

## EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS DE LAS SIERRAS BLANCA Y MIJAS (MALAGA)

B. Andreo \*, F. Carrasco \* e I. Vadillo \*

### ABSTRACT

A water balance of Sierras Blanca and Mijas Hydrogeological Unit, the most important aquifer in the Costa del Sol, in the period 1990/91-1993/94, has been made. The recharge is produced by the infiltration of rain water with a total amount of 116.9 hm<sup>3</sup>/year: 60.2 hm<sup>3</sup>/year has been evapotranspired, 56.7 hm<sup>3</sup>/year belongs to the useful rain (8 hm<sup>3</sup>/year as streamflow and 48.7 hm<sup>3</sup>/year as infiltration). The discharge have been measured and gives a total amount of 62.2 hm<sup>3</sup>/year: 28.2 hm<sup>3</sup>/year by the springs and 34 hm<sup>3</sup>/year by the pumpings.

The useful rain has been calculated with several methods (Turc, Coutagne, Kessler, chloride method and monthly and daily Thornwaite method —with field capacities of 25 and 50 mm—). The method that fits in a better way with the known volumes of recharge and discharge, for each one of the aquifer system and for the whole Blanca-Mijas Hydrogeological Unit, is the chloride method.

**Key word:** *Water balance, alpujarride carbonate aquifer.*

### RESUMEN

Se ha realizado el balance de la Unidad Hidrogeológica Sierra Blanca-Sierra de Mijas, la más importante de la Costa del Sol, para la media del período 1990/91-1993/94. La precipitación media sobre la Unidad es de 116,9 hm<sup>3</sup>/año: 60,2 hm<sup>3</sup>/año se evapotranspiran y 56,7 hm<sup>3</sup>/año constituyen la lluvia útil (8 hm<sup>3</sup>/año de escorrentía y 48,7 hm<sup>3</sup>/año de infiltración eficaz). Las salidas controlables ascienden a 62,2 hm<sup>3</sup>/año: 28,2 hm<sup>3</sup>/año se descargan por manantiales y 34 hm<sup>3</sup>/año por bombeos.

La lluvia útil se ha calculado mediante varios métodos (Turc, Coutagne, Kessler, balance de cloruros, Thornwhite diario y mensual —con capacidades de campo de 25 y 50 mm—). El método que más se adapta a los volúmenes conocidos de entradas y salidas, para cada uno de los sistemas acuíferos y para la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas en su conjunto, es el balance de cloruros.

**Palabras clave:** *Balance hidrogeológico, acuífero carbonatado alpujarride.*

### Introducción

Las Sierras Blanca y Mijas son dos abruptos relieves de la cadena montañosa que limita al Norte la Costa del Sol occidental; concretamente, están situadas entre las ciudades de Málaga, al Este, y Marbella, al Oeste (fig. 1).

Desde el punto de vista geológico, forman parte de la Unidad de Blanca (Mollat, 1968), perteneciente al Complejo Alpujarride de la Cordillera Bética y, como tal, su serie estratigráfica está formada por dos conjuntos litológicos fundamentales: uno inferior metapelítico (migmatitas y gneises, de edad Paleozoico) y otro superior carbonatado (mármoles

triásicos). El conjunto carbonatado tiene una potencia de 600 m y, a su vez, presenta dos tramos claramente diferenciables (Andreo y Sanz de Galdeano, 1994; Sanz de Galdeano y Andreo, 1995). El tramo inferior está formado por mármoles blancos diaclados, de composición dolomítica, y aflora principalmente en el sector oriental de Sierra Blanca y en Sierra Mijas. El tramo superior está constituido por mármoles azules, de composición caliza, y se reconoce esencialmente en el sector occidental de Sierra Blanca.

La estructura geológica permite diferenciar tres sectores en la Unidad de Blanca (Andreo y Sanz de Galdeano, 1994; Sanz de Galdeano y Andreo,

\* Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

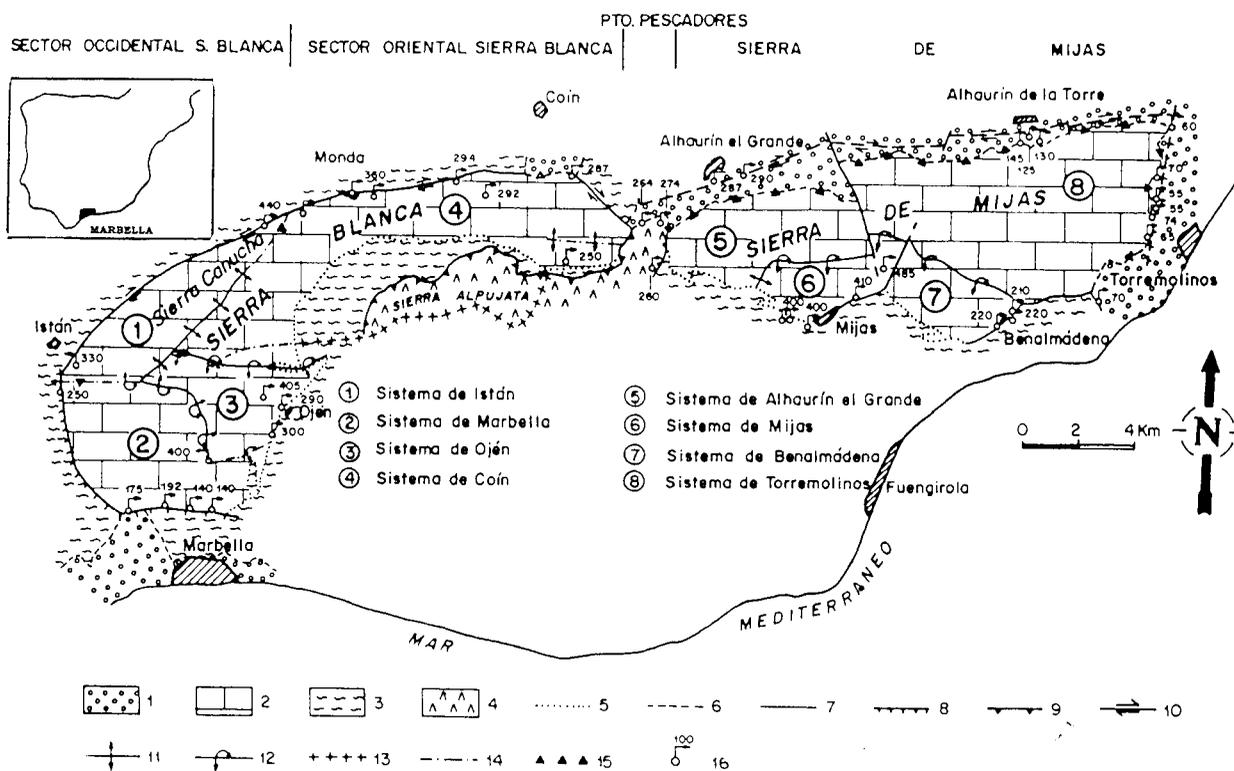


Fig. 1.—Situación geográfica y mapa hidrogeológico de las Sierras Blanca y Mijas. Leyenda: 1 = sedimentos pliocuaternarios, 2 = mármoles, 3 = materiales de baja permeabilidad (gneises, migmatitas y arcillas), 4 = peridotitas, 5 = contacto concordante, 6 = contacto discordante, 7 = contacto tectónico, 8 = falla normal, 9 = falla inversa, 10 = falla de desgarre, 11 = anticlinal, 12 = anticlinal tumbado, 13 = divisoria hidrográfica, 14 = divisoria hidrogeológica, 15 = posible transferencia de recursos, 16 = manantial y cota de surgencia.

1995). En el sector occidental de Sierra Blanca, la estructura geológica está determinada por la interferencia de pliegues con direcciones N-S y E-W. El sector oriental de Sierra Blanca presenta una estructura prácticamente tabular, con pliegues de dirección E-W. En Sierra de Mijas, la estructura está formada por pliegues de dirección ENE-WNW, curvos en la terminación occidental y siempre vergentes hacia el interior de la sierra.

Las Sierras Blanca y Mijas están separadas, tanto en superficie como en profundidad, por un afloramiento de peridotitas existente en el Puerto de los Pescadores, que no es más que la prolongación del macizo de Sierra Alpujata (fig. 1), perteneciente a la Unidad de los Reales (Tubía, 1985), tectónicamente superpuesta a la de Blanca.

En cuanto a las formas kársticas, cabe señalar que son escasas. Las formas exokársticas más abundantes son el lapiaz (Rodríguez-Vidal, 1982) y los llanos, estos últimos constituyen áreas topográficamente deprimidas, formadas por mármoles blancos que afloran en el sector oriental de Sierra Blanca a favor de estructuras tabulares. Las formas endokársticas (cavidades) también están poco representadas,

la mayoría de ellas se reconocen en los mármoles azules calizos del sector occidental de Sierra Blanca y están condicionadas, principalmente, por fracturas de dirección NNW-SSE (Andreo *et al.*, 1996a).

