

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS FLUJOS SUBTERRÁNEOS EN LAS LAGUNAS DE CAMPILLOS (MÁLAGA)

J. Benavente y M. Rodríguez

Instituto del Agua. Universidad de Granada. C/Rector López Argüeta s/n. 18071.Granada

Palabras clave: lagunas endorreicas temporales, balance hidrológico, flujos locales y regionales, almacenamiento en riberas
Keywords: temporary endorreical lakes, hydrological budget, local and regional flows, bank storage.

ABSTRACT

QUANTITATIVE ANALYSIS OF GROUNDWATER FLOWS IN THE CAMPILLOS LAKES (MÁLAGA)

The hydrogeologic budget carried out during an abnormally wet period (1995-96) in four small lakes of the Campillos Natural Reserve (Málaga, Spain), shows a general behavior conditioned by the low permeability of the surrounding materials which indicates the occurrence of bank storage effects related to the distribution of the main rain inputs, as well as the incidence of intense evaporation during the summer. This trend shows local changes as a consequence of the occurrence of important rain events during the study period. Furthermore, the net values of groundwater flows obtained in each lake point out the incidence of "regional" systems - besides the local ones - related to one of this lakes (Salada lake), whereas in other cases (Dulce lake) this hydrogeological conditioning seems to be of very little importance.

INTRODUCCIÓN

Objetivos y antecedentes.

En el norte de la provincia de Málaga son relativamente abundantes los sectores endorreicos. Entre ellos cabe destacar el de Fuente de Piedra, tanto por la extensión de la cuenca (unos 150 km²) como por albergar en su interior la mayor laguna de Andalucía y una de las mayores de España, con aproximadamente 13 km² de superficie máxima inundable.

En las inmediaciones de Fuente de Piedra existen otros sectores en los cuales aparecen lagunas de extensión mucho más reducida, a veces concentradas dentro de espacios relativamente restringidos. Es el caso de las lagunas de Archidona y de Campillos, fundamentalmente (fig. 1).

Desde el punto de vista de su régimen hidrológico, estos enclaves lagunares cubren toda la gama posible, desde permanentes a esporádicas, aunque el caso más frecuente suele ser la secuencia anual de situaciones de inundación invernal y desecación estival (el comportamiento en las estaciones intermedias depende de la pluviosidad concreta de cada año hidrológico).

Como las precipitaciones y la evaporación no deben diferir sensiblemente de unos enclaves u otros, debido a su

proximidad geográfica, las variaciones en el régimen hidrológico a que se ha hecho antes alusión están condicionadas por la importancia relativa de los aportes subterráneos en cada caso. Esto, a su vez, viene determinado por el contexto hidrogeológico concreto de cada uno de los sectores donde aparecen los enclaves lagunares. Así, cabe identificar, como casos extremos, por una parte, el de las lagunas de Archidona, relacionadas con un karst evaporítico bien desarrollado (Pezzi, 1977; Durán y Molino, 1986) y, por otra parte, el caso de las lagunas de Campillos, que aparecen en terrenos de permeabilidad baja o muy baja (DPM-ITGE, 1988; Almécija, 1997).

En el presente trabajo se aborda la cuantificación de los aportes subterráneos a las principales lagunas del sector de Campillos: Dulce, Salada, Capacete y Cerero (fig. 1). El período seleccionado para el estudio es el comprendido entre diciembre de 1995 y noviembre de 1996, durante el cual se ha dispuesto de información limnimétrica obtenida con regularidad (medidas semanales, generalmente) por personal de la Consejería de Medio Ambiente, contrastada con observaciones propias.

