El balance hídrico de la cuenca de Fuente de Piedra (Málaga) en un año húmedo (1997-98)

Water balance in Fuente de Piedra lake basin (Malaga) during a wet year (1997-98)

L. Linares Girela [1], B. Andreo Navarro [2], F. Carrasco Cantos [2] y G. Fernández del Río [3]

[1] INIMA Servicios Europeos de Medio Ambiente S.A. Compositor Lehmberg Ruiz 3, 29007 Málaga.
[2] Grupo de Hidrogeología. Deparartamento de Geología. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, 29071 Málaga.
[3] Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Plaza de S. Juan de la Cruz s/n. Madrid.

ABSTRACT

The endorheic basin of Fuente de Piedra shows in its lower part a lake of the same name, which constitutes the more extended wetland in Andalusia. Previous works for the Hydric Protection Plan edition of Fuente de Piedra lake have allowed a quantification of the different components of the hydrologic cycle and, thus, a precisely water balance of this basin during a wet year (1997-98).
Each component of the water balance has been analyzed separately for the hydrogeologic unit and for the lake, and all of them have been integer in a global balance referred to the whole basin, as a unique hydric system.

Key words: Endorheic basin, Fuente de Piedra, hydrologic cycle, water balance, wetland.

Geogaceta, 31 (2002), 95-98
ISSN:0213683X

Introducción

La cuenca endorreica de Fuente de Piedra, de unos 150 km^2 de superficie, está situada en el extremo norte de la provincia de Málaga, sobre la divisoria atlántico-mediterránea, entre las cuencas hidrográficas del Sur y del Guadalquivir (Fig. 1). En sus cotas más bajas se encuentra la laguna de Fuente de Piedra, de 13,5 km^2 de superficie, que es el humedal continental más extenso de Andalucía y está incluida en el Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía como Reserva Natural.

A lo largo de un año hidrológico, una vez que las lluvia del periodo otoño-invierno y la escorrentía subterránea originan el llenado de la laguna, se produce un continuo descenso de su nivel por evaporación, lo que lleva aparejado un incremento en la salinidad del agua (Carrasco *et al.*, 1991) con la consiguiente sedimentación química de cloruros, sulfatos y, en menor proporción, de carbonatos. En la mayoría de los estiajes se deseca totalmente quedando cubierta por una costra salina de color blanco de varios cm de espesor.

Desde 1975 se vienen realizando controles y medidas del nivel piezométrico por parte del Instituto Geológico y Minero, recogidos en diversos informes hidrogeológicos (IGME, 1984; ITGE, 1998). Recientemente, el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, ha realizado un estudio en el que se aportan propuestas para la redacción del Plan de Protección Hídrica de la laguna de Fuente de Piedra (DGOH, 2000).

Los trabajos de campo del citado estudio se realizaron durante el año hidrológico 1997-98, de carácter húmedo, lo

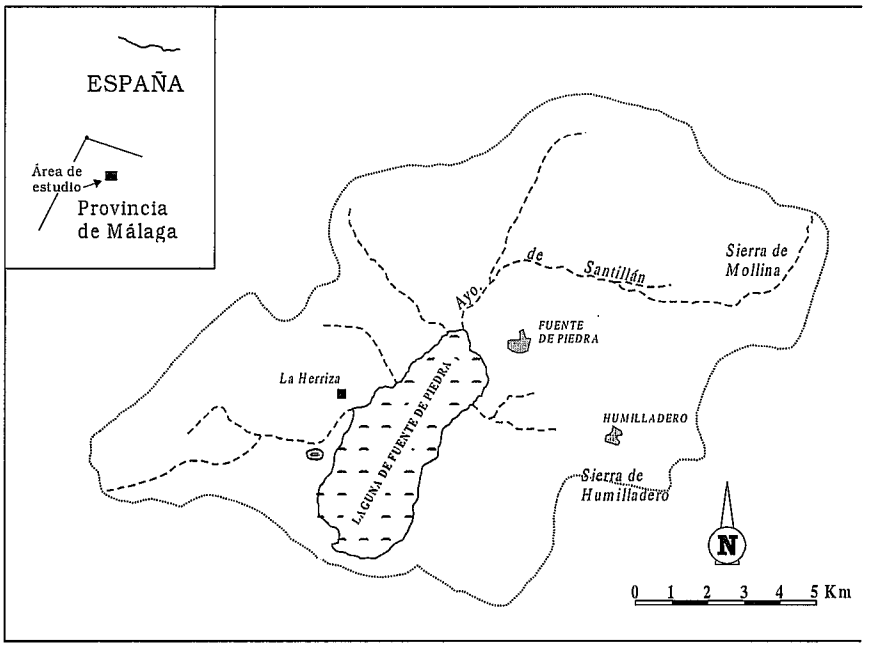

Fig. 1. Cuenca de Fuente de Piedra.