Los mármoles que afloran en las Sierras Blanca y Mijas están muy fracturados y, en algunos sectores, también karstificados, lo que permite la circulación y acumulación de agua subterránea, constituyendo así la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas. A partir de la estructura geológica antes descrita y teniendo en cuenta datos hidrodinámicos (cota de surgencia y régimen de descarga de los manantiales, nivel piezométrico en sondeos, parámetros hidráulicos), hidroquímicos (componentes químicos mayoritarios y elementos traza), isotópicos ( $^{18}\text{O}$  y tritio) y radiactividad natural del agua, es posible distinguir ocho sistemas acuíferos (Andreo, 1996; Andreo *et al.*, 1996b) que se muestran en la figura 1: tres en el sector occidental de Sierra Blanca (Istán, Marbella y Ojén), uno en el sector oriental de dicha sierra (Coin) y cuatro en Sierra Mijas (Alhaurín el Grande, Mijas, Benalmádena y Torremolinos).

La extensión de dichas sierras, 170 km<sup>2</sup>, y su situación geográfica en un área de elevada demanda

de agua, como la Costa del Sol, han despertado siempre un gran interés y han propiciado la realización de investigaciones hidrogeológicas desde muy antiguo (Dupuy de Lôme, 1923; IGME, 1983 y 1985; SGOP, 1992). En un área como ésta, es importante conocer los recursos hídricos disponibles para poder hacer una adecuada gestión de los mismos.

En este trabajo se pretende llevar a cabo un análisis de las salidas y entradas de la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas, en su conjunto, y de cada uno de los sistemas acuíferos que la constituyen, por separado. Por razones de disponibilidad de datos, el balance sólo se efectuará de forma completa con los valores medios del período de investigación (1990/91-1993/94), aunque se trabaja también con datos de un período histórico (1963/64-1993/94). Además, se realizan comentarios acerca de las metodologías utilizadas habitualmente para hacer los balances hidrogeológicos.

### Salidas de la Unidad Blanca-Mijas

En el sector occidental de Sierra Blanca el volumen medio de descarga anual, durante el período de investigación, asciende a 12,8 hm<sup>3</sup>; todo corresponde a descarga natural por manantiales, repartido de la siguiente forma: 4,8 hm<sup>3</sup>/año en el sistema de Istán, 5 hm<sup>3</sup>/año en el de Marbella y 3 hm<sup>3</sup> en el de Ojén.

En el sector oriental de Sierra Blanca (sistema de Coín) las salidas totales son de 18,4 hm<sup>3</sup>/año: 15,4 hm<sup>3</sup>/año por manantiales y 3 hm<sup>3</sup>/año por bombeos.

En Sierra Mijas toda la descarga se produce mediante explotación por bombeo en los numerosos sondeos que existen. Según la información disponible (Andreo, 1996), en Sierra Mijas, se ha bombeado un volumen medio anual del orden de 31 hm<sup>3</sup> durante el período de investigación (5,7 hm<sup>3</sup>/año en el sistema de Alhaurín el Grande, 2,5 hm<sup>3</sup>/año en el Mijas, 2,5 hm<sup>3</sup>/año en el de Benalmádena y 20,3 hm<sup>3</sup>/año en el de Torremolinos).

En trabajos previos sobre Sierra Mijas se dan cifras de salidas del orden de 19 hm<sup>3</sup>/año (ITGE, 1992) y 29 hm<sup>3</sup>/año (SGOP, 1992). Conviene precisar que el primer dato corresponde a los años hidrológicos 1988/89 y 1989/90, época en la que había menos sondeos funcionando y, además, en el año 1989/90, el más húmedo de la historia pluviométrica de la región, todos los manantiales de Sierra Mijas volvieron a manar agua que se utilizaba para abastecimiento de poblaciones, disminuyendo los bombeos.

Por consiguiente, durante el período de investigación, el valor medio de las salidas controlables de la

Unidad Blanca-Mijas es de 62,2 hm<sup>3</sup>/año: 28,2 hm<sup>3</sup>/año por manantiales y 34,0 hm<sup>3</sup>/año mediante bombeos. Las salidas por manantiales tienen lugar en Sierra Blanca, sobre todo en su sector occidental, mientras que los bombeos se producen, mayoritariamente, en Sierra Mijas.

En los informes del IGME (1983, 1985) se comenta la existencia de una descarga subterránea, cifrada en aproximadamente 25 hm<sup>3</sup>/año, desde Sierra Mijas hacia el acuífero detrítico del Bajo Guadalhorce. Con la colaboración del SGOP, se ha realizado un estudio geológico e hidrogeológico de los bordes Norte y Este de Sierra Mijas, en el marco del cual se han hecho sondeos profundos y ensayos de bombeo, así como pruebas de permeabilidad, que han puesto de manifiesto la baja transmisividad de los materiales pliocuaternarios. Aplicando la ley de Darcy a los tramos más permeables de las columnas litológicas atravesadas en los sondeos, se obtiene una descarga media del orden de 1 hm<sup>3</sup>/año; es decir, que puede considerarse despreciable a efectos del balance global de la Unidad (Andreo, 1996).