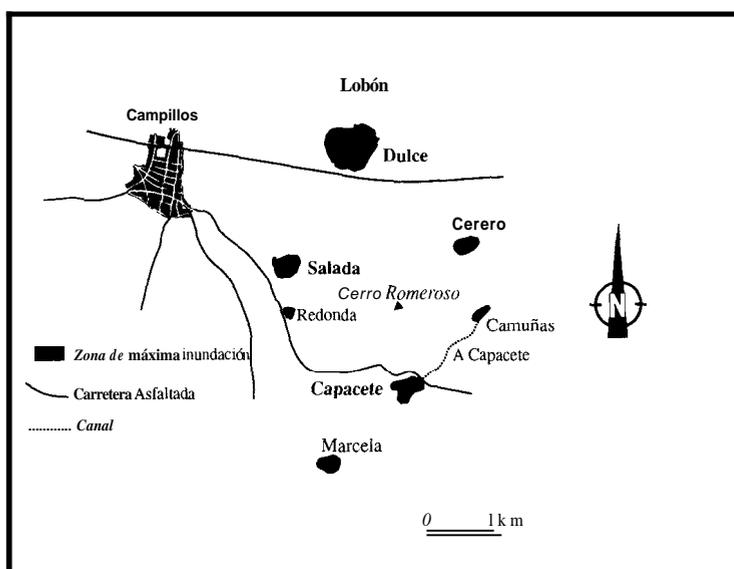
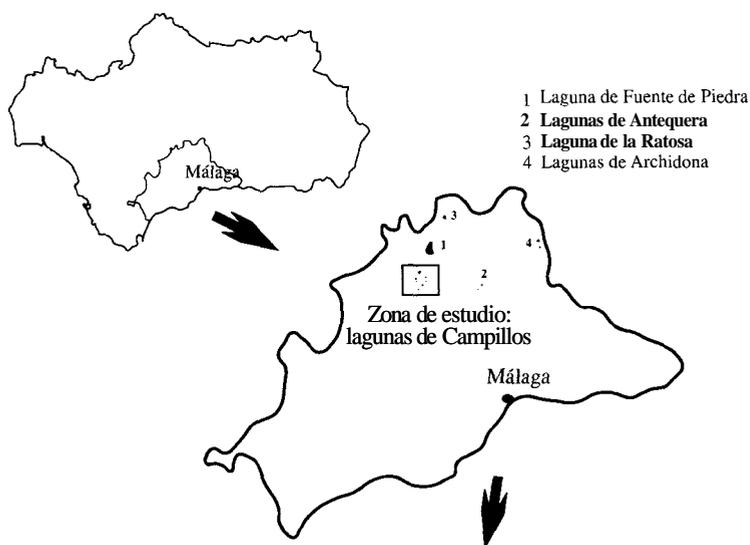


FIGURA 1. Localización del área de estudio (abajo) y otros enclaves lagunares próximos (arriba).
 FIGURE 1. Location of the study area (below) and other nearby lakes (above).

Un estudio previo con objetivos semejantes se ha abordado para el periodo entre mayo de 1991 y mayo de 1994 (Almécija y Benavente, 1995). No obstante, según apuntan los autores del mismo, los resultados que obtienen deben considerarse con reservas. Ello obedece, por una parte, a que los datos limnimétricos de partida eran escasos e irregularmente espaciados en el tiempo, de manera que hubo que recurrir a procedimientos estadísticos (regresión a partir de datos de la laguna de Fuente de Piedra) para generar series mensuales de niveles en las lagunas consideradas. Por otra parte, las pocas medidas limnimétricas disponibles fueron obtenidas a lo largo

de un periodo de sequía, dando generalmente como resultado valores muy bajos de la altura del nivel de agua, lo cual implicaba, a su vez, la introducción de errores considerables en la estimación de las variaciones de almacenamiento. Además, debido a la escasez general de precipitaciones, se consideraron nulos los aportes hídricos por escorrentía superficial, lo cual puede no ser cierto en relación con determinados episodios pluviométricos aislados aunque intensos. Por último, parte de los datos considerados como representativos de la evaporación procedían de un dispositivo de medida cuyos resultados pueden ser cuestionables (evaporímetro tipo Piche).

Las citadas limitaciones se tratarán de soslayar en el presente estudio.

Características del área y del período de estudio

El área de estudio corresponde a la Reserva Natural de las lagunas de Campillos, espacio protegido tutelado por la Consejería de Medio Ambiente (antes Agencia de Medio Ambiente, AMA) de la Junta de Andalucía. Esta Reserva comprende cinco lagunas: Dulce, Salada, Capacete, Cerero y Camuñas. La zona de protección que las engloba tiene una superficie de algo más de 1.000 ha (AMA, 1991). Existen otras lagunas en esta área (fig. 1), fuera de la zona de protección (Lobón y Marcela) o dentro de ésta (Redonda, muy degradada en la actualidad por efecto de diferentes vertidos sólidos). Existe un canal que drena la laguna de Camuñas y se dirige hacia la de Capacete (fig. 1), consecuencia de lo cual debe ser el hecho de que -en comparación con las restantes- la primera de ambas lagunas apenas almacene agua. Por esta razón, en el presente estudio no se considera la laguna de Camuñas. A continuación se indican los valores aproximados (en ha) de las superficies máximas de inundación y de las cuencas vertientes de las cuatro restantes: Dulce (60 y 105), Salada (15 y 25), Capacete (11 y 25) y Cerero (6 y 28).

El área en que aparecen las lagunas se caracteriza por un

relieve suave, alomado, con divisorias poco pronunciadas, en cuyo interior (fig. 1) se sitúa la principal elevación, el cerro Romero (550 m). Las lagunas aparecen a altitudes comprendidas, aproximadamente, entre 460 y 480 m. No existen cursos de agua de cierta entidad que viertan a las lagunas, por lo que la mayoría de la escorrentía superficial generada en las correspondientes cuencas es de tipo difuso.