Fig. 1.- Fuente de Piedra lake basin.

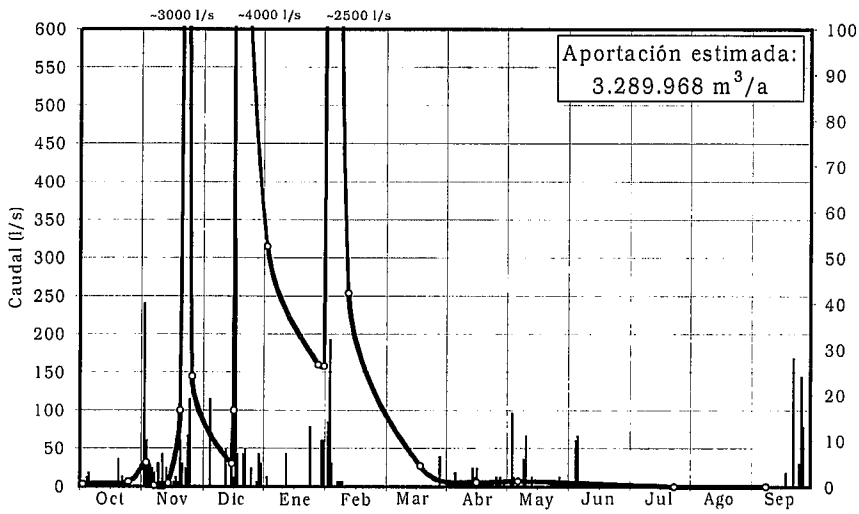

Fig. 2.- Hidrograma del arroyo Santillán durante el año hidrológico 1997/1998.

Fig. 2.- Hydrograph of Santillan stream during the hydrological year 1997/98.

que permitió llevar a cabo numerosas medidas de los diferentes componentes del ciclo hidrológico a partir de los cuales ha sido posible realizar el balance hídrico de esta cuenca. El objetivo de este trabajo es precisamente dar a conocer el balance hídrico de la cuenca de Fuente de Piedra en condiciones climáticas húmedas.

Síntesis hidrogeológica

Gran parte de la cuenca está ocupada por materiales permeables que, aunque de diferente edad y litología, pueden considerarse integrados en una unidad hidrogeológica donde el flujo de agua, tanto superficial como subterráneo, es convergente hacia la laguna. La circulación subterránea tiene lugar desde las divisorias al centro de la cuenca, hacia la laguna, que constituye el punto de descarga del sistema. La intensa evaporación que tiene lugar en la laguna, durante la mayor parte del año, favorece y condiciona el continuo flujo subterráneo hacia ella (IGME, 1984, Linares, 1990 y Almécija, 1997).

La unidad hidrogeológica está constituida por diferentes materiales. En las sierras de Mollina y Humilladero afloran formaciones carbonatadas del Jurásico que constituyen acuíferos debido a su karstificación. Los materiales del Mioceno, calcarenitas, arenas, limos y margas, afloran extensamente en la cuenca y presentan una permeabilidad por porosidad intergranular y por karstificación, con importantes variaciones tanto en el sentido vertical como horizontal debido a cambios de facies. Existen diferentes formaciones cuaternarias, entre las que destacan conglomerados de pie de monte y materiales aluviales ligados a los principales arroyos.

El substrato regional corresponde a materiales triásicos, constituidos fundamentalmente por arcillas y margas con evaporitas. Constituye un conjunto de baja permeabilidad, en el que la karstificación de las evaporitas permite la circulación del agua subterránea, lo cual origina el endorreismo bastante generalizado de la región y la existencia de manantiales de aguas salobres y salmueras. Algunos de estos manantiales son bastante conocidos por su influencia en la calidad química de las aguas superficiales de la vecina cuenca del río Guadalhorce (Carrasco, 1986).