### Precipitaciones

Las precipitaciones se recogen en la tabla 1. Los datos permiten constatar que disminuyen de Oeste a Este, independientemente del período considerado; son más abundantes en Sierra Blanca, sobre todo en el sector occidental de ésta, que en Sierra Mijas. Así, en el sistema de Ojén es donde más llueve (750 mm/año, de media histórica) mientras que en el de Torremolinos se registran los valores más bajos de precipitación (610 mm/año).

La precipitación media anual obtenida mediante planimetría de isoyetas, en la Unidad Blanca-Mijas, durante el período histórico 1963/64-1993/94, es de 671 mm (114 hm<sup>3</sup>) y 687 mm (116,9 hm<sup>3</sup>) como valor medio anual durante el período de investigación. En la tabla 1 se detalla la precipitación media anual, durante cada período y para diferentes años tipo, en los distintos sistemas que constituyen la Unidad estudiada.

Durante el período de investigación, la precipitación media anual se ha distribuido de la siguiente forma: 834 mm (44 hm<sup>3</sup>/año) en el sector occidental de Sierra Blanca, 735 mm (27,9 hm<sup>3</sup>/año) en el sector oriental de Sierra Blanca y 567 mm (45 hm<sup>3</sup>/año) en Sierra Mijas.

La precipitación media anual en Sierra Blanca, correspondiente al período 1990/91-1993/94, es ligeramente superior a la media histórica (1963/64-1993/94), mientras que en Sierra Mijas ocurre lo contrario, esto es, la precipitación media histórica

Tabla 1.—Precipitaciones medias anuales obtenidas mediante planimetría de isoyetas en la Unidad Blanca-Mijas, para la media del período de investigación (90/94), del período histórico (64/94), de los años húmedos (mAH) y de los años secos (mAS).

	Sector occidental Sierra Blanca						SEB				Sierra Mijas						SB-SM	
	Istán		Marbella		Ojén		Coín		Alh. el Grande		Mijas		Benalmádena		Torremolinos			
	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)	(mm)	(hm <sup>3</sup> /a)
90/94	810	13,2	837	19,6	857	11,2	735	27,9	615	10,3	618	5,0	550	4,8	544	24,9	687	116,9
64/94	710	11,6	735	17,2	750	9,8	665	25,3	666	11,1	698	5,7	650	5,7	610	27,9	671	114,3
mAH	1.294	21,1	1.244	29,1	1.344	17,6	1.146	43,5	1.018	17,0	1.050	8,5	1.004	8,7	926	42,4	1.105	188,0
mAS	618	10,1	532	12,4	642	8,4	501	19,0	450	7,5	450	3,6	450	3,9	429	19,6	498	84,7

SEB = Sector oriental sierra Blanca. SB-SM = Sierras Blanca y Mijas.

es mayor que la obtenida durante el período de investigación. A escala del área de estudio, el período de investigación debe considerarse de tipo medio o ligeramente seco, desde el punto de vista pluviométrico.

### Evapotranspiración real y lluvia útil

#### Consideraciones previas

Para calcular la evapotranspiración real y la lluvia útil se han tenido en cuenta las series históricas de precipitaciones y temperaturas anuales registradas en las estaciones del área de estudio. En primer lugar, el tratamiento se ha efectuado por estaciones meteorológicas y, posteriormente, para cada uno de los sistemas hidrogeológicos.

En el sector occidental de Sierra Blanca se han utilizado los datos pluviométricos de las estaciones de Istán, Marbella y Ojén y los datos de temperatura de la estación de Marbella. En el sector oriental de Sierra Blanca, se han empleado los datos de la estación termopluviométrica de Coín. En Sierra Mijas, se han utilizado los datos pluviométricos de las estaciones de Alhaurín el Grande y Mijas, con las temperaturas de Coín; y los datos de lluvia de las estaciones de Benalmádena, Alhaurín de la Torre, Manantiales (Alhaurín de la Torre) y Torremolinos con las temperaturas medidas en la estación del Aeropuerto de Málaga.

Con los datos disponibles se han calculado, a nivel anual, los valores de evapotranspiración real y lluvia útil (expresados en mm) y, a partir de ellos, se han obtenido los valores para la media del período de investigación (1990/91-1993/94) y, cuando ha sido posible, también para un año medio histórico, para la media de los años húmedos y para la media de los años secos (Tabla 2).