Las cuencas están ocupadas por materiales de distintas edades: Trías, Paleógeno-Mioceno inferior, Mioceno superior y Cuaternario (DPM-ITGE, 1988). Los dos primeros están afectados por la orogenia alpina. Todos ellos presentan naturaleza arcillosa predominante, salvo los del Mioceno superior, que son de carácter calcarenítico.

La pluviometría media anual en Campillos (1964-1994) es de aproximadamente 500 mm (Almécija, 1997). La precipitación total registrada a lo largo del período de estudio es de unos 800 mm, lo que refleja unas condiciones de humedad claramente superiores a las medias. A escala mensual (fig. 2) se comprueba que los episodios pluviométricos principales, muy superiores a los valores medios correspondientes, han ocurrido en diciembre de 1995 y enero de 1996. También se desprende de dicha figura la pluviosidad relativamente importante asociada a los meses de mayo, agosto y septiembre de 1996. Por el contrario, en marzo y abril de ese año las precipitaciones fueron sensiblemente inferiores a los valores medios.

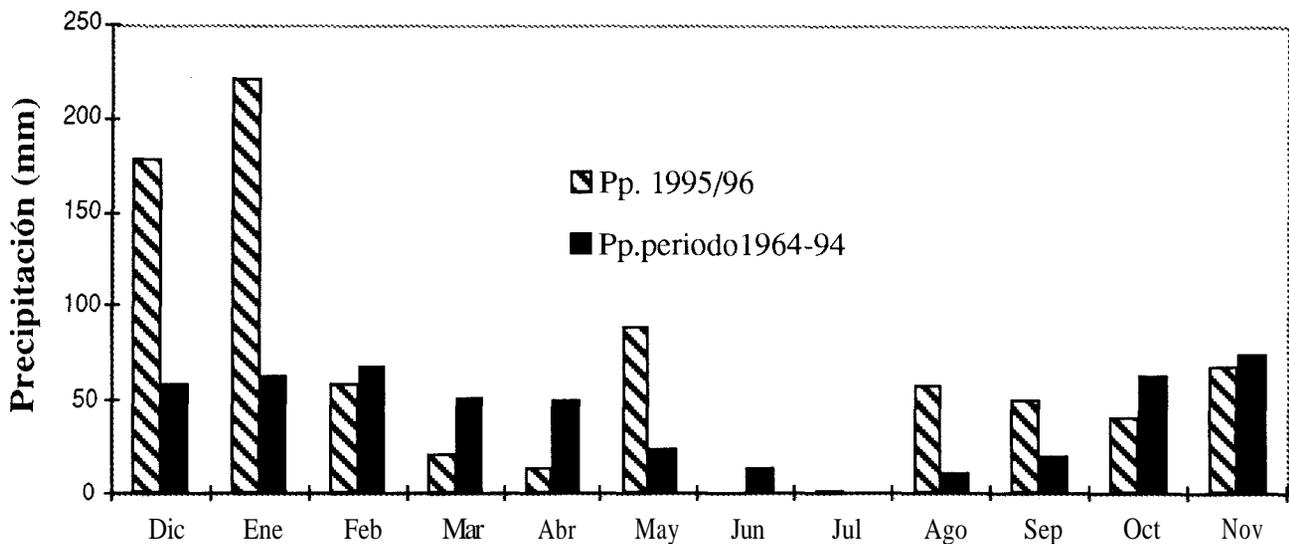


FIGURA 2. Precipitaciones mensuales registradas en Campillos durante el período de estudio y valores medios de una serie de años más extensa
FIGURE 2. Monthly precipitation in Campillos during the study period and average values of a longer record.

El año hidrológico 1995-96, al que corresponde la mayor parte del período aquí considerado, ha sido, pues, anormalmente lluvioso, con la particularidad de interrumpir una situación previa de varios años con precipitaciones inferiores a la media (Almécija, 1997). Dicha situación ha dado lugar a una de las sequías más severas de las que se tienen referencias en buena parte de la España meridional.

Es conveniente indicar que el año 1989-90 presentó características bastante similares al 1995-96 en cuanto a la pluviometría registrada, tanto en el total anual como en su distribución mensual. Como consecuencia de tales aportaciones, concentradas en noviembre y diciembre, el nivel en las lagunas debió de alcanzar valores máximos, aunque carecemos de referencias precisas al respecto. En la primavera de 1991, las primeras observaciones limnimétricas indican alturas de la lámina de agua comprendidas entre algo más de 1 m (Cerero) y 2 m (Capacete). Dado que el año 1990-91 tuvo una pluviometría inferior a la media, es de suponer que los valores máximos de nivel antes apuntados en relación con las precipitaciones de finales de 1989 pudieran ser del orden de 2-3 m.

