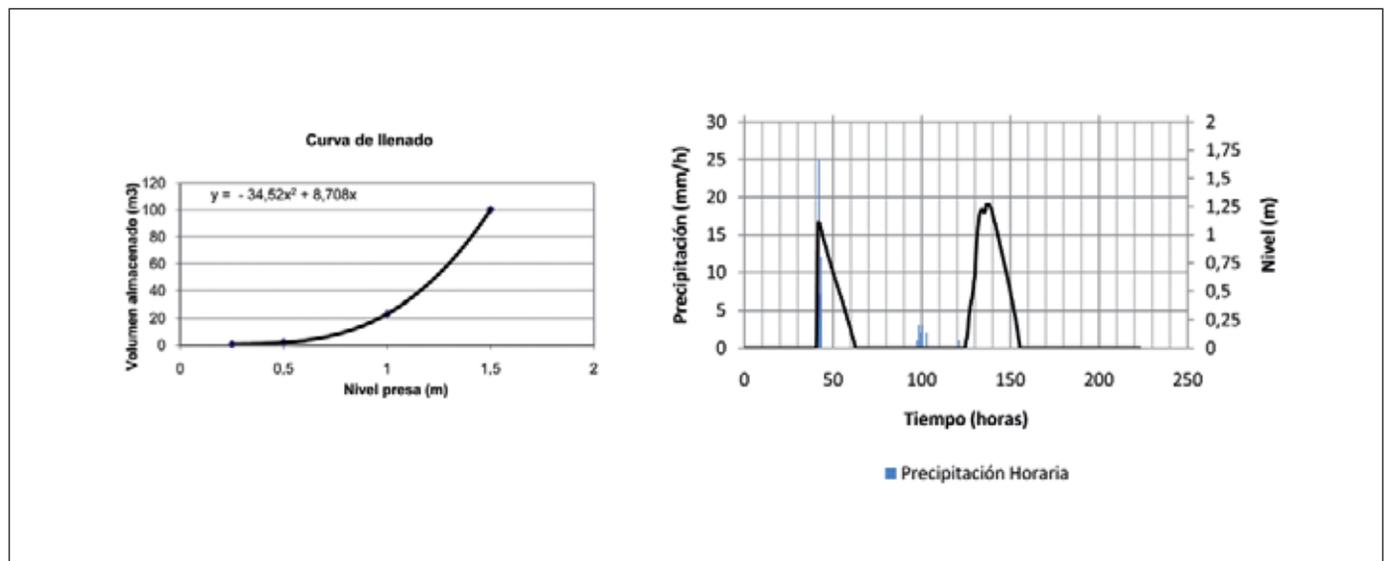


Figura 7. Curva de llenado (izquierda). Evolución del nivel a consecuencia de un evento de precipitación (derecha)
 Figure 7. Reservoir storage curve (left). Level evolution consequence of a rainfall event (right)

hm³/año, con un coste medio ponderado de 10 céntimos de €/m³. Uno de los emplazamientos seleccionados en el río Girona coincide con la presa de Isbert, por lo que su coste debe descontarse del coste total, que de este modo queda fijado en 26,95 millones de €

Se propone acometer el plan en tres fases:

- En la primera se acometerán las 25 más interesantes, una vez descontado la presa de Isbert, que supondrán una inversión de 11,85 millones de euros para 7,1 hm³/año con un coste medio ponderado de 9 cts €/m³.

- En la segunda, se construirán 18 presas en serie en aquellas cuencas en las que la escorrentía no regulada siga siendo importante tras la primera fase, que supondrán una inversión de 10,2 millones de euros para 6,87 hm³/año con un coste medio ponderado de 8 cts €/m³.
- Por último, se propone la construcción de 10 presas piloto, en principio menos rentables, pero que presentan el interés adicional de ser útiles para la mejora del conocimiento de los mecanismos de escorrentía en cuencas de montaña, que supondrán una inversión de 4,9

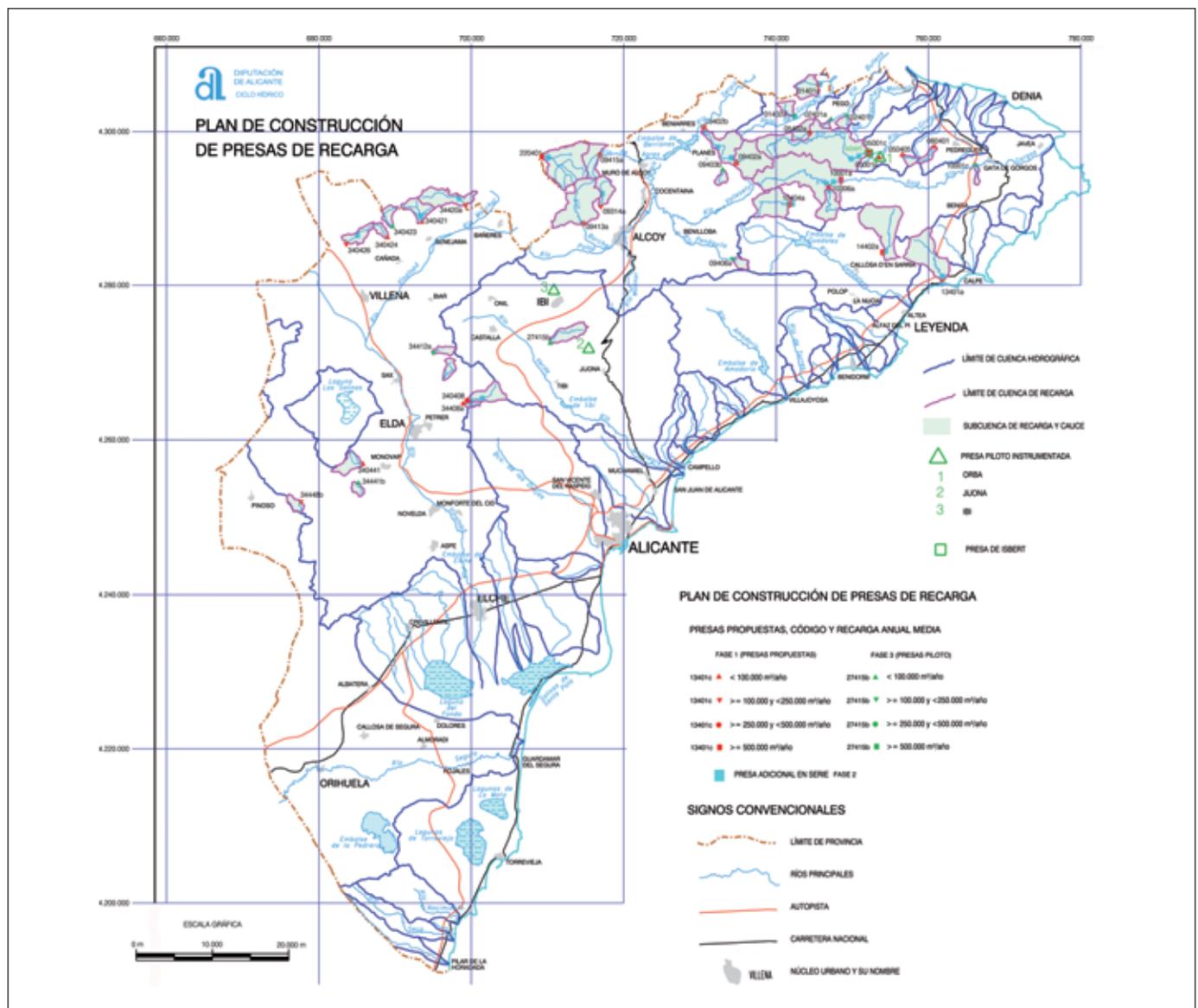


Figura 8. Ubicación de las presas de recarga propuestas en el PCPR
 Figure 8. Location of the recharge dams included in the proposal (PCPR)

millones de euros para 0,82 hm³/año con un coste medio ponderado de 31 cts €/m³.

La mayor parte de los emplazamientos se sitúan en la mitad norte de la provincia, que es en la que se produce mayor escorrentía y donde se encuentran buenos vasos sobre materiales permeables. Los acuíferos afectados por el PCPR son 20 y presentan una alimentación media de 212,41 hm³/año. De estos 20, seis presentan una situación de sobreexplotación, cuantificada en 13,75 hm³/año, frente una alimentación de 26,62 hm³/año. De los acuíferos sobreexplotados considerados, cinco se encuentran en la cuenca del Vinalopó (Solana, Umbría, Madara, Carrasquilla-Peña Chico y Chinorlet), mientras que el sexto, Madroñal, se sitúa en la cuenca del río Verde. El resto de acuíferos se encuentran en equilibrio (en algunos casos presentan aportaciones no reguladas).

Algunas operaciones propuestas son particularmente interesantes. Así, se pueden destacar los casos de Caballo-Fraile (incremento de recursos del 60% a un coste de 0,09 €/m³), Madroñal (reduciría la sobre-

explotación un 36% a un coste de 0,39 €/m³) y Volcadores (incremento de recursos superior al 30% a un coste de 0,16 €/m³).

Se ha realizado una estimación del potencial de aumento de la alimentación de los acuíferos de la provincia en el caso de que la metodología expuesta se extendiera a todos los emplazamientos posibles, incluyendo los cauces de las cuencas principales, obteniéndose una cifra aproximada total de unos 25 hm³/año de media.

Conclusiones

El presente trabajo demuestra la viabilidad del aumento de la infiltración en los embalses subterráneos de la provincia de Alicante por medio de la construcción de presas de vaso permeable. A partir de los trabajos realizados en las diferentes fases se obtiene que:

- La metodología desarrollada, que combina varias

Acuífero	Alimentación (hm ³ /a)	Incremento de recursos fase 1 (hm ³ /a)	Incremento de recursos fase 2 (hm ³ /a)	Incremento de recursos fase 3 (hm ³ /a)	Incremento total de recursos PCPR (hm ³ /a)
Albuera-Mustalla	55,70	0,78	0,78	0,14	1,70
Almudaina-Segaria	43,00	1,70	0,34	0,26	2,30
Caballo-Fraile	1,10	0,34	0,32	-	0,66
Carrascal-Ferrer	14,00	0,65	0,6	-	1,25
Carrasquilla-Peña Chico	0,6	-	-	0,14	0,14
Chinorlet	0,08	0,10	-	-	0,10
Cocoll	3,00	0,54	1,60	-	2,14
Depresión de Benissa	20,00	0,14	0,28	0,08	0,50
Madara	1,50	-	-	0,03	0,03
Madroñal	0,3	-	-	0,07	0,07
Mediodía	14,35	0,37	2,36	-	2,73
Onteniente	4,08	0,28	0,28	-	0,56
Orba	3,52	0,07	0,07	-	0,14
Peñón	2,12	0,63	-	-	0,63
Pinar de Camús	13,20	0,45	-	-	0,45
Riola	0,04	-	-	0,11	0,11
Solana	23,14	0,55	0,24	0,05	0,84
Solana de la Llosa	10,30	0,12	-	-	0,12
Umbría	1,00	0,05	-	-	0,05
Volcadores	0,90	0,29	-	-	0,29
Suma	211,93	7,06	6,87	0,88	14,81

Tabla 1. Incremento de recursos previsto para los acuíferos estudiados
 Table 1. Water resources increase foreseen for studied aquifers

formulaciones de uso generalizado, demuestra ser un modelo apropiado para realizar a escala regional la identificación de cerradas que cumplan ciertas restricciones, la generación de series de la escurrentía en las mismas a partir de datos diarios de precipitación y la evaluación de infiltración en las mismas.

- Con una inversión de unos 27 millones de € se podría acometer la construcción de 52 nuevas presas propuestas que producirían una infiltración de 14,81 hm³/año, lo que supone un aumento del 7% en el total de los recursos de los acuíferos afectados (Tabla 1).

Las posibilidades reales de regulación podrían ser mayores que las resultantes del modelo. Si se consideran, además de las cuencas pequeñas, actuaciones en cuencas principales se podría incrementar el agua infiltrable del orden de un 40% respecto a las previsiones del PCPR.

La construcción de presas de recarga no puede ser considerada como una solución determinante para los problemas de uso intensivo de las aguas subterráneas de la provincia de Alicante, ya que las cifras de recarga inducida son moderadas. No obstante, a la luz de los resultados de este trabajo, localmente hay operaciones muy interesantes como son los casos citados de los acuíferos de Caballo-Fraile, Madroñal, Carrasquilla-Peña Chico o Volcadores. Por tanto, estas infraestructuras deberían ser incluidas en la planificación hidrológica, ya que en ciertas situaciones proporcionan un aumento de recursos importante con costes asumibles, que puede solucionar problemas de abastecimiento o contribuir a la estabilización de la sobreexplotación en ciertos acuíferos.

Agradecimientos

A la confederación Hidrográfica del Júcar que ha proporcionado los resultados de modelos de escurrentía en las cuencas de la provincia de Alicante, que han sido utilizados en la calibración, en distintas fases de este estudio.

Referencias

- Departamento de Ciclo Hídrico (DCH), 1999. Aumento de los recursos hídricos mediante incremento de la recarga por infiltración de lluvia en los embalses subterráneos provinciales. Informe interno sin publicar, en Diputación de Alicante.
- DCH, 2001. Cálculo de la infiltración en emplazamientos seleccionados para la construcción de presas de recarga piloto en la provincia de Alicante. [Recarga 2]. Informe interno sin publicar, en Diputación de Alicante.
- DCH, 2003. Mapa Hidrológico Provincial de Alicante. Ed. Diputación de Alicante, 48 pp.
- DCH, 2004. Síntesis de los trabajos destinados a la determinación de la recarga por infiltración de escurrentía superficial en embalses ubicados en cauces permeables de la provincia de Alicante. Informe interno sin publicar, en Diputación de Alicante.
- DCH, 2007. Mapa del Agua. Provincia de Alicante. Ed. Diputación de Alicante, 78 pp.
- DCH, 2008. Plan de Construcción de Presas de Recarga para el aumento de la infiltración en embalses subterráneos provinciales. Ed. Diputación de Alicante, 133 pp.
- Karnieli, A., Ben-Asher, J., Dodi, A., Assar, A. y Oron, G., 1988. An empirical approach for predicting runoff yield under desert conditions. *Agricultural Water Management*, 14, 243-252.

Recibido: junio 2009

Revisado: septiembre 2009

Aceptado: septiembre 2009

Publicado: octubre 2009