Los métodos utilizados para el cálculo de la evapotranspiración real y lluvia útil han sido los de Turc, Coutagne, Thornwhite (a nivel mensual y diario), balance de cloruros y método de Kessler. Con-

viene precisar que los dos últimos métodos permiten calcular la infiltración eficaz, más que la lluvia útil propiamente dicha, por tanto, su aplicación para el cálculo de evapotranspiración real y lluvia útil se hace suponiendo, en principio, que la escorrentía superficial es despreciable. Los cálculos hechos por los otros métodos se han efectuado mediante el paquete de programas HIDROBAS (ITGE-ETSIM, 1991), excepto el balance de Thornwhite a nivel diario que se ha realizado con el programa SIMU.

Una vez conocidas la evapotranspiración real y la lluvia útil en las distintas estaciones meteorológicas (Tabla 2), se ha determinado el porcentaje de la precipitación que produce lluvia útil en cada una de ellas y, a cada sistema hidrogeológico, se la asignado el porcentaje de lluvia útil correspondiente a la estación más próxima o, en su caso, el valor medio de las estaciones más cercanas. Dicho porcentaje se ha multiplicado por la precipitación media anual en cada sistema, determinada mediante planimetría de isoyetas, obteniendo así el volumen anual (en hm<sup>3</sup>) de lluvia útil en cada sistema, para distintos períodos (Tabla 3).

#### Evapotranspiración real y lluvia útil obtenidas a partir de los datos de las estaciones meteorológicas

Los métodos de Turc y Coutagne permiten obtener valores medios anuales, para el período de investigación, de evapotranspiración real de 537 mm (Turc) y 490 mm (Coutagne), con una lluvia útil de 65 y 111 mm, respectivamente. Estas cifras globales son muy diferentes de las calculadas por los otros métodos y no pueden considerarse representativas, al igual que los resultados obtenidos por estos métodos para cada uno de los sistemas investigados (Tabla 2).

El método de Thornwhite se ha aplicado con datos termopluviométricos mensuales y diarios. En el primer caso, para el conjunto de la Unidad y durante el período de investigación, se obtienen los siguientes valores medios anuales de evapotranspi-

Tabla 2.—Valores de evapotranspiración real (ETR) y de lluvia útil (PU), calculados a partir de los datos termopluviométricos registrados en las estaciones del área de estudio. Todas las cifras están expresadas en mm.

	Sector occidental Sierra Blanca						SEB				Sierra Mijas								SB-SM		
	Istán		Marbella		Ojén		Coín		Alhaurín el Grande		Mijas		Benalmádena		Alhaurín de la Torre		Manantiales			Torremolinos	
	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU		ETR	PU
Turc	90-94	609	127	561	81	627	137	511	40	537	50	554	61	511	38	485	37	523	53	449	
	64-94	621	150	561	127	670	211	516	72	523	76	606	134	554	94	469	66	610	159	474	
	mAH	772	374	763	333	844	543	681	206	685	216	800	367	737	285	741	264	785	372	630	
	mAS	500	39	417	69	553	66	386	8	396	11	462	23	482	45	325	7	517	47	390	
Coutagne	90-94	565	171	514	127	583	181	461	90	485	102	502	113	461	89	439	83	475	100	418	
	64-94	616	155	520	152	677	203	477	111	483	115	554	187	510	138	442	94	558	211	442	
	mAH	959	187	713	383	1.097	289	626	262	628	274	741	426	678	344	693	312	725	432	579	
	mAS	451	87	391	45	503	116	367	27	378	29	416	70	457	70	313	20	468	95	366	
Thornwhite mensual cc = 50 mm	90-94	407	329	415	227	413	350	356	195	364	224	376	273	357	200	332	191	353	223	340	
	64-94	378	393	359	313	384	492	324	271	328	270	349	396	321	297	302	238	374	396	316	
	mAH	419	740	381	727	413	987	354	558	356	545	375	794	362	661	365	624	415	742	354	
	mAS	322	216	304	132	332	273	271	123	280	127	296	215	269	170	252	103	312	252	279	
Thornwhite mensual cc = 25 mm	90-94	376	360	387	254	386	378	328	223	336	251	348	301	328	229	304	218	327	249	313	
	64-94	349	422	331	341	355	522	296	299	300	298	318	427	291	327	272	260	345	424	287	
	mAH	388	765	350	752	378	1.016	326	586	327	573	344	826	332	690	331	657	383	774	326	
	mAS	292	247	278	158	302	302	245	149	254	153	264	247	240	198	223	109	287	277	250	
Th <sub>d</sub> cc = 50	90-94	391	394	474	330	390	389	313	268	323	254	400	352	374	266	298	247	371	271	277	
Th <sub>d</sub> cc = 25	90-94	316	467	402	404	301	478	271	311	264	317	344	408	322	318	231	312	317	326	220	
Kessler	90-94	333	403	267	374	279	485	239	312	237	350	275	371	232	317	209	313			198	
	64-94	342	428	277	395	368	513	268	320	269	329	324	424	295	352	229	306			227	
	mAH	476	671	375	721	555	832	335	553	361	541	450	717	511	511	419	587			340	
	mAS	255	283	187	249	282	337	180	214	189	218	221	289	260	266	142	191			168	
Cloruros	90-94	351	385	344	298	436	328	247	304	291	297	377	269	344	205	271				257	

Th<sub>d</sub> = Thornwhite con datos diarios. cc = capacidad de campo; el resto misma leyenda que tabla 1.

ración real y lluvia útil: 371 y 235 mm (con una capacidad de campo de 50 mm) y 343 y 262 mm (cc = 25 mm), respectivamente.

El balance de Thornwhite a nivel diario, se ha calculado utilizando como valor de evapotranspiración potencial el calculado a nivel mensual repartido por el número de días de cada mes, porque esto simplifica mucho el tratamiento y el error de estimación de la lluvia útil difiere apenas un 0,5 % del que se obtendría con la evapotranspiración potencial diaria (Padilla y Pulido, 1986). Durante el período de investigación los valores medios anuales de evapotranspiración real y lluvia útil, calculados por este método, son de 361 y 294 mm (cc = 50 mm) y 299 y 357 mm (cc = 25 mm), respectivamente.

El valor medio anual de evapotranspiración real, obtenido por el método de Kessler, es de 252 mm y la lluvia útil de 356 mm, suponiendo que no hay escorrentía.

Finalmente, con el balance de cloruros, la evapo-

transpiración real calculada es de 322 mm y la lluvia útil de 286 mm, valores estos intermedios entre todos los obtenidos por los distintos métodos, que pueden considerarse representativos del área de estudio (Andreo, 1996).

Los valores medios anuales de evapotranspiración real, para el período de investigación, obtenidos por todos los métodos, son siempre mayores que los de lluvia útil, excepto los resultados de los métodos de Kessler y de Thornwhite a nivel diario con 25 mm capacidad de campo.

#### Lluvia útil en los diferentes sistemas hidrogeológicos

Los valores medios anuales de la lluvia útil obtenidos durante el período de investigación (tabla 3), mediante las fórmulas de Turc y Coutagne, son del 10,9 y 18,6 % de la precipitación (12,2 y

Tabla 3.—Datos de lluvia útil, expresada en forma de porcentaje de precipitación (%P) y como caudal (hm<sup>3</sup>/año), para los distintos sistemas acuíferos y para la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas.