Régimen hidrológico de la laguna

Las variaciones del nivel de la lámina de agua en la laguna están directamente relacionadas con el régimen de las precipitaciones, de tal manera que en los años medios y secos la laguna se deseca durante el estiaje. El periodo de desecación varía entre 2 y 7 meses.

En la evolución del nivel del agua en la laguna se pone de manifiesto que existen variaciones estacionales, de gran amplitud, en las que influyen la magnitud total de las precipitaciones y la cuantía de las aportaciones subterráneas y otras variaciones, de menor amplitud, estrechamente ligadas a los valores diarios de la precipitación y de la evaporación. Todo ello refleja la importante y directa influencia que ejerce la climatología en el régimen de alimentación y descarga de la laguna.

Las precipitaciones de cierta magnitud provocan ascensos rápidos del nivel de la laguna dependiendo de la intensidad de la lluvia y la época del año en la que se produce. Así, la lluvia repartida homogéneamente a lo largo del año tiene mayor influencia en el nivel de la laguna que si se concentra en aguaceros ocasionales. También son mucho más eficaces las precipitaciones de otoño-invierno que las de primavera-verano, debido a que estas últimas son contrarrestadas por una mayor evaporación.

La evaporación condiciona de manera primordial el vaciado de la laguna, de tal manera que el descenso estacional del nivel comienza todos los años cuando la evaporación diaria empieza a ser más elevada. Durante el periodo en el que la laguna permanece seca se produce la evaporación, por capilaridad, del agua subterránea. Ello se deduce de las variaciones piezométricas registradas en un limnígrafo que hay instalado en un pozo ubicado en el vaso lagunar.

Métodos y resultados obtenidos

Pluviometría

La precipitación media anual en la estación de la Herriza, considerada representativa del área de estudio, para un periodo de 25 años (1973/74 - 1997/98) es de 468 mm. La mayor parte de la precipitación (el 55%) se produce en los cuatro meses comprendidos entre noviembre y febrero con valores que generalmente superan los 50 mm/mes. En el periodo estival (de junio a septiembre) sólo llueve el 10% del total anual, con valores inferiores a 10 mm/mes.

En el año hidrológico 1997/98, que se analiza en este trabajo, se registró una precipitación de 536 mm, 68 mm por encima de la precipitación media anual. Se caracterizó por un otoño muy lluvioso, con valores mensuales de precipitación superiores a las medias respectivas, una primavera con valores similares a los registrados históricamente y un verano sin precipitaciones. Por todo ello, el año 1997/98 se ha calificado como húmedo.

La precipitación total sobre la cuenca durante el año analizado fue de 80,1 hm^3 de los cuales 7,4 hm^3 lo hicieron directamente sobre la laguna.

Escorrentía

En la cuenca de Fuente de Piedra, la escorrentía tiene lugar a través de una serie de arroyos de régimen estacional o incluso esporádico y se produce en estrecha relación con las precipitaciones. Existen numerosas zanjas realizadas en otro tiempo para facilitar el drenaje agua hacia los cauces principales y poder aprovechar las tierras para el cultivo.

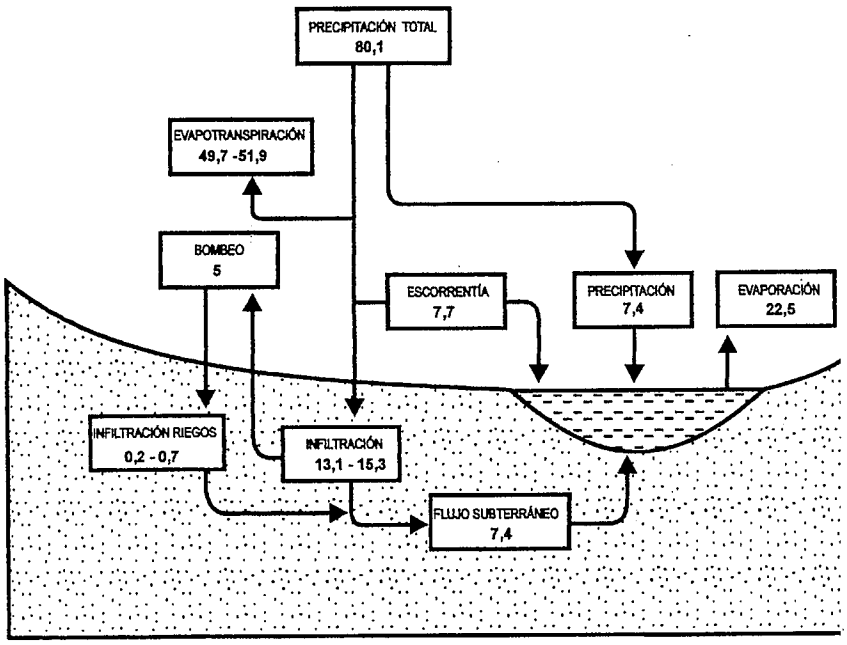

Fig. 3.- Esquema del balance hídrico de la cuenca de Fuente de Piedra para el año 1997-98. Los valores están en hm³/año.

Fig. 3.- Hydric balance diagram of Fuente de Piedra basin for the year 1997-98. The values are hm³/year.

Durante el año hidrológico 1997/98 se llevaron a cabo aforos con micromolinete en los principales arroyos. En este año se registraron unas precipitaciones superiores a la media, y concentradas en determinados meses, lo cual ha permitido realizar varias campañas de aforos en todos los arroyos y estimar, mediante la interpretación de sus hidrogramas, la aportación de cada uno de ellos a la laguna (Linares *et al.*, 2001).

Se ha comprobado que las primeras lluvias del año hidrológico no originan una escorrentía significativa hasta que no se produce la saturación del suelo (Fig. 2). La cantidad de precipitación necesaria para ello varió entre 130 mm, en las cuencas de mayores dimensiones, y 185 mm en las de tamaño más reducido. Una vez que el suelo está saturado de agua se producen crecidas en los arroyos con lluvias de menor cuantía.

Los hidrogramas muestran, como respuesta a las lluvias de invierno, unas crecidas muy rápidas, con puntas que superan los 3 m³/s (en el arroyo de mayores dimensiones) y unas decrecidas igualmente rápidas (Fig.2). Estas riadas tuvieron corta duración y un agotamiento rápido. Las lluvias de primavera, que fueron de menor cuantía e intensidad, no tuvieron respuesta en los hidrogramas.

Una vez finalizados los periodos lluviosos, conforme se acercaba el estiaje, las zanjas de drenaje dejaron de aportar agua a los cauces y estos quedaron completamente secos, a excepción de los que se alimentaban de un manantial por los que circulaban escasos caudales. En algún caso, los caudales superficiales se mantuvieron durante más tiempo debido al drenaje de cuencas endorreicas, conectadas a los cauces mediante zanjas artificiales, y a la aportación recibida desde el acuífero.

La aportación de las cuencas de los arroyos controlados, cuya superficie total es de 92,8 km², supone 6,6 hm³/año. Para el resto de la superficie de la cuenca vertiente a la laguna (15 km²) se ha calculado una aportación de 1,1 hm³/año, aplicando el mismo coeficiente de aportación/superficie obtenido en aquellas. Se ha supuesto que en los 27,6 km² de pequeñas cuencas endorreicas no conectadas a la laguna no se genera escorrentía hacia la misma y se obtiene, por tanto, un valor total de 7,7 hm³/año para la escorrentía hacia la laguna.

Si se tiene en cuenta la superficie total de la cuenca (incluidos los pequeños sectores endorreicos y excluyendo sólo el vaso lagunar), y la precipitación del año 1997-98 se obtiene un coeficiente de escorrentía del 10,55% que puede considerarse representativo del conjunto de la cuenca.

Infiltración

De acuerdo con estudios realizados anteriormente (Linares,1990), se han aplicado coeficientes de infiltración del 18 y 21% a la precipitación total del año hidrológico (536 mm) caída sobre la cuenca vertiente a la laguna (135,5 km²). Esto ha permitido obtener unos valores de infiltración comprendidos entre 13,1 y 15,3 hm³/año que incluyen la infiltración directa de la precipitación y de la escorrentía a lo largo de los cauces.

Evapotranspiración

La evapotranspiración para el conjunto de la cuenca de Fuente de Piedra, durante el año 1997/98 se ha calculado, por diferencia entre la precipitación y los parámetros anteriormente expuestos, lo que supone entre 49,7 y 51,9 hm³/año.

Bombeos y retorno de riegos

La cantidad de agua bombeada en los diferentes acuíferos de la unidad hidrogeológica se ha estimado en 5 hm³/año. De ellos, 4 hm³/año, extraidos principalmente de los materiales miocenos, se han utilizado para riegos, y 1 hm³/año en su mayor parte bombeados de los acuíferos carbonatados se han aprovechado para usos urbanos. Considerando que entre el 5% y 15% del agua bombeada se infiltra por retorno de riegos, se producen unas entradas a la unidad hidrogeológica entre 0,2 y 0,7 hm³/año.

Evaporación en la laguna

De acuerdo con las medidas realizadas en un evaporímetro Piché y en un tanque de evaporación, la evaporación anual en la laguna, ascendió a 1629 mm, cifra algo inferior a la media histórica. Aplicado este valor a los 13,8 km² de superficie inundada de la laguna permite deducir un valor neto de evaporación desde la laguna de 22,5 hm³. Hay que indicar que durante todo el año estudiado, la laguna permaneció inundada con una lámina de agua superior a 77 cm y que en los meses de julio y agosto se alcanzaron los máximos de evaporación (4,8 y 4,5 hm³/mes respectivamente).

Escorrentía subterránea hacia la laguna

La escorrentía subterránea hacia la laguna se ha calculado, por diferencia con los restantes componentes que intervienen en el balance hídrico de la misma. Se obtiene así un flujo subterráneo hacia la laguna de 7,4 hm³/año.

Balances de la unidad hidrogeológica, de la laguna y balance hídrico global de la cuenca

El análisis de los diferentes elementos del balance se ha realizado, para el año 1997/98, de forma separada para la

unidad hidrogeológica y para la laguna, integrando posteriormente los resultados de estos balances parciales en uno global referido a la cuenca, dado que ambas constituyen un único sistema hídrico.

Las precipitaciones son el único elemento de recarga del sistema, bien directamente por infiltración o a través de la escorrentía que generan. Por otra parte, los elementos de descarga son la evaporación directa desde la laguna, las extracciones por bombeo en la unidad hidrogeológica y la evapotranspiración en la cuenca vertiente.

En el balance de la unidad hidrogeológica se consideran como elementos de entrada la infiltración de las precipitaciones (13,1- 15,3 hm^3/año) y los retornos de riegos (0,2- 0,7 hm^3/año) y como elementos de salida los bombeos (5 hm^3/año) y la descarga subterránea a la laguna (7,4 hm^3/año). El desequilibrio entre entradas y salidas, a favor de las primeras, permite deducir la existencia de un incremento de las reservas en los acuíferos comprendido entre 0,9 y 3,6 hm^3/año, como corrobora el ascenso de la superficie piezométrica en la unidad hidrogeológica.

En el balance de la laguna se consideran como elementos de entrada la precipitación (7,4 hm^3/año), la escorrentía (7,7 hm^3/año) y el flujo subterráneo (7,4 hm^3/año) y como elementos de salida sólo la evaporación (22,5 hm^3/año). No se ha considerado una variación del volumen de agua almacenado en la laguna debido a que el nivel de la misma al principio y final del año estudiado fue similar.

El balance global de la cuenca (Fig. 3), contempla, además de los términos ya comentados, la precipitación sobre el total de la misma (80,1 hm^3/año) y la evapotranspiración en la cuenca vertiente (49,7-51,9 hm^3/año), que representa entre el 68 y el 70 % de la precipitación. Mucho más bajos son los porcentajes de la escorrentía y de la infiltración que representan el 10 % y el 20% de la precipitación.

Agradecimientos

A la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Medio Ambiente. Es una contribución del Grupo RNM-308 de la Junta de Andalucía y al proyecto IGCP 448 de la UNESCO.

Referencias

Almécija, C. (1997): Tesis Doctoral Univ. de Granada, 518 p (inédita).

Carrasco, F. (1986): Tesis Doctoral Univ. de Granada, 435 p (inédita).

Carrasco, F.; Gavilán, I. y Rodríguez, P. (1991) . *VI Cong. Esp. Limnología*, 69-74.

D.G.O.H. (2000): *Propuestas para la redacción del Plan de Protección Hídrica de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga).* Memoria 216 p.

I.G.M.E. (1984): *Estudio Hidrogeológico de la laguna de Fuente de Piedra.* 4 tomos.

I.T.G.E. (1998): *Hidrogeología de la Reserva Natural de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga),* 79 p.

Linares, L. (1990): Tesis Doctoral Univ. de Granada, 343 p (inédita).

Linares, L.; Andreo, B.; Carrasco, F; Fernández del Río, G. y Vadillo, I. (2001): *Hidrogeol. y Rec. Hidráulicos 24*, 193-203.