A finales de 1991 se sustituyeron las escalas limnimétricas primitivas, de fabricación artesanal, por otras suministradas por una empresa de control hidrométrico, más apropiadas para ser observadas desde una cierta distancia mediante prismáticos. Las medidas efectuadas en las nuevas escalas, desde su instalación hasta mediados de 1994, según se apuntó anteriormente, presentan el inconveniente de su irregularidad. No obstante, han permitido identificar un comportamiento diferente entre la laguna Dulce y las tres restantes, según se sintetiza a continuación.

A finales de 1991, la altura de la lámina de agua en la laguna Dulce era de algo más de medio metro; en las otras tres era del orden de 20-40 cm. En el verano siguiente (1992) todas se secaron. A partir de entonces, y hasta el invierno de 1996, la laguna Dulce no ha almacenado agua. En las otras tres, sin embargo, se ha constatado el almacenamiento de agua, si bien es cierto que con alturas de nivel muy escasas (inferiores a 20-30 cm, por lo general), durante los inviernos de 1993 y 1994.

El año hidrológico 1994-95 representó la culminación del período de sequía antes aludido, y el almacenamiento de agua en estas tres lagunas fue insignificante.

En el entorno inmediato de cada una de las cuatro lagunas estudiadas se dispone de al menos un piezómetro en el que se ha controlado la evolución del nivel freático paralelamente a la de la lámina libre de agua. No obstante, en el presente estudio, debido a las condiciones de inundación generalizada, no se ha juzgado necesario utilizar los datos procedentes de estos

dispositivos. En el trabajo de Almécija (1997) se analiza comparativamente la evolución piezométrica y limnimétrica para cada laguna, resultando en general una pauta muy similar.

Los datos piezométricos disponibles no permiten comprobar la coincidencia entre las divisorias hidrogeológica e hidrográfica para cada laguna, circunstancia que sí parece cumplirse en la cuenca de Fuente de Piedra (Linares, 1990) y que - en principio - se ha admitido aquí. Esto parece tanto más factible en tanto que la permeabilidad de los materiales que integran las cuencas de estas lagunas es, en general, inferior a la de los de Fuente de Piedra (Almécija, 1997).

MÉTODOS

El flujo subterráneo en relación con las lagunas (G: positivo o negativo según se produzca hacia o a partir de las mismas, respectivamente) se ha estimado mediante la ecuación del balance hídrico:

$$\text{Entradas (E)} = \text{Salidas (S)} \pm \text{Variación de Almacenamiento (VA)}$$

Las entradas corresponden a la precipitación directa sobre las lagunas (EP), la escorrentía superficial hacia las mismas procedente de las cuencas vertientes (EQ) y las aportaciones subterráneas (ES).

Las salidas son la evaporación (SEv) y las relacionadas con el flujo subterráneo desde las lagunas hacia los materiales de su entorno (SS), pues no existen efluentes superficiales en las lagunas estudiadas (SQ = 0).

La ecuación del balance hídrico puede expresarse entonces, para un período de tiempo determinado, como:

$$EP + EQ + ES = (SEv + SS) \pm VA$$

El flujo subterráneo neto en relación con la laguna puede obtenerse a partir de la ecuación anterior:

$$G = ES - SS = SEv - (EP + EQ) \pm VA$$

Hay que tener en cuenta que, al aplicar la citada expresión, los valores positivos de G son equivalentes a entradas subterráneas netas hacia la laguna, mientras que los negativos indicarían el flujo desde la laguna hacia los materiales permeables de su entorno, según se ha apuntado anteriormente.

Los cálculos se han realizado a escala mensual. La precipitación corresponde a la registrada en la estación de Campillos, situada a una altitud de 460 m en la inmediata proximidad de las lagunas consideradas. Los datos proceden

del Servicio de Hidrología de la Confederación Hidrográfica del Sur de España.

La escorrentía superficial generada en las cuencas vertientes y que se supone que alcanza finalmente a las lagunas correspondientes, se ha estimado por el método denominado del "número de curva", desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos norteamericano (Chow *et al.*, 1994; López Cadenas, 1994). Este método ha sido utilizado en un trabajo análogo al presente en alguna de las lagunas del sur de la provincia de Córdoba (Moya *et al.*, 1989). En Linares (1990) se describe otro método para calcular la escorrentía mensual en la cuenca de Fuente de Piedra a partir de los valores de precipitación y de evapotranspiración (estimada mediante la fórmula de Thornthwaite y un balance de agua en el suelo), y de unos coeficientes empíricos. Almécija (1997) ha aplicado ambos métodos en dicho sector durante el período 1989-1994 y obtiene resultados semejantes.

Los datos de evaporación proceden de un tanque normalizado de clase A, situado en el Cerro del Palo, en la inmediata proximidad de la laguna de Fuente de Piedra, cuyos datos han sido facilitados por el Patronato de dicha Reserva Natural. Estos datos y los de precipitación corresponden a medidas diarias totalizadas mensualmente. En cualquier caso, para la estimación de la escorrentía superficial por el método seleccionado es necesario disponer de datos diarios, aunque los resultados se han totalizado a escala mensual igualmente.

Las variaciones de almacenamiento se obtienen a partir de las observaciones limnimétricas (altura de la lámina libre sobre el fondo de las lagunas) y de la superficie máxima inundable de cada una de ellas. El hecho de que a lo largo del período considerado la extensión ocupada por la lámina de agua haya sido bastante estable y equivalente a los máximos reconocidos, justifica que no se hayan tenido en cuenta las variaciones de superficie asociadas a las variaciones en el nivel de agua. Estos datos corresponden a medidas semanales, aunque para este estudio se han considerado las variaciones mensuales, según se ha dicho. Algunas observaciones de nivel que faltaban en las lagunas de Capacete y Cerero, se han completado por regresión lineal con los datos de la laguna Salada, con los que muestran una alta correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 1a y 1b se presentan las cifras redondeadas correspondientes a los volúmenes mensuales estimados para cada una de las partidas del balance hídrico descritas anteriormente. En estas cifras influye, lógicamente, la extensión de las lagunas (valores de EP, SEv y VA) así como la de las cuencas vertientes (valores de EQ).

Las aportaciones totales durante el período de estudio por precipitación directa (EP) varían entre aproximadamente 45 Dm³ (Cerero) y 490 Dm³ (Dulce), lo que es sólo reflejo de la diferencia de superficie inundada.

La escorrentía superficial (EQ) estimada para el conjunto del período considerado representa un 55% de la precipitación total a lo largo de dicho período. Es un porcentaje muy elevado, que refleja las condiciones de anormal humedad ambiental del período de estudio que ya han sido repetidamente mencionadas. Casi el 60% de estas aportaciones se producirían en los dos meses de mayor pluviosidad: diciembre de 1995 y enero de 1996. El volumen total de las aportaciones de este tipo está condicionado, además de por la distinta extensión de las cuencas vertientes, por diferencias en el tipo de terrenos que las ocupan, que son poco significativas, y varía entre un total de 110 Dm³ (Capacete) y 460 Dm³ (Dulce), aproximadamente.

La evaporación considerada para el período de estudio supera ligeramente los 1.600 mm, aproximadamente, la mitad de la cual se concentra en los meses de junio, julio y agosto, con valores del orden de 250-300 mm/mes. Estas cifras son coherentes con las obtenidas en trabajos previos (Linares, 1990; Almécija, 1997). En estas condiciones, es lógico concebir un modelo hidrológico en el que el "bombeo" evaporativo pueda generar un flujo subterráneo centrípeto. Esto se ha comprobado en Fuente de Piedra (Linares, 1990; Almécija, 1997) y también parecen indicar lo mismo los resultados tentativos de Almécija y Benavente (1995) en este sector.

A partir de los datos limnimétricos, se han estimado los valores inicial (Hi) y final (Hf) de la altura de la lámina de agua en cada mes, así como su variación, positiva o negativa (dH). A partir de este último valor se estiman las variaciones de almacenamiento (VA). Salvo en el caso de la laguna Dulce, para el conjunto del período estas variaciones resultan positivas en las otras tres, con un valor de alrededor de 50 Dm³ (tablas 1a y 1b). A este respecto, el mayor nivel registrado en la laguna de Cerero respecto a Salada y Capacete al final del período de estudio se compensa con su menor superficie de inundación.

En las tablas 1a y 1b se indican los volúmenes mensuales del flujo subterráneo (G) desde/hacia las lagunas, estimados de acuerdo con la ecuación, así como los totales anuales. Estos últimos valores resultan positivos en las lagunas Dulce y Capacete (27 y 18 Dm³, respectivamente), lo que denota una aportación subterránea neta hacia tales lagunas a lo largo del período considerado. Por el contrario, en las lagunas Salada y Cerero los resultados (-148 y -36 Dm³, respectivamente) indican un flujo subterráneo neto desde las lagunas hacia los materiales de su entorno.

TABLA 1a. Valores estimados de los componentes del balance hidrológico las lagunas Salada y Cerero.
 TABLE 1a. Estimated values for the components of the hydrologic budget in the Salada and Cerero lakes.

SALADA									
Mes	Hi (mm)	Hf (mm)	dH (mm)	EP (Dm³)	EQ (Dm³)	SEv (Dm³)	VA (Dm³)	G (Dm³)	G (mm)
Dic	30	200	170	26	67	5	25	-64	-435
Ene	200	800	600	33	122	4	88	-63	-426
Feb	800	1240	440	9	13	8	65	50	340
Mar	1240	1270	30	3	7	13	4	7	49
Abr	1270	1200	-70	2	6	19	-10	0	-1
May	1200	1100	-100	13	48	20	-15	-56	-381
Jun	1100	880	-220	0	0	40	-32	8	53
Jul	880	710	-170	0	0	47	-25	22	147
Ago	710	500	-210	9	22	39	-31	-23	-157
Sep	500	420	-80	7	5	22	-12	-2	-13
Oct	420	340	-80	6	7	16	-12	-9	-61
Nov	340	390	50	10	24	8	7	-18	-124
Tot.			360	119	321	239	53	-148	-1008

CERERO									
Mes	Hi (mm)	Hf (mm)	dH (mm)	EP (Dm³)	EQ (Dm³)	SEv (Dm³)	VA (Dm³)	G (Dm³)	G (mm)
Dic	30	350	320	10	26	2	18	-16	-292
Ene	350	1050	700	12	47	1	39	-19	-339
Feb	1050	1400	350	3	5	3	20	14	249
Mar	1400	1420	20	1	3	5	1	2	38
Abr	1420	1350	-70	1	2	7	-4	0	-2
May	1350	1250	-100	5	18	7	-6	-22	-386
Jun	1250	1010	-240	0	0	15	-13	2	33
Jul	1010	880	-130	0	0	18	-7	10	187
Ago	880	820	-60	3	9	15	-3	-1	-9
Sep	820	750	-70	3	2	8	-4	0	-4
Oct	750	700	-50	2	3	6	-3	-2	-32
Nov	700	780	80	4	9	3	4	-5	-96
Tot.			750	45	124	91	42	-37	-653

TABLA 1b. Valores estimados de los componentes del balance hidrológico las lagunas Dulce y Capacete.
 TABLE 1b. Estimated values for the components of the hydrologic budget in the Dulce and Capacete lakes

DULCE									
Mes	Hi (mm)	Hf (mm)	dH (mm)	EP (Dm³)	EQ (Dm³)	SEv (Dm³)	VA (Dm³)	G (Dm³)	G (mm)
Dic	0	0	0	108	97	20	0	-185	-309
Ene	0	550	550	133	176	15	329	35.40392	59
Feb	550	1030	480	36	19	31	288	263.11744	439
Mar	1030	1010	-20	13	10	54	-12	18	30
Abr	1010	950	-60	9	9	76	-36	22	37
May	950	860	-90	54	69	80	-54	-97	-161
Jun	860	630	-230	0	0	164	-138	26	43
Jul	630	440	-190	1	0	191	-114	76	127
Ago	440	210	-230	35	32	158	-138	-47	-78
Sep	210	0	-210	30	7	89	-126	-73	-123
Oct	0	0	0	25	10	65	0	30	50
Nov	0	0	0	41	34	34	0	-42	-70
Tot.			0	484	464	975	0	27	45

CAPACETE									
Mes	Hi (mm)	Hf (mm)	dH (mm)	EP (Dm³)	EQ (Dm³)	SEv (Dm³)	VA (Dm³)	G (Dm³)	G (mm)
Dic	30	180	150	20	23	4	16	-23	-211
Ene	180	900	720	24	42	3	78	15	134
Feb	900	1320	420	7	5	6	46	40	369
Mar	1320	1350	30	2	2	10	3	8	75
Abr	1350	1260	-90	2	2	14	-10	0	2
May	1260	1150	-110	10	17	15	-12	-24	-218
Jun	1150	930	-220	0	0	30	-24	6	53
Jul	930	760	-170	0	0	35	-19	16	147
Ago	760	510	-250	6	8	29	-27	-13	-116
Sep	510	420	-90	5	2	16	-10	-1	-6
Oct	420	350	-70	4	2	12	-8	-3	-25
Nov	350	400	50	8	8	6	5	-4	-38
Tot.			370	88	112	177	40	18	165

En los valores anteriores de G influye, lógicamente, la extensión de los sistemas cuenca-laguna, por lo que -a efectos comparativos- se ha juzgado de mayor utilidad transformar esos valores volumétricos en otros de altura de agua equivalente, tomando como referencia la superficie de inundación de cada laguna (G en mm, tablas 1a y 1b). Estos últimos valores, considerados a escala mensual, se representan en la figura 3 para los cuatro casos analizados, dando como resultado general una evolución bastante similar, aunque se advierte un paralelismo más acusado entre las lagunas Dulce y Capacete, por una parte, y Salada y Cerero por otra. En dicha figura se aprecia claramente que los principales episodios de aportaciones pluviométricas (diciembre-enero y mayo) se relacionan con los valores más negativos de G , es decir, con los flujos desde las lagunas hacia los materiales permeables adyacentes. Esta situación es menos intensa (valores menos negativos) y menos prolongada en el caso de las lagunas Dulce y Capacete. Hay que advertir, no obstante, que en el caso de la laguna de Capacete no puede descartarse la posibilidad de que el término EQ se haya minusvalorado, debido al efecto del canal procedente de Camuñas. En este caso, los valores de G deberían resultar más negativos que los que aparecen en la tabla 1b y en la figura 3, y los resultados serían más semejantes a los de las lagunas Salada y Cerero.

La diferencia de comportamiento hidrológico entre la laguna Dulce y el resto de las analizadas que se desprende de los datos de la tablas 1a y 1b y de lo representado en la figura 3 también se había puesto de manifiesto a partir de los resultados tentativos de Almécija y Benavente (1995).

Por otra parte, las características físico-químicas de las aguas almacenadas en cada laguna (aspecto que no se ha tratado en el presente trabajo, pero del que los toponímicos de las dos principales lagunas son un testimonio evidente) contribuyen a apoyar la idea de un condicionamiento hidrogeológico netamente diferente entre la laguna Dulce y la Salada.

En la figura 3 también se identifica con claridad el cambio de régimen hidrológico que sigue a las principales aportaciones pluviométricas invernales, asociado a las cuales se ha producido el ascenso importante de nivel en las lagunas, que se transmite hacia los niveles freáticos circundantes invirtiendo el sentido de flujo. Así, valores positivos de G , que indican la descarga subterránea hacia las lagunas, se obtienen a continuación de los valores negativos antes reseñados. Esta tendencia se interrumpe como respuesta a las importantes precipitaciones de mayo, en que de nuevo se invierte el sentido de flujo, produciéndose recarga desde las lagunas hacia su entorno hidrogeológico. En verano cambia de nuevo la situación, favorecida esta vez por la intensa evaporación desde las lagunas. Por último, las anormales precipitaciones de agosto en el período de estudio vuelven a modificar la que, en condiciones usuales, debe ser la tendencia general, y de nuevo se obtienen valores de G nulos o negativos.

La evolución que indica la figura 3 parece reflejar, en términos generales, una situación de almacenamiento hídrico en los materiales adyacentes a las lagunas ("bank storage") tras la subida de niveles en las mismas y drenaje de dicho almacenamiento al descender los niveles, con el efecto superpuesto de la evaporación intensa en los meses de verano.

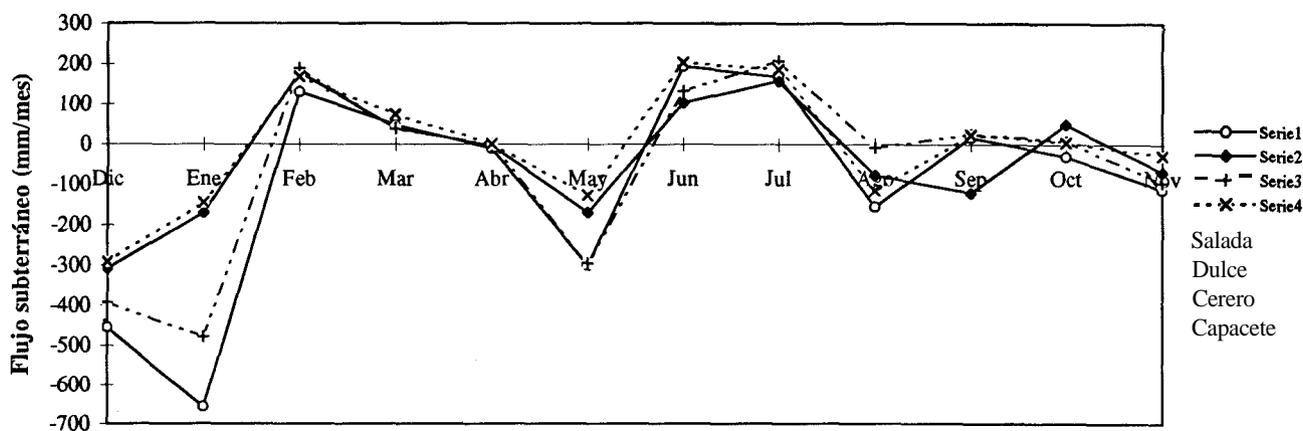


FIGURA 3. Evolución mensual del flujo subterráneo estimado para cada laguna durante el periodo de estudio (1995-96)
 FIGURE 3. Monthly evolution of groundwater flow for each lake during the study period (1995-96).

CONCLUSIONES

La estimación realizada de flujos subterráneos durante el período comprendido entre diciembre de 1995 y noviembre de 1996 en las lagunas Salada, Dulce, Capacete y Cerero (Campillos, Málaga), pone de manifiesto un comportamiento general similar. Dentro de un ámbito hidrogeológico caracterizado por la baja permeabilidad de los materiales que constituyen las cuencas de las lagunas (margas, limos y arcillas fundamentalmente), se produciría recarga desde las lagunas a los materiales más o menos permeables de su entorno durante los períodos de mayores precipitaciones (diciembre de 1995 - enero de 1996 y mayo de 1996), como respuesta al ascenso más rápido del nivel libre de las lagunas respecto al nivel freático adyacente. Posteriormente se produciría la descarga hacia las lagunas procedente de tales materiales, situación que en los meses de verano se favorecería por la intensa evaporación.

Este comportamiento no implica, durante el período de estudio, la compensación de flujos subterráneos en uno y otro sentido, imputable a un mero efecto de almacenamiento en las riberas adyacentes ("bank storage"), aspecto que sólo parece identificarse en el caso de la laguna Dulce y que traduciría un condicionamiento hidrogeológico relacionable con un sistema de flujo de tipo local.

Por el contrario, el resultado del balance hidrológico en la laguna de Cerero y, sobre todo, en la laguna Salada, conduce a una cifra neta del flujo subterráneo a lo largo del período de estudio negativa. Esto sugiere un ámbito hidrogeológico más complejo para estos dos enclaves. Cabe señalar que en situaciones de sequía como la que se produjo en los años que anteceden al presente estudio, la situación hidrogeológica debió ser precisamente la contraria, es decir, tuvo que producirse una descarga de ámbito mayor que la derivada de los propios sistemas locales hacia las correspondientes lagunas, lo que se manifestaba en unas condiciones de mayor humedad que en la laguna Dulce, que se encontraba totalmente seca. El registro de los datos piezométricos durante ese período también corrobora ese comportamiento (Almécija, 1997).

Las circunstancias anteriores apuntan a la existencia de sistemas de flujo de ámbito mayor que el local en relación con las lagunas de Cerero y Salada (sobre todo con esta última). La existencia de tales sistemas no es constatable por el momento a partir de medidas piezométricas, pues las instalaciones existentes no están diseñadas para la identificación de flujos verticales, característicos de los mismos. Queda también pendiente de comprobación si puede existir relación entre una

eventual descarga asociada a tales flujos "regionales" y la presencia en las inmediaciones de estas lagunas y a cotas inferiores de manantiales salinos permanentes (Carrasco, 1986).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Director – Conservador de la Reserva Natural de Fuente de Piedra (Dr. Manuel Rendón) su colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMECIJA, C. *Estudio hidrológico de los enclaves lagunares del norte de la provincia de Málaga*. Tesis Doctoral, Univ. Granada (inédita). 518 p.
- ALMECIJA, C. Y BENAVENTE, J. (1995). Régimen hidrológico de las lagunas de Campillos (Málaga). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XX, p. 325-338.
- A.M.A. (1991). *Guía de los espacios naturales de Andalucía*. Ed. Incafo, S.A. Madrid, 192 p.
- CARRASCO, F. (1986). *Contribución al conocimiento de la Cuenca Alta del río Guadalhorce: el medio físico, hidrogeoquímica*. Tesis Doctoral, Univ. Granada (inédita). 435 p.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. Y MAYS, L.W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana, Bogotá, 584 p.
- D.P.M.-I.T.G.E. (1988). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Ed. Diputación Prov. de Málaga, 150 p.
- DURÁN, J.J. y MOLINO, J.A. (1986). Karst en yesos del Triás de Antequera (Cordilleras Béticas). *Karstologia Memoires* 1. Association Française de Karstologie, p. 37-46.
- LINARES, L. (1990). *Hidrogeología de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga)*. Tesis Doctoral Univ. de Granada (inédita), 343 p.
- LÓPEZ CADENAS, F., coordinador (1984). Modelos y metodologías para el cálculo de escorrentías (unidad temática 3, en *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*: 83-111). Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- MOYA, J.L., RECIO, J.M. y GIRALDEZ, J.V. (1986). Determinación del flujo base en lagunas endorréicas. *II Simp. Agua en Andalucía*, v. I, p. 185-196.
- PEZZI, M. (1977). *Morfología Kárstica del sector central de la Cordillera Subbética*. Tesis Doctoral. Cuad. Geogr. Univ. Granada, S.M. 2,289 p.