		Sector occidental Sierra Blanca						SEB				Sierra Mijas				SB-SM			
		Istán		Marbella		Ojén		Coín		Alhaurín el Grande		Mijas		Benalmádena		Torremolinos			
		%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)		
Turc	90-94	17,2	2,3	12,6	2,5	17,9	2,0	7,2	2,0	8,6	0,9	9,4	0,5	6,9	0,3	7,2	1,8	10,9	12,2
	64-94	19,5	2,3	18,9	3,2	24,0	2,4	12,2	3,1	12,7	1,4	17,9	1,0	14,5	0,8	14,1	3,9	16,7	18,1
	mAH	32,6	6,9	30,4	8,8	39,1	6,9	23,3	10,1	24,0	4,1	31,4	2,7	27,9	2,4	25,6	10,9	29,3	52,8
	mAS	7,2	0,7	15,8	2,0	10,7	0,9	2,0	0,4	2,7	0,2	4,6	0,2	8,5	0,3	4,5	0,9	7,0	5,6
Coutagne	90-94	23,2	3,1	19,8	3,9	23,7	2,7	16,3	4,6	17,4	1,8	17,4	0,9	16,1	0,8	15,1	3,8	18,6	21,3
	64-94	20,1	2,3	22,7	3,9	23,1	2,3	18,9	4,8	19,3	2,1	25,0	1,4	21,2	1,2	20,1	5,6	21,3	23,6
	mAH	16,3	3,4	34,9	10,2	20,8	3,7	29,5	12,8	30,4	5,2	36,5	3,1	33,6	2,9	31,1	13,2	29,2	54,5
	mAS	16,1	1,6	10,3	1,3	18,8	1,6	7,0	1,3	7,1	0,5	13,7	0,5	13,3	0,5	10,6	2,1	12,1	9,4
Thornwhite mensual cc = 50 mm	90-94	44,7	5,9	35,3	6,9	45,9	5,1	35,3	9,9	38,1	3,9	42,3	2,1	36,4	1,7	34,6	8,6	39,1	44,2
	64-94	51,0	5,9	46,6	8,0	55,9	5,5	46,0	11,6	45,2	5,0	53,0	3,0	45,9	2,6	45,1	12,6	48,6	54,2
	mAH	64,5	13,6	66,3	19,3	71,2	12,5	62,8	27,4	60,4	10,3	68,1	5,8	64,6	5,6	59,9	25,4	64,7	119,9
	mAS	40,2	4,1	30,3	3,8	44,1	3,7	31,2	5,9	31,2	2,3	42,1	1,5	32,3	1,3	35,4	6,9	35,8	29,6
Thornwhite mensual cc = 25 mm	90-94	48,9	6,5	39,6	7,8	49,5	5,6	40,4	11,3	42,8	4,4	46,6	2,3	41,7	2,0	39,7	9,9	43,7	49,7
	64-94	54,7	6,3	50,7	8,7	59,3	5,8	50,8	12,8	49,9	5,5	57,1	3,2	50,5	2,9	49,5	13,8	52,8	59,2
	mAH	66,7	14,1	68,6	20,0	73,3	12,9	66,0	28,7	63,6	10,8	70,8	6,0	67,5	5,9	63,2	26,8	67,5	125,2
	mAS	45,8	4,6	36,2	4,5	48,8	4,1	37,9	7,2	37,7	2,8	48,4	1,8	37,6	1,5	39,9	7,8	41,6	34,3
Th <sub>q</sub> cc = 50	90-94	53,6	7,1	51,4	10,1	50,9	5,7	48,6	13,6	43,2	4,4	54,5	2,7	48,5	2,3	43,3	10,8	49,2	56,7
Th <sub>q</sub> cc = 25	90-94	63,4	8,4	62,9	12,3	62,6	7,0	56,4	15,7	54,0	5,5	63,1	3,2	57,9	2,8	54,8	13,6	59,4	68,6
Kessler	90-94	54,8	7,2	58,3	11,4	63,5	7,1	56,7	15,8	59,6	6,1	57,5	2,9	57,8	2,8	59,1	14,7	58,4	68,1
	64-94	55,6	6,4	58,7	10,1	58,2	5,7	54,4	13,7	55,1	6,1	56,7	3,2	54,4	3,1	56,9	15,9	56,3	64,3
	mAH	58,5	12,3	65,8	19,1	60,0	10,6	62,3	27,1	60,0	10,2	61,4	5,2	50,0	4,4	57,3	24,3	59,4	113,2
	mAS	52,6	5,3	57,1	7,1	54,4	4,6	54,2	10,3	53,7	4,0	56,6	2,1	50,6	2,0	57,8	11,3	54,6	46,7
Cloruros	90-94	52,3	6,9	46,4	9,1	42,9	4,8	55,2	15,4	50,5	5,2	41,6	2,1	37,4	1,8	45,9	11,4	48,5	56,7

Misma leyenda que tablas 1 y 2.

21,3 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente), muy inferiores a los obtenidos por otros métodos.

La lluvia útil obtenida por el método de Thornwhite varía entre el 39,1 y el 59,4 % de la precipitación (entre 44,2 y 68,6 hm<sup>3</sup>/año), para el mismo período, dependiendo de la capacidad de campo y de que el balance se haya efectuado a nivel mensual o diario.

A partir del método de Kessler se obtienen valores de lluvia útil, en este caso suponiendo que no hay escorrentía, menos variables de un período a otro, pero claramente superiores al resto de los métodos empleados. Para el período de investigación el valor medio anual de la infiltración eficaz es del 58,4 % de la precipitación (68,1 hm<sup>3</sup>/año).

Durante el mismo período, el valor medio de la lluvia útil, obtenido por el balance de cloruros (Tablas 3 y 4), equivale al 48,5 % de la precipitación (56,7 hm<sup>3</sup>/año). Concretamente, el valor medio anual de la lluvia útil en el sector occidental de Sierra Blanca es 20,8 hm<sup>3</sup>/año, en el sector oriental de

Sierra Blanca es 15,4 hm<sup>3</sup>/año y en Sierra Mijas es 20,5 hm<sup>3</sup>/año.

#### *Comentarios sobre los métodos utilizados en el cálculo de la lluvia útil*

Los métodos de Turc y Coutagne permiten obtener valores elevados de la evapotranspiración real y, por tanto, bajos de la lluvia útil, debido a que utilizan datos medios anuales de precipitación y temperatura, sin tener en cuenta la distribución de los mismos a lo largo del año. Los resultados obtenidos no son coherentes con los datos hidrogeológicos conocidos de las Sierras Blanca y Mijas. Estos métodos no son adecuados para calcular la evapotranspiración real y la lluvia útil en la Unidad Blanca-Mijas. No obstante, Cardenal (1993), en Sierra Lújar, situada en un contexto geológico y geográfico similar al área aquí investigada, considera que dichos métodos dan cifras coherentes para altitudes de

Tabla 4.—Resumen de las distintas componentes del balance hidrogeológico realizado para la Unidad Blanca-Mijas y para cada uno de los sistemas diferenciados en ella

	Sector occidental Sierra Blanca						SEB		Sierra Mijas						SB-SM			
	Istán		Marbella		Ojén		Cádiz		Alhaurín el Grande		Mijas		Benalmádena		Torremolinos			
	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)	%P	(hm <sup>3</sup> /a)
Manantiales	36,4	4,8	25,5	5,0	26,8	3,0	55,2	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,1	28,2		
Bombeos		0,0		0,0		0,0		3,0		5,7		2,5		2,5		20,3		34,0
Precipitación		13,2		19,6		11,2		27,9		10,3		5,0		4,8		24,9		116,9
ETR	47,7	6,3	53,6	10,5	57,1	6,4	44,8	12,5	49,5	5,1	58,4	2,9	62,6	3,0	54,1	13,5	51,5	60,2
Lluvia útil	52,3	6,9	46,4	9,1	42,9	4,8	55,2	15,4	50,5	5,2	41,6	2,1	37,4	1,8	45,9	11,4	48,5	56,7
Escorrentía	15,9	2,1	20,9	4,1	16,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	8,0	
Recursos	36,4	4,8	25,5	5,0	26,8	3,0	55,2	15,4	50,5	5,2	41,6	2,1	37,4	1,8	45,9	11,4	41,7	48,7
Sobreexplotación		0,0		0,0		0,0		3,0		0,5		0,4		0,7		8,9		13,5

recarga inferiores a 300 m. Asimismo, Blavoux *et al.* (1992), aplican el método de Turc a nivel mensual, en el sistema de Vaucluse, con resultados satisfactorios.

Con respecto al método de Thornwhite, cabe señalar que la lluvia útil obtenida para el conjunto de la Unidad, a nivel diario es, entre 8 y 12 %, superior a la estimada a nivel mensual. Estas mismas diferencias son observadas más al Este, en Sierra Lújar, por Cardenal (1993), quien constató, además, que en los balances a nivel mensual se valora por defecto la lluvia útil, tanto más cuanto menor sea la capacidad de campo. La lluvia útil obtenida por el método de Thornwhite a nivel diario es, teóricamente, más adecuada porque dicho método tiene en cuenta la distribución de las precipitaciones a lo largo del mes (Padilla y Pulido, 1986).

El método de Kessler permite obtener valores elevados de la lluvia útil, mayores que los obtenidos por casi todos los otros métodos, y los volúmenes de descarga calculados son muy superiores a los medidos. Los resultados obtenidos por este método en el conjunto de la Unidad, para el período de investigación, son similares a los calculados por el balance de Thornwhite a nivel diario con 25 mm de capacidad de campo. En otras partes de la Cordillera Bética, el método de Kessler ha sido aplicado con buenos resultados (López-Vera y Saiz, 1975).

El balance de cloruros (Schoeller, 1962) es el método más utilizado, en sistemas acuíferos carbonatados como los aquí estudiados, debido al carácter conservativo de dicho ion. Este método también presenta limitaciones como el hecho de no tener en cuenta la «precipitación seca», que comprende tanto la deposición de aerosoles como la de gases atmosféricos por adsorción, aunque en áreas donde la cobertura vegetal es escasa, como la aquí investigada, la importancia de este efecto es menor (Appelo y Postma, 1993). Asimismo, Barón *et al.* (1984), constatan problemas de homogeneización del conte-

nido en Cl<sup>-</sup> del agua en el acuífero de Sierra Norte (Mallorca).

Los porcentajes de precipitación que producen lluvia útil, obtenidos mediante el balance de cloruros, presentan valores intermedios entre los calculados por los otros métodos. Teniendo en cuenta las cifras totales de la Unidad, los valores de lluvia útil obtenidos por este método son muy parecidos a los calculados por el de Thornwhite a nivel diario con una capacidad de campo de 50 mm; sin embargo, cuando se analizan los resultados por sistemas hidrogeológicos existen diferencias de hasta un 10 %.

Por otra parte, se han efectuado correlaciones lineales entre los porcentajes de precipitación que producen lