

Papel de los recursos hídricos subterráneos en el esquema general del suministro conjunto de agua a la comarca de la Marina Baja (Alicante)

S. Castaño Castaño y J. M. Murillo Díaz

Instituto Geológico y Minero de España. Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. C/ Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

RESUMEN

En la comarca de la Marina Baja de Alicante el abastecimiento urbano y turístico se realiza gracias a un esquema de utilización conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos. Dadas la escasa capacidad de los embalses superficiales y la irregularidad de las precipitaciones, las aguas subterráneas adquieren una importancia capital en el sistema, al ser durante largos períodos los únicos recursos disponibles, actuando los embalses como simples elementos de almacenamiento y distribución de las aguas subterráneas hacia las zonas de demanda.

En el presente trabajo se cuantifican de modo absoluto y relativo los volúmenes de aguas subterráneas de los principales sistemas acuíferos (Algar y Beniardá) implicados en el esquema de utilización conjunta, que afectan fundamentalmente al volumen regulado en el embalse de Guadalest. Igualmente se estudia la afección de algunos bombeos realizados en el acuífero de Sella, que se vertieron en un cauce tributario del embalse de Amadorio, con vistas a su posible integración en el sistema general de gestión.

En ambos casos se utiliza como método de cálculo la restitución al régimen natural de las aportaciones a los embalses, a escala diaria, analizándose de modo pormenorizado cada una de las componentes del balance y el término "error" resultante.

Palabras clave: balance hídrico, Marina Baja, restitución al régimen natural, uso conjunto.

The role of groundwater in water supply of Marina Baja district (Alicante province, Spain)

ABSTRACT

A conjunctive use system exists in Marina Baja district (Alicante province) to supply water for urban and turistic demands. Groundwater is at the head of used water resources in the system because of the irregularity of rainfall and the limited capacity of reservoirs. Then groundwater becomes the only available water resources during large periods, while reservoirs only store and deliver that groundwater to demands areas.

This paper quantifies, both absolute and relative, groundwater volumes exploited in the main aquifers of the conjunctive use system (Algar and Beniardá aquifers), that are inputs in Guadalest reservoir. The influence of some pumped water from Sella aquifer on resources of Amadorio reservoir is also studied.

The used methodology is based on calculating the natural daily inflow serie to reservoirs by means of the mass (water) balance equation. A detailed analysis of each water balance component, including residuals, is made.

Key words: conjunctive use, Marina Baja, natural hydrologic time series, water balance.

INTRODUCCIÓN

El suministro de agua a la Marina Baja de Alicante (figura 1) ha sido un ejemplo prototípico de utilización conjunta de aguas superficiales y

subterráneas en el Levante Español (Sahuquillo, 1983, 1985 y 1989; Sánchez González y Murillo, 1997). La construcción de dos pequeños embalses, originalmente para uso agrícola, junto con la existencia de abundantes formaciones acuíferas

situadas en una de las zonas más lluviosas de la provincia de Alicante, constituyeron la base óptima para que el uso conjunto pudiera realizarse a escala comarcal.

El cambio de la actividad económica en la zona costera hacia el sector turístico, especialmente desde la década de 1960, provocó también un incremento considerable de la demanda de agua para usos urbanos. Así mismo, la agricultura de la comarca ha ido modificándose hacia una especialización en cultivos de regadío de mayor rendimiento, fundamentalmente níspero y cítricos. Ello ha originado, al mismo tiempo, una búsqueda constante de nuevas fuentes de agua, esencialmente subterráneas y actualmente superficiales trasvasadas, conflictos y convenios entre usuarios, y un intento de optimización de los recursos propios mediante la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas para uso agrícola.

La evolución del abastecimiento de agua en la Marina Baja ha originado un esquema sencillo (figura 1) en apariencia, basado en los dos embalses y en la explotación de algunos acuíferos mediante bombeos y adecuación de manantiales, aunque en realidad es relativamente complejo al superponerse los suministros agrícola y urbano (este último se realiza en algunos lugares complementando el sistema general con fuentes municipales propias), la reutilización de aguas residuales e infraestructuras que se encuentran condicionadas por sus capacidades, estado y múltiples ramificaciones (ITGE y DPA, 2000).

El esquema de uso conjunto resultante se podría incluir dentro del tipo "uso alternativo de aguas superficiales y subterráneas" (Sahuquillo, 1983), aunque en el caso particular de la Marina Baja, los acuíferos adquieren una importancia capital por la escasa escorrentía natural que regulan los embalses (ITGE y DPA, 2000) y por la escasa capacidad de estos elementos de almacenamiento superficial (13 hm³ de Guadalest y 16 hm³ de Amadorio).

En los diferentes trabajos consultados son escasas las referencias a la cuantía del uso de las aguas subterráneas dentro del sistema general de abastecimiento a la Marina Baja. En conjunto, se limitan a especificar las capacidades máximas

de bombeo de la estación de impulsión de El Algar y de los sondeos que explotan los acuíferos (Sahuquillo, 1985 y 1989; SGOPI, 1980). En algunos de esos estudios (SGOPI, 1980) se realiza también una estimación del grado de aprovechamiento de los caudales regulados en los manantiales del Algar, considerando las demandas existentes y las infraestructuras construidas y proyectadas en aquellas fechas.

En Consorcio para Abastecimiento de Aguas y Saneamiento de la Marina Baja (1990) y en ITGE (1990) se cuantifican las extracciones en los bombeos en los acuíferos de Beniardá y Algar y en la estación de impulsión de esta última zona. En el primer estudio, para la estación de impulsión se dan valores de 3 a 18 hm³/a, mientras que en el segundo las cifras dadas son de 4,7 a 18 hm³/a con una media de 9 hm³/a en el período activo de la estación; para los bombeos de Beniardá las cifras que se mencionan son de 1,5 a 9,5 hm³/a en el primer estudio y de 0,3 a 8,4 hm³/a en el segundo.

En el presente trabajo, se cuantifican, en relación con los recursos superficiales, los volúmenes de aguas subterráneas, especialmente los procedentes de los acuíferos de Beniardá y Algar, que intervienen en el sistema general de abastecimiento a la Marina Baja, es decir en el gestionado por el Consorcio para Abastecimiento y Saneamiento de la Marina Baja. La cuantificación se ha realizado para un período concreto (1 de julio de 1996 a 28 de febrero de 1998), favorable para el bombeo desde la estación de impulsión de las aguas que surgen en los manantiales del Algar. También se ha estimado la importancia que pudieran tener los bombeos desde el acuífero de Sella a partir de los ensayos que se realizaron para integrar el acuífero en el subsistema del embalse de Amadorio.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo fundamental ha sido cuantificar de modo absoluto y relativo el volumen de agua subterránea involucrada en el sistema general de gestión de los recursos hídricos de la Marina Baja y comprobar su importancia para garantizar el suministro a los municipios costeros de la comarca.

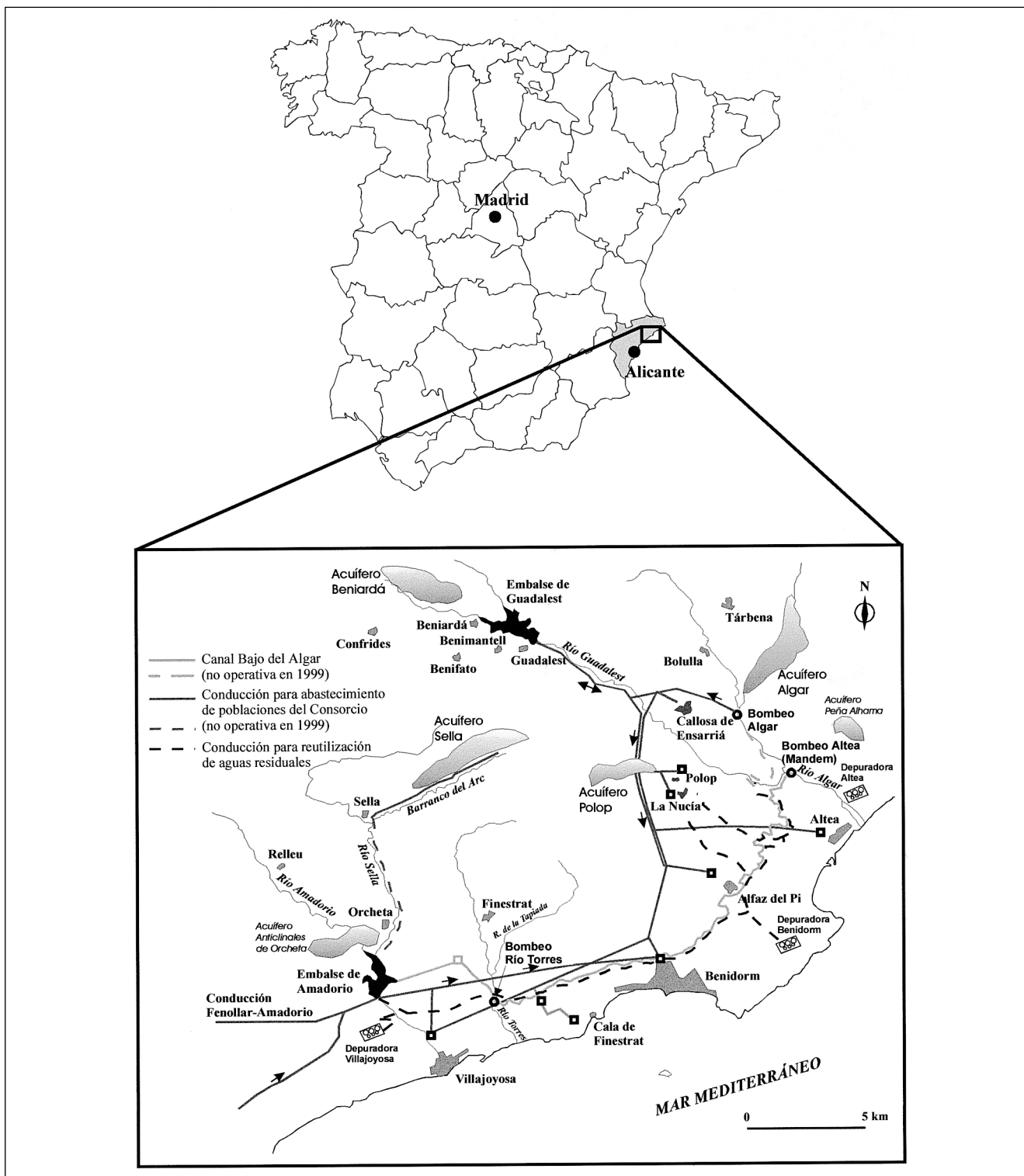


Fig. 1. Situación geográfica de la Marina Baja y principales componentes del sistema general de utilización conjunta de recursos hídricos de la comarca (modificado de Consorcio para Abastecimiento y Saneamiento de la Marina Baja, 1998)

Fig. 1. Geographic situation of Marina Baja and main components of the conjunctive use system of the district (modified from Consorcio para Abastecimiento y Saneamiento de la Marina Baja, 1998)

Para ello se han utilizado los datos existentes en los elementos clave para el almacenamiento y suministro de agua, como son los embalses de Guadalest y Amadorio. En ellos se han realizado sendos balances de agua, separando los componentes que constituyen entradas y salidas en cada uno de ellos, y se ha analizado el reflejo del estado del embalse en función de las mismas, es decir, la variación del volumen de agua almacenada.

El balance se ha realizado, a escala diaria, con los datos disponibles, obteniéndose así una evaluación indirecta de los recursos (Andreu y Estrela, 1993; Estrela, 1993) mediante una restitución de la aportación al embalse al régimen natural (López García, 1993).

La utilización de una escala temporal tan detallada requiere que los componentes del balance sean relativamente precisos. Por ello, se ha realizado un análisis previo de los datos disponibles, especialmente los meteorológicos, algunos de los cuales han requerido un proceso de corrección y completado. Ello ha podido originar una incertidumbre en los resultados que se manifestaría en el error asociado al balance como un residuo que oscilaría alrededor del valor nulo (balance perfecto), junto con aquel error derivado de los errores sistemáticos de las medidas (Estrela, 1993).

Otra indeterminación más problemática es la derivada de no considerar algunos de los componentes de la ecuación del balance hídrico (Estrela, 1993), que en el caso de la Marina Baja es relativamente probable, ya que la dispersión e imprecisión de algunos datos son considerables, especialmente los referentes a los bombeos de aguas subterráneas. El residuo correspondiente en este caso, ha sido utilizado para la estimación, aunque sólo sea de modo muy aproximado, de esas componentes no cuantificadas directamente.

Finalmente, tras la realización de la restitución al régimen natural, calculando la aportación superficial al embalse, y la estimación de algunas variables a partir del balance, y teniendo en cuenta las medidas directas de otras, se ha calculado la importancia relativa de cada una de los componentes principales del suministro de agua

para abastecimiento en el sistema general de recursos hídricos de la Marina Baja.

BALANCE HÍDRICO EN EL EMBALSE DE GUADALEST

El cálculo del balance hídrico del embalse de Guadalest requiere considerar un conjunto de entradas y salidas al mismo, que se han representado en la figura 2.

El balance de agua a establecer en el embalse será:

$$\Delta V = E - S$$

donde:

- ΔV es la variación del volumen de agua almacenado en el embalse,
- E es el conjunto de entradas de agua al embalse, y
- S son las salidas del mismo.

En la figura 2 se puede observar que las entradas al embalse procederán de las aportaciones naturales de los cauces vertientes al embalse, de los bombeos que se realizan en los sondeos de Beniardá y que tienen como destino final el embalse, de la precipitación directa sobre el embalse y del agua bombeada en la estación de impulsión de El Algar que llega al embalse. En cuanto a las salidas, se producen por evaporación desde el embalse y por sueltas para atender las demandas agrícolas, urbanas y ecológicas, ya que no se tiene información sobre infiltración de agua en el terreno a partir del embalse, al menos desde los estudios y obras que se realizaron para tal fin, ni de otro tipo de salidas, como las procedentes del sobrellenado del embalse.

Para conocer la aportación natural al embalse de Guadalest será necesario realizar una restitución de las mismas al régimen natural mediante la siguiente fórmula:

$$An = V_f - V_i + Ev + Sc + Si - Pd - BB - BA$$

siendo:

An la aportación natural que llegaría al embalse,

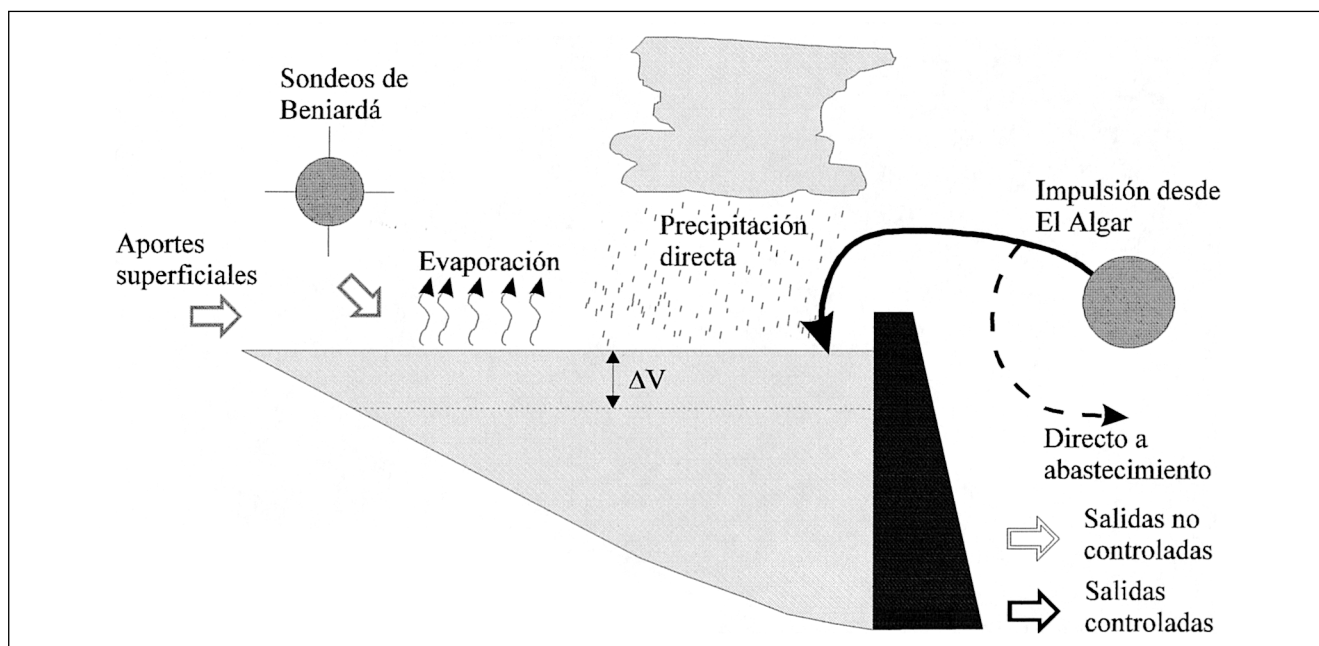


Fig. 2. Elementos del balance hídrico del embalse de Guadalest

Fig. 2. Components of water balance of Guadalest reservoir

- V_i el volumen almacenado en el embalse al comienzo del período considerado,
- V_f el volumen almacenado en el embalse al final del período considerado,
- E_v la evaporación que se produce en el embalse,
- S_c las salidas controladas para satisfacer las demandas,
- S_i las salidas del embalse no controladas,
- P_d la precipitación directa sobre el embalse,
- BB el agua bombeada en los sondeos de Beniardá, y
- BA el agua bombeada en la estación de impulsión de El Algar que llega al embalse de Guadalest.

De acuerdo con las características de generación de los recursos hídricos en la zona, generalmente mediante fenómenos de lluvia intensa en intervalos de tiempo cortos, parece imprescindible que el balance de agua deba realizarse, al menos, a escala diaria.

Por otra parte, y dado que la falta de integración de componentes del balance aumenta el error y,

por tanto, la incertidumbre, esa restitución debe realizarse para un período de tiempo en el que esas componentes estén acotadas con un grado de precisión aceptable para los propósitos que se plantean. En la tabla 1 se muestran los datos de que se ha dispuesto desde la puesta en pleno funcionamiento del embalse en el año hidrológico 1967-68.

IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS BOMBEO DE BENIARDÁ Y ALGAR

Elementos esenciales de la gestión conjunta en la Marina Baja son los bombeos que se realizan desde la estación de impulsión de El Algar y los sondeos de Beniardá hasta el embalse de Guadalest. Sin embargo, sus datos, como se aprecia en la tabla 1, no han estado disponibles en todas las fechas; además el origen de los datos es diferente (esencialmente ITGE, 1990 y otros aportados por el Consorcio para Abastecimiento y Saneamiento de la Marina Baja) con lo cual sólo es posible realizar el balance de agua en el embalse en aquellas épo-

Año Hidrológico	Almacenamiento embalse	salidas embalse	Evaporación Alicante	Precipitación emb. Guadalest	Bombeos Beniardá	Impulsión Algar
1967-68	TD	TD	TM		Sin extrac.	Sin bombeo
1968-69	TD	TD	TM		Sin extrac.	Sin bombeo
1969-70	TD	TD	TM		Sin extrac.	Sin bombeo
1970-71	TD	TD	TM	PD	Sin extrac.	Sin bombeo
1971-72	TD	TD	TM	TD	Sin extrac.	Sin bombeo
1972-73	TD	TD	TM	PD	Sin extrac.	Sin bombeo
1973-74	TD	TD	TM	TD	Sin extrac.	Sin bombeo
1974-75	TD	TD	TM	PD	Sin extrac.	Sin bombeo
1975-76	TD	TD	TM	TD	Sin extrac.	
1976-77	TD	TD	TM	PD	Sin extrac.	
1977-78	TD	TD	TM		Sin extrac.	
1978-79	TD	TD	TM		TM	
1979-80	TD	TD	TM		TM	
1980-81	TD	TD	TM		TM	
1981-82	TD	TD	TM	PD	TM	PM
1982-83	TD	TD	TM	TD	TM	TM
1983-84	TD	TD	TM	TD	TM	TM
1984-85	TD	TD	TM	TD	TM	TM
1985-86	TD	TD	TM	TD	TM	TM
1986-87	TD	TD	TM	PD	TM	TM
1987-88	TD	TD	TM	TD	TM	TM
1988-89	TD	TD	TM	TD	TM	TM
1989-90	TD	TD	TM	TD	PM	PM
1990-91	TD	TD	PM	TD		
1991-92	TD	TD	TM	TD		
1992-93	TD	TD	PM	TD	PA	PM
1993-94	TD	TD	PM	TD	PA	PD/PM
1994-95	TD	TD	TM	TD	PA	TD/PM
1995-96	TD	TD	TM	TD	PA	TD/TM
1996-97	TD	TD	TM	TD	PA	TD/TM
1997-98	PD	PD	PM	PD	PA	PD/PM
T=Totalidad de datos P=Datos Parciales		D=Datos diarios M=datos mensuales A=Datos anuales				

Tabla1. Datos disponibles para el cálculo del balance en el embalse de Guadalest

Table 1. Available data to calculate the water balance in Guadalest reservoir

cas en las que se disponga de la información de modo adecuado.

Por ello, y para analizar la importancia relativa de estos elementos de la fase subterránea en el balance de agua del embalse de Guadalest, se ha realizado un análisis especial de dicho balance en un intervalo concreto de tiempo dentro del período completo en el que los bombeos desde el río Algar y desde el acuífero de Beniardá influyen en el estado del embalse.

Se consideró, en una primera aproximación, que el período más apropiado para llegar a valores más exactos en el cálculo del balance en el embalse es el correspondiente al comprendido entre el 1 de julio de 1996 y el 28 de febrero de 1998. Para su elección se pueden mencionar las siguientes circunstancias:

- Los datos de precipitación que se han dispuesto proceden del Instituto Nacional de Meteorología (INM) y de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) en el propio embalse. En este período tienen un registro sin interrupción y son muy similares para los dos organismos, al contrario que en otras épocas. En un principio se han considerado los proporcionados por la CHJ.

- Se trata de un período húmedo, en el cual se supone que se producirá una importante aportación superficial natural de la cuenca del embalse, que tendrá un peso importante en el conjunto de recursos regulados por el embalse. Además se producen sobrantes abundantes de surgencias en la zona de El Algar, con lo que seguramente la impulsión que se realiza en ese sector tendrá como destino mayoritariamente el embalse del Guadalest, siendo la derivación directa para abastecimiento minoritaria.

- Por otra parte, los datos de los caudales bombeados desde la estación de impulsión de El Algar son diarios durante todo el período. Únicamente no se dispone de datos los días 5 a 8 de diciembre de 1996, para los cuales se ha considerado un caudal de bombeo nulo. Además durante 7 días (1 de enero, 25 de mayo, 24 de agosto y 19 a 21 de diciembre de 1997, y 8 de febrero de 1998), existieron fallos en la estación de impulsión, figurando en los datos el valor nulo para el bombeo.

- Los datos de los bombeos de Beniardá de los que se ha dispuesto son incompletos desde 1990. Desde julio de 1996 no se ha facilitado ningún dato de bombeos, aunque, según comunicaciones personales, la mayor parte de ese período debieron estar sin funcionar, con lo que, en primera instancia, se pueden considerar nulos.

A partir de todas las consideraciones expuestas anteriormente se ha realizado una primera aproximación al balance de agua en el embalse de Guadalest en el período mencionado, no teniendo en cuenta en el mismo la entrada de agua procedente de la impulsión desde El Algar, ya que no se conoce con exactitud qué cuantía de la misma entra en el embalse y qué cantidad se deriva directamente para abastecimiento (figura 2).

El resultado de dicho balance se ha representado en la figura 3, en la que también se han incluido los valores de los volúmenes totales de agua bombeados en El Algar.

En dicha figura se pueden separar tres zonas:

- a) La primera corresponde a unos períodos en los que ambas líneas representadas son prácticamente paralelas. Se produce de forma notoria entre principios de julio de 1996 y finales de enero de 1997, y entre mediados de junio de 1997 y finales de septiembre de ese mismo año. Esto parece interpretarse, por una parte, como la dependencia prácticamente total de la entrada de agua al embalse del agua que se impulsa desde El Algar en amplios períodos de tiempo y, por otra, que existe una entrada de agua no controlada en el embalse, de caudal relativamente constante.
- b) La segunda zona corresponde a períodos relativamente breves en los que el agua bombeada en El Algar es prácticamente constante, mientras que el resultado del balance muestra algunos valores muy altos y otros similares a los de la impulsión. Esas circunstancias se encuentran entre mediados de abril y mediados de mayo de 1997, a principios de noviembre de 1997 y entre principios de noviembre de 1997 y mediados de enero de 1998. En esos períodos el volumen de agua que se bombea

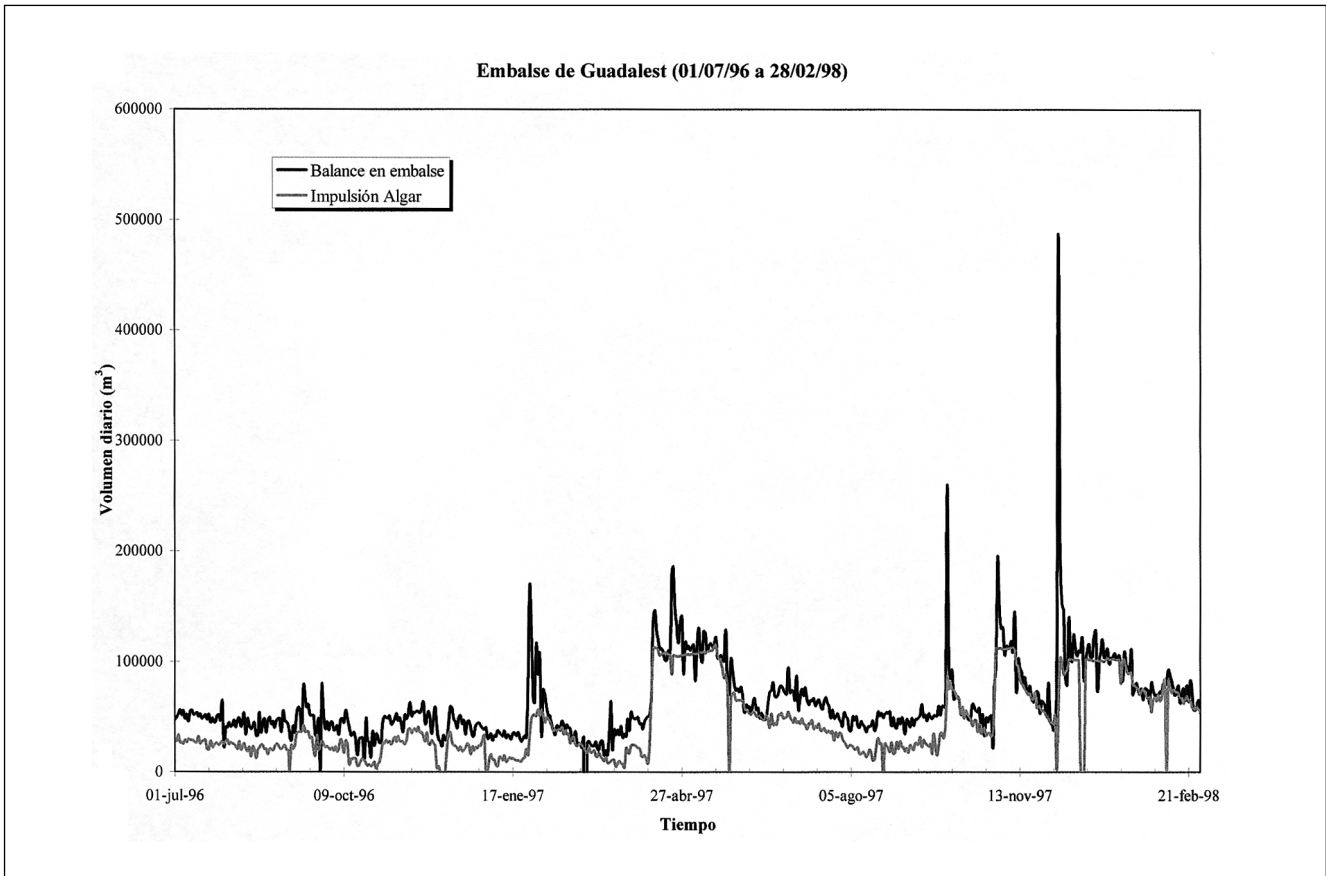


Fig. 3. Balance de agua en el embalse de Guadalest sin considerar entradas desde la estación de impulsión de El Algar, y volúmenes totales bombeados en esta

Fig. 3. Partial water balance in Guadalest reservoir without inputs from El Algar, and pumping rates from this site

en la estación de impulsión supera ligeramente los 100000 m³ diarios (equivalente a un caudal medio de unos 1200 l/s), y representaría el máximo caudal que se puede bombear en dicha estación durante las máximas aportaciones del sistema de El Algar. Igualmente, los picos en los resultados del balance deben estar relacionados con las aportaciones naturales al embalse, que parecen tener una escasa continuidad, ya que, como se ha comentado, el resto de los valores son prácticamente coincidentes con los de los bombeos desde El Algar.

c) La última zona está representada por períodos en los que los resultados del balance muestran valores progresivamente menores. Se

encuentra desde finales de enero a mediados de marzo de 1997, desde mediados de mayo a mediados de junio de 1997, durante el mes de octubre de 1997, desde mediados de noviembre a principios de diciembre de 1997 y desde mediados de enero de 1998 hasta la finalización del período de cálculo del balance (finales de febrero de 1998). La representación de los caudales bombeados desde El Algar muestra que los valores del caudal bombeado y los datos del balance son muy similares, y que los descensos de estos últimos son consecuencia del descenso de los primeros, y, por tanto, del agotamiento de los recursos en el subsistema de El Algar. La componente de derivación directa a abastecimiento es, como se había presupuesto, poco significativa.

Estos hechos se aprecian más claramente en las figuras 4 y 5 donde se han representado el balance de agua en el embalse sin considerar los bombeos desde El Algar y el volumen bombeado en este lugar entre el 15 de enero y el 30 de junio de 1997 (figura 4) y entre el 15 de septiembre de 1997 y el 28 de febrero de 1998 (figura 5).

Así pues, las aportaciones al embalse inferiores a los 100000 m³/d muestran una gran influencia de los bombeos desde El Algar coincidiendo ambos valores en muchas ocasiones. Se ha realizado, por ello, el balance total del embalse de Guadalest, considerando como entrada el volumen total bombeado desde la estación de impulsión, despreciando la posible derivación directa para abastecimiento (figura 2). El resultado final se ha representado en la figura 6.

A partir de la figura, y teniendo en cuenta lo

expuesto en los párrafos anteriores, se observa que existen períodos en los cuales el balance es netamente positivo. Además los valores son relativamente homogéneos. Corresponde a una entrada adicional de agua, seguramente a partir de los bombeos en Beniardá, aunque no se tenga información de los mismos. Esto parece estar indicado porque en dichos períodos se incluyen los veranos de 1996 y 1997 y la Semana Santa de 1997. Además, a partir de los datos disponibles de bombeos en los años 1979-1989 (ITGE, 1990) se tiene que los volúmenes máximos bombeados fueron del orden de 1025000 m³ al mes (lo que equivale a una media de casi 34000 m³ diarios) y que el volumen medio bombeado fue de unos 615000 m³ mensuales (o una media diaria de unos 20000 m³), valores muy similares a los encontrados en los períodos con aportaciones homogéneas de agua al embalse representados en la figura 6 (unos 22500 m³/d de media).

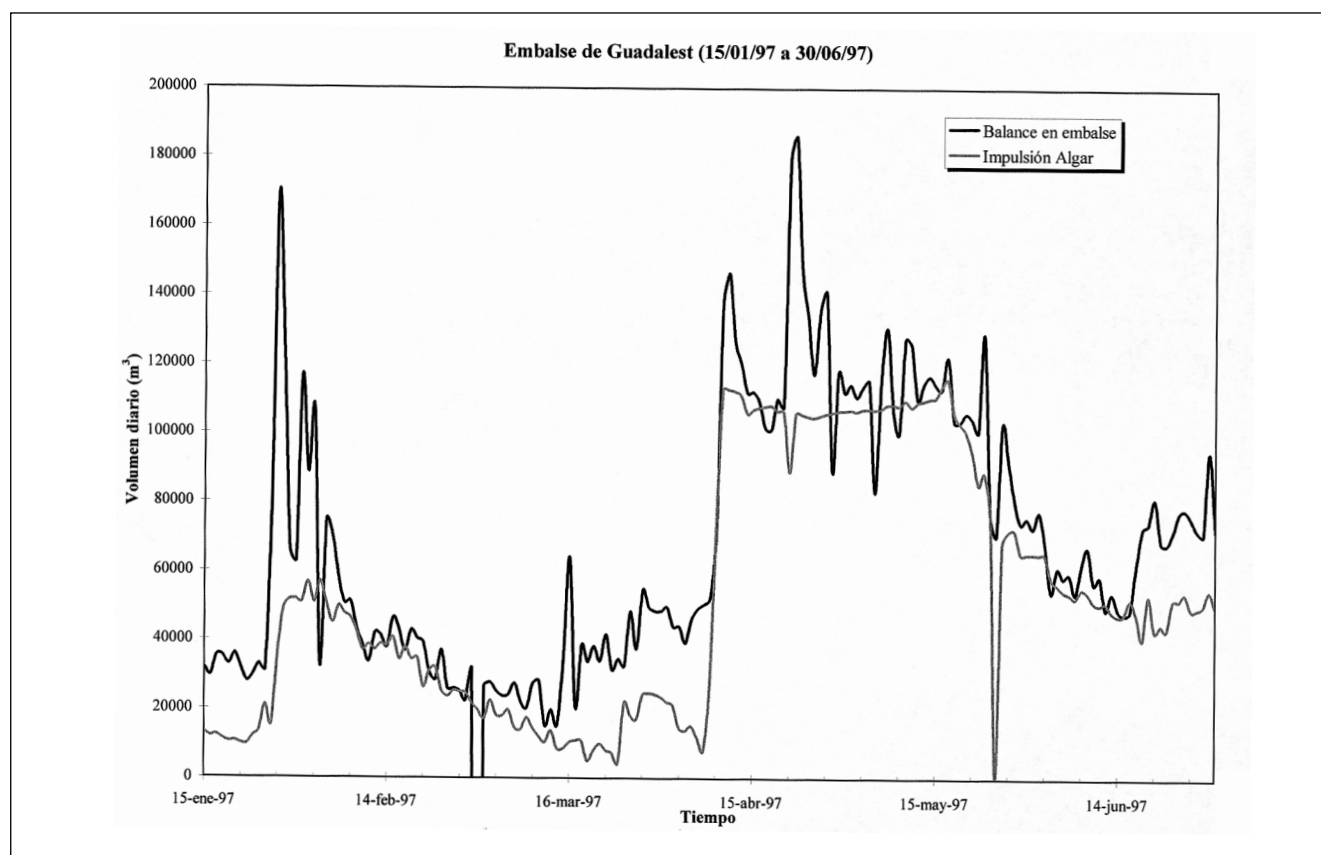


Fig. 4. Detalle de la figura 3 entre el 15 de enero y el 30 de junio de 1997

Fig. 4. Detail of figure 3 from 15 January 1997 through 30 June 1997

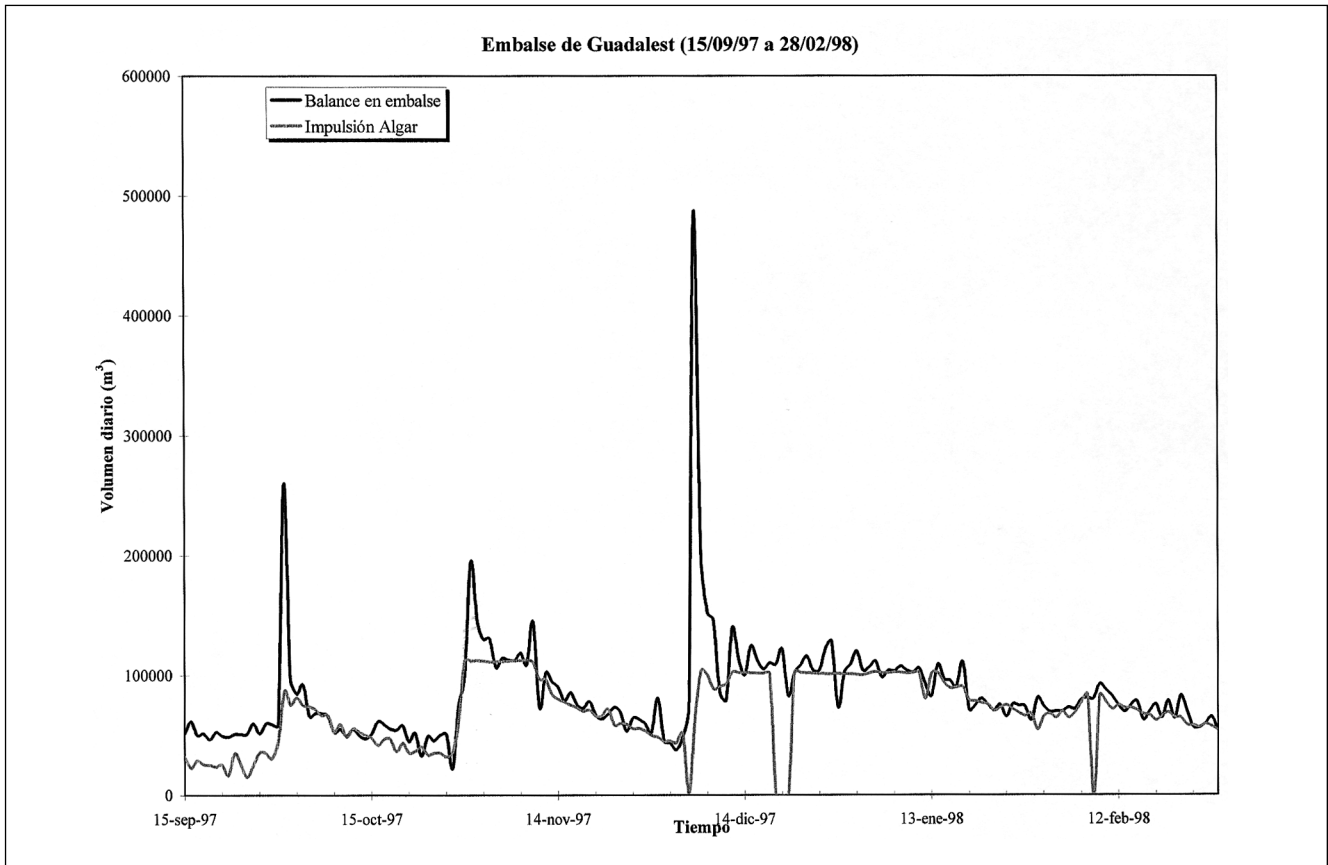


Fig. 5. Detalle de la figura 3 entre el 15 de septiembre de 1997 y el 28 de febrero de 1998

Fig. 5. Detail of figure 3 from 15 September 1997 through 28 February 1998

Durante el resto del período los valores obtenidos en el balance se aproximan al valor nulo, con lo cual no parecen existir otras aportaciones y el balance parece estar cerrado. En este caso existen también unos valores significativamente elevados, que deben corresponder a las puntas de las aportaciones en respuesta a las precipitaciones. Debe mencionarse así mismo que algunas de esas puntas coinciden con los días en los que hubo fallo en la estación de impulsión y el valor asignado al bombeo fue nulo, por lo que seguramente se produjeron algunas entradas desde dicha estación y las aportaciones que representan son ficticias.

Por otra parte, se debe mencionar que los valores obtenidos en el balance se aproximan a cero, aunque oscilan sobre el mismo debido, probablemente, a errores sistemáticos en la toma de

algunas medidas, especialmente la cota en embalse y el volumen bombeado en El Algar, el efecto del embalsamiento del agua en el azud de El Algar, con lo que se puede bombear el mismo caudal aunque disminuyan los aportes, y al efecto del agua derivada directamente desde este último punto hacia el abastecimiento, con lo que el volumen de agua aportada al embalse será menor que el introducido para el cálculo del balance. Debe señalarse que el efecto de la evaporación y la precipitación directa sobre el embalse es poco significativo.

A partir del balance realizado entre el 1 de julio de 1996 y el 28 de febrero de 1998 y la separación de sus principales componentes, se ha estimado que la aportación total al embalse fue de unos 38 hm³, de los que 27 hm³ correspondieron al bombeo desde la estación de impulsión de El Algar,

unos 7'5 hm³ (quizá algo sobreestimados) procedieron de los bombeos de Beniardá y el resto correspondió a la aportación natural de la cuenca vertiente al embalse.

Así pues, a pesar de su escaso volumen de aportación diaria, los bombeos, especialmente desde El Algar, son, a largo plazo, un elemento esencial de los recursos hídricos regulados en el embalse de Guadalest (figura 7). Sin embargo, los bombeos desde El Algar dependen, sobre todo, de la aportación natural de los manantiales (figuras 4 y 5), que en épocas de grave sequía dejan de proporcionar agua a la estación de impulsión, por lo que ese recurso es igualmente limitado. De todos modos, en esas épocas secas no existen aportes superficiales al embalse, con lo que los únicos recursos que entran son los subterráneos, que constituirían el total del volumen almacenado, incrementándose pues su importancia relativa.

Queda pues manifiesta la importancia que las aguas subterráneas tienen en la gestión conjunta de la Marina Baja, tanto de modo absoluto como relativo. Este aspecto queda también de manifiesto si se analizan el fuerte incremento en la regularización de las salidas del embalse de Guadalest tras la inclusión entre sus aportes de las aguas subterráneas de El Algar y Beniardá (Castaño *et al.*, 2000), como muestra la figura 8, y el uso que se da a las salidas destinadas a satisfacer las principales demandas de la comarca (figura 9).

BALANCE HÍDRICO EN EL EMBALSE DE AMADORIO

En el embalse de Amadorio, las entradas subterráneas están integradas dentro de la escorrentía superficial que entra en el mismo, salvo si existen

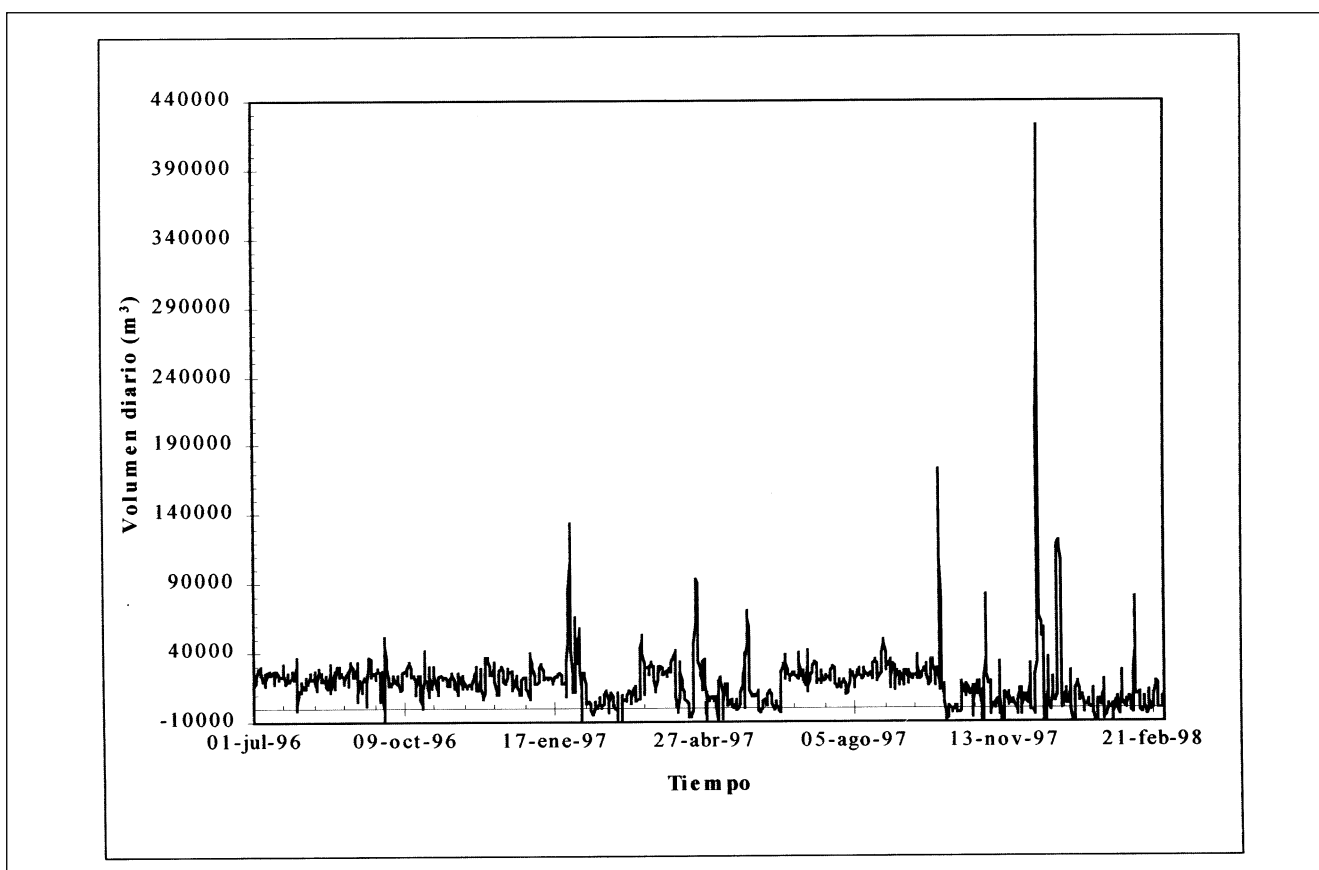


Fig. 6. Balance total del embalse de Guadalest entre el 1 de julio de 1996 y el 28 de febrero de 1998

Fig. 6 Total water balance in Guadalest reservoir from 1 July 1996 through 28 February 1998

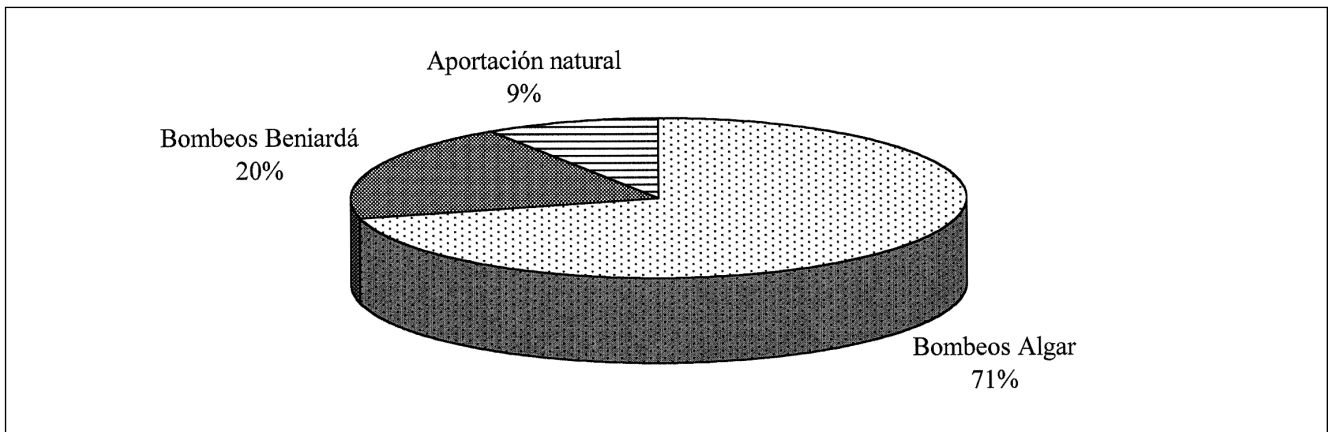


Fig. 7. Volumen relativo de las aportaciones de agua al embalse de Guadalest entre el 1 de julio de 1996 y el 28 de febrero de 1998

Fig. 7. Percentages of different water inputs in Guadalest reservoir from 1 July 1996 through 28 february 1998

excedentes en el sistema de Algar-Gudaladest, que entran en Amadorio a través de la estación de impulsión instalada en el río Torres. En este caso, sin embargo, es extremadamente difícil separar la procedencia de cada componente (sobrantes del río y manantiales del Algar, sobrantes del embalse de Guadalest, escorrentía superficial y subterránea de la cuenca del río Torres, etc.).

En este embalse, los únicos recursos subterráneos netamente diferenciables serían aquellos procedentes de los bombeos en los acuíferos de la cuenca que llegaran al embalse. En este sentido, tradicionalmente ha existido la intención de conectar el acuífero de Sella y el embalse de Amadorio del mismo modo que lo está el acuífero de Beniardá con el embalse de Guadalest, es decir bombear el acuífero y utilizar el embalse como elemento de almacenamiento. Sin embargo, las incertidumbres sobre los recursos del acuífero de Sella y la distancia que separan ambos elementos han retrasado el proyecto de modo que sólo se han realizado algunos ensayos, que se van a analizar en el presente trabajo.

Al igual que en el caso del embalse de Guadalest, para el cálculo del balance hídrico del embalse de Amadorio es necesario considerar el conjunto de entradas y salidas al mismo, que se describen detalladamente más adelante y que se han representado en la figura 10.

En la figura 10 se puede observar que las entradas al embalse procederán de las aportaciones de los cauces vertientes al embalse, de los bombeos que se han realizado, en algún momento, en los sondeos del barranco del Arc y que deben tener como destino final el embalse, de la precipitación directa sobre el embalse y del agua bombeada en la estación de impulsión del río Torres, que llega al embalse. En cuanto a las salidas, deberían considerarse exclusivamente la evaporación en el embalse y las sueltas para atender las demandas agrícolas, urbanas y ecológicas, ya que no se tiene información sobre infiltración de agua en el terreno a partir del embalse ni de otro tipo de salidas. En este sentido, en IGME y DPA (2000) se indica que, al menos por los datos piezométricos, no existen indicios de recarga inducida a los acuíferos cercanos al embalse (Anticlinales de Orcheta) por bombeos en los sondeos de la zona, que sirven para el abastecimiento de Villajoyosa, y que no están integrados en el sistema general de la comarca.

Teniendo en cuenta los distintos componentes que intervienen, el balance en el embalse de Amadorio queda:

$$A_p = V_f - V_i + E_v + S_c + S_i - P_d - B_A - B_T$$

siendo:

A_p la aportación que llegaría al embalse,

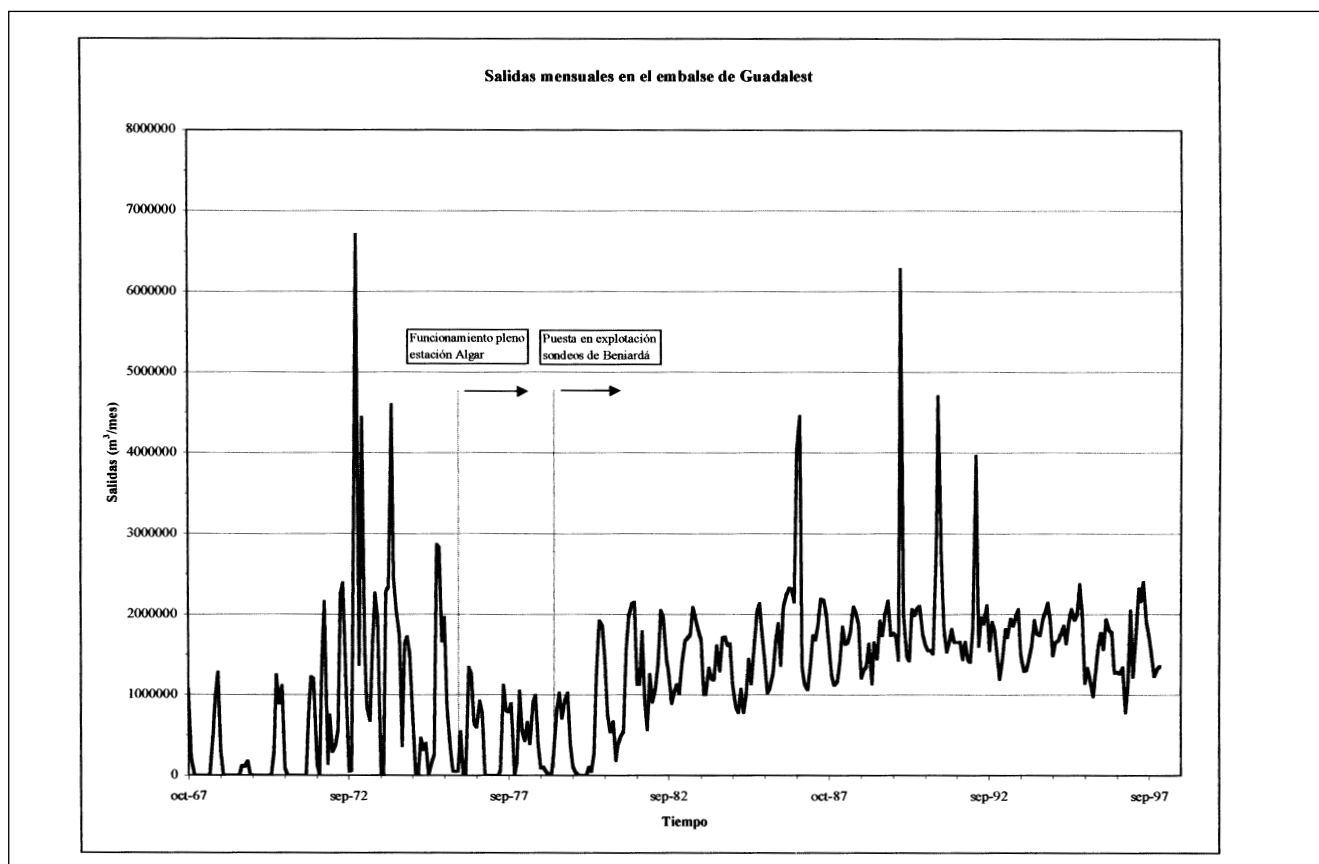


Fig. 8. Evolución de las salidas controladas en el embalse de Guadalest, mostrando su mayor regularidad desde que aparecen como entradas al embalse las aguas subterráneas (según Castaño *et al.*, 2000)

Fig. 8. Measured outflows evolution in Guadalest reservoir showing the rise of monthly releases since groundwater is pumped to the reservoir (after Castaño *et al.*, 2000)

- V_f el volumen almacenado en el embalse al final del intervalo de tiempo considerado,
- V_i el volumen almacenado en el embalse al comienzo del intervalo de tiempo considerado,
- E_v la evaporación que se produce en el embalse,
- S_c las salidas controladas para satisfacer las demandas,
- S_i las salidas del embalse que no son controladas,
- P_d la precipitación directa sobre el embalse,
- BA el agua bombeada en los sondeos del barranco del Arc que llegan al embalse, y
- BT el agua bombeada en la estación de impulsión del río Torres hacia el embalse de Amadorio.

En este caso, la restitución del régimen natural daría como resultado la aportación natural al embalse, junto con el error sistemático. Si no se considera alguna de las variables, como pueden ser los bombeos desde Sella, dicha componente iría unida (como en el caso de los sondeos de Beniardá en el balance de Guadalest) al término error con signo positivo.

BOMBEOS DESDE LOS SONDEOS DEL BARRANCO DEL ARC

En la cuenca del barranco del Arc, afluente por la izquierda del río Sella, en los términos municipales de Sella y Benimantell se encuentran dos sondeos de investigación, realizados por el IGME en

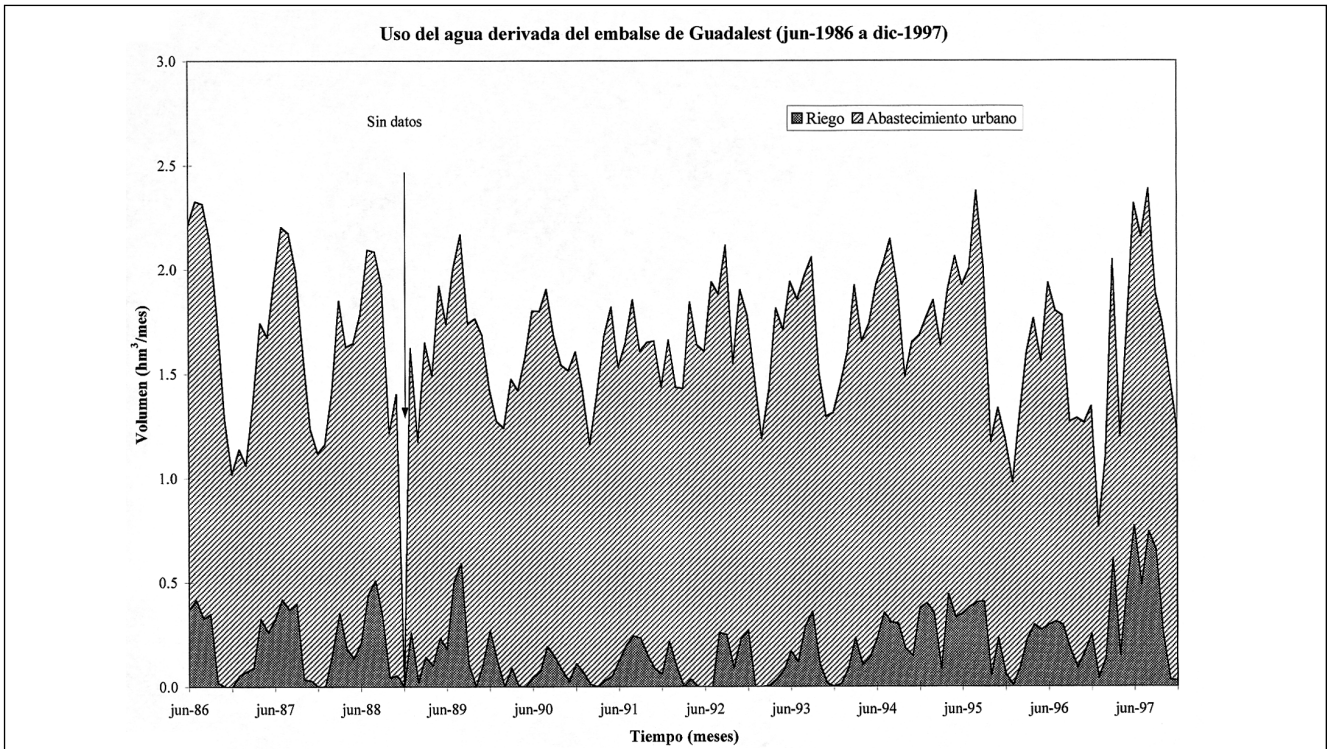


Fig. 9. Usos del agua del embalse de Guadalest entre Junio de 1986 y Diciembre de 1997

Fig. 9. Water uses of Guadalest reservoir from June, 1986 through December, 1997

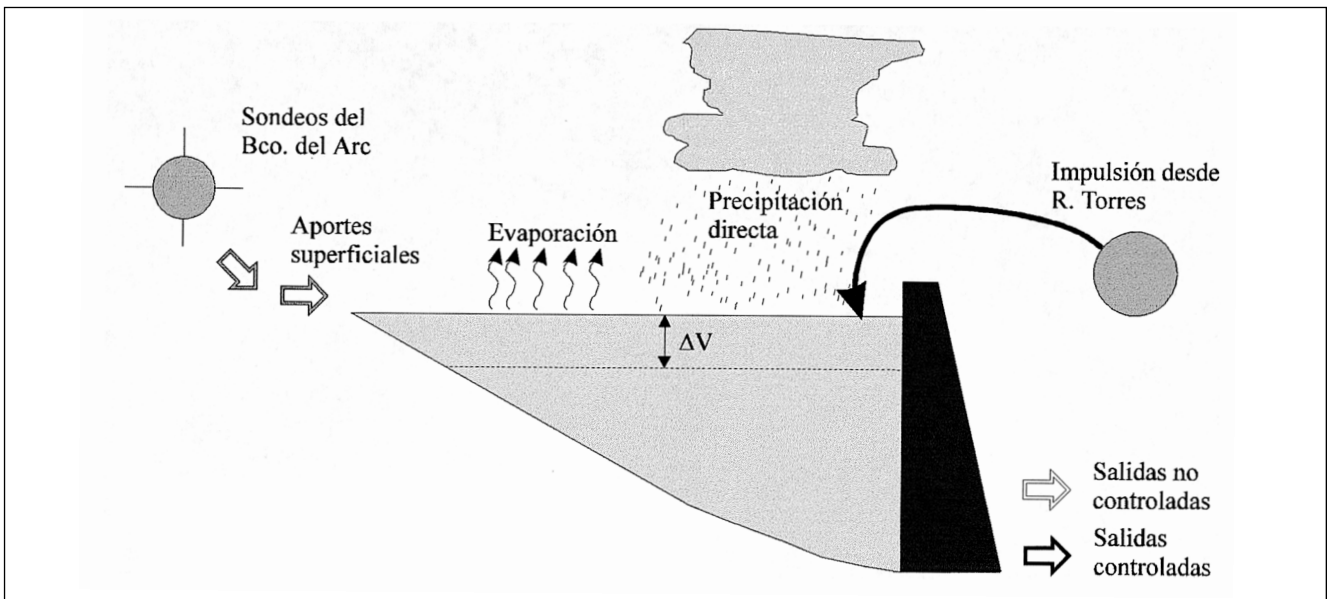


Fig. 10. Elementos del balance hídrico del embalse de Amadorio

Fig. 10. Components of water balance of Amadorio reservoir

1979 y 1985 respectivamente, que han sido utilizados eventualmente por el Consorcio para Abastecimiento de agua y Saneamiento de la Marina Baja.

El objetivo principal del bombeo de los sondeos del barranco del Arc sería, como se ha mencionado, obtener una aportación adicional al embalse de Amadorio, de modo similar a la que producen los sondeos de Beniardá al embalse de Guadalest.

El agua bombeada en los sondeos sería recogida por una conducción que transcurre por la zona del barranco del Arc hasta la localidad de Sella, donde sería vertida al cauce del río Sella que la llevaría al embalse de Amadorio. En este caso, al contrario de lo que ocurre con el embalse de Guadalest con los bombeos de Beniardá, los bombeos del acuífero de Sella no incrementan los recursos propios del embalse de Amadorio, ya que se detraerían de la aportación natural, aunque se conseguiría una mayor regulación de los mismos.

No ha sido posible disponer de información sobre el volumen de agua que, procedente de los sondeos del Barranco del Arc, llega al embalse de Amadorio, ni tan siquiera de los volúmenes bombeados en dichos sondeos. Únicamente se ha podido conocer que se produjeron extracciones entre julio de 1996 y enero de 1997.

Por ello, se ha realizado un balance de agua a escala diaria en el embalse de Amadorio en los años 1996 y 1997, ya que analizando el residuo del mismo sería posible, como en el caso del embalse de Guadalest, obtener la aportación al embalse como consecuencia de los bombeos en el acuífero de Sella. En dicho balance se han considerado los siguientes condicionantes:

- La precipitación directa en el embalse se ha calculado a partir de los datos de la estación del embalse de Amadorio del Instituto Nacional de Meteorología, que están completos para esos dos años.

- La evaporación en el embalse se ha calculado a partir de la evaporación media en la estación de Alicante-Ciudad Jardín.

- Para la impulsión desde el río Torres se ha calculado el volumen medio diario hasta septiembre de 1997 obtenido a partir de los datos mensuales proporcionados por la Comunidad de Regantes de Villajoyosa, mientras que a partir de ese mes se han considerado los datos diarios proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

- Las salidas del embalse son las proporcionadas, a escala diaria, por la Confederación Hidrográfica del Júcar. En esas salidas estarían incluidas, en su caso, las correspondientes a las avenidas extraordinarias.

Los resultados obtenidos se han representado en la figura 11. En la misma se puede apreciar que no parecen existir aportes suplementarios, de valor aproximadamente constante, al embalse de Amadorio, por lo que los bombeos no parecen tener influencia en el aumento del volumen del mismo. De haber llegado algo de agua procedente de los sondeos del barranco del Arc, su volumen habría sido tan reducido que quedaría enmascarado por el residuo (error) resultante del cálculo.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realiza una cuantificación de los recursos hídricos subterráneos en un sistema considerado como modélico en el uso conjunto en España. Dicha cuantificación se ha llevado a cabo para un período en el que los embalses se encuentran en régimen influenciado, almacenando aguas subterráneas bombeadas y sobrantes de otras zonas del sistema, y en el que existen etapas relativamente húmedas en cuanto a precipitaciones.

Del desarrollo del trabajo se pueden destacar los siguientes puntos:

- La estimación de los volúmenes de aguas subterráneas que se integran en el sistema general se ha realizado mediante la restitución de las aportaciones naturales a los embalses, especialmente al de Guadalest. Este embalse se convierte en elemento de almacenamiento y regulación de los principales aprovechamientos de aguas sub-

terráneas de la Marina Baja, como son los bombeos de los sondeos del acuífero de Beniardá y de los sobrantes del acuífero del Algar.

- El balance necesario para la restitución se ha realizado a escala diaria, de acuerdo con la temporalidad de los fenómenos de generación de escorrentía en la comarca, y en una época con episodios húmedos para poder cuantificar de forma relativa los recursos superficiales y los subterráneos.

- El método y el pequeño intervalo temporal utilizados han exigido una labor de análisis de todas las componentes del balance de agua en los embalses, la información disponible sobre ellas y sus relaciones mutuas.

- La metodología empleada ha sido especialmente útil en el caso del embalse de Guadalest, permitiendo separar las principales componentes, incluyendo algunas que se consideraban

nulas, como los bombeos en el acuífero de Beniardá. En este caso ha sido necesaria la utilización del error del balance para la estimación de esa variable, siempre considerando la información histórica y la superposición del error sistemático y del error originado al no tener en cuenta esa componente.

- En el embalse de Guadalest, para el período comprendido entre el 1 de julio de 1996 y el 28 de febrero de 1998, se ha estimado que la impulsión desde El Algar ha supuesto del orden del 70% de los aportes al embalse y los bombeos desde Beniardá el 20%. Esos porcentajes son sólo válidos para el período considerado y variarán enormemente en función de las disponibilidades de agua en El Algar y del estado de llenado del embalse de Guadalest. En épocas de sequía el volumen de agua embalsada disminuirá, pero al no existir aportes superficiales la influencia relativa de las aguas subterráneas aumentará hasta ser del 100%.

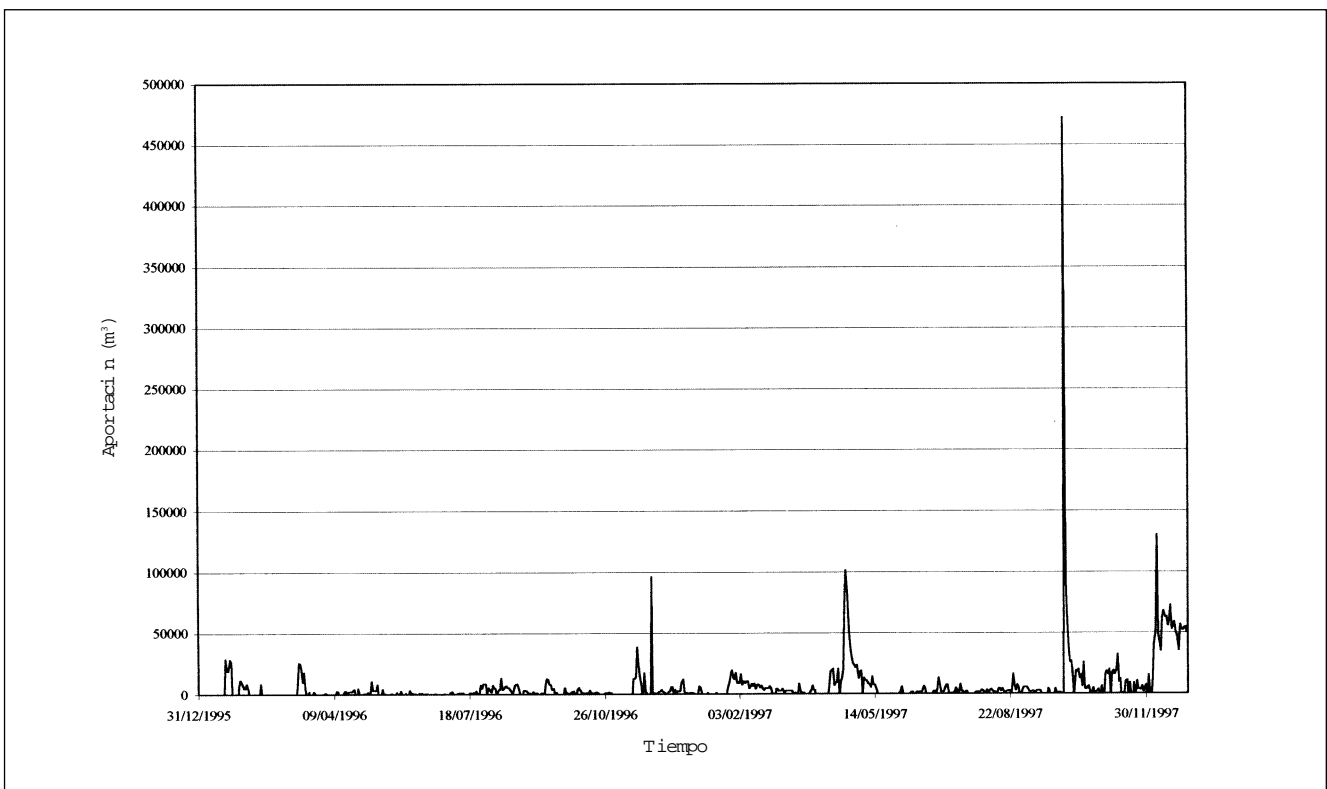


Fig. 11. Balance diario de agua en el embalse de Amadorio en 1996 y 1997

Fig. 11. Daily water balance in Amadorio reservoir in 1996 and 1997

- En el embalse de Amadorio se ha utilizado la misma metodología para estimar la cantidad de agua aportada por los bombeos del acuífero de Sella, ya que otros aportes subterráneos que pueden llegar desde la estación de impulsión del río Torres no se pueden cuantificar ya que aparecen conjuntamente con recursos superficiales y sobrantes de varias zonas de las cuencas de los ríos Algar, Guadalest y Torres.

- Las entradas procedentes de los bombeos llevados a cabo, a modo de prueba, en los sondeos del barranco del Arc han tenido escasa incidencia en el volumen almacenado en el embalse de Amadorio.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a la Confederación Hidrográfica del Júcar, al Instituto Meteorológico Nacional, a la Comunidad de Regantes de Villajoyosa y al Consorcio para abastecimiento de aguas y saneamiento de la Marina Baixa, las facilidades ofrecidas para la obtención de los datos con los que se ha realizado el presente trabajo.

Así mismo queremos agradecer al Departamento de Ciclo Hídrico de la Excma. Diputación Provincial de Alicante, y especialmente a Luis Rodríguez Hernández, el interés demostrado en los diferentes aspectos de la gestión de los recursos hídricos de la provincia de Alicante que ha permitido la elaboración del trabajo que se presenta.

REFERENCIAS

Andreu, J. y Estrela T. 1993: Evaluación de recursos. En *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica* (Andreu, J., Ed.). CIMNE. Barcelona. pp. 55-68.

Castaño, S.; Murillo, J.M. y Rodríguez Hernández, L. 2000: Establecimiento de reglas de operación y recomendaciones

de gestión de los recursos hídricos de la Marina Baja de Alicante mediante el empleo de un modelo matemático de simulación conjunta. *Boletín Geológico y Minero*; 111 (2-3), 95-118.

Consorcio para Abastecimiento de Aguas y Saneamiento de la Marina Baixa, 1990: *Posibilidades de actuación en materia de recursos hidráulicos para mejora y optimización del abastecimiento de agua a la Marina Baixa (Alicante)*. Informe interno. 136 pp. mecanografiadas y anejos.

Consorcio para Abastecimiento de Aguas y Saneamiento de la Marina Baja, 1998: *Mapa del aprovechamiento integral de Recursos Hídricos*.

Estrela, T. 1993: *Metodologías y recomendaciones para la evaluación de recursos hídricos*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Monografía M-24. Madrid. 52 pp.

Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) 1990: *Estudio actualizado de los recursos hidráulicos subterráneos de la Marina Alta de Alicante (Plan Hidrológico)*. 175 pp. mecanografiadas y anejos.

Instituto Tecnológico Geominero de España y Diputación Provincial de Alicante (ITGE y DPA) 2000: *Análisis del estado actual de regulación de los recursos hídricos en la Marina Baja. Reglas de operación y recomendaciones de gestión*. 7 vols. Informe interno. 221 pp. mecanografiadas y anexos.

López García, J. 1993: *Restitución de datos de aforos al régimen natural*. En: *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica* (Andreu, J., Ed.). CIMNE. Barcelona. pp. 69-74.

Sánchez González, A. y Murillo, J.M. 1997: *Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 41 pp.

Sahuquillo, A. 1983: La Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas como paliativo de la sequía. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos* 7, 253-280.

Sahuquillo, A. 1985: Criterios actuales para la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas. *Revista de Obras Públicas* 3235, 231-250.

Sahuquillo, A. 1989: L'usage conjoint des eaux de surface et des eaux souterraines dans la gestion des ressources hydrauliques. *Hydrogéologie* 2, 101-110.

SGOPU 1980: *Sobre las posibilidades de explotación del embalse subterráneo drenado por las fuentes de Algar (Alicante)* Informe interno. 8 pp. mecanografiadas y anejos.

Original recibido: Noviembre 2000.

Original aceptado: Febrero 2001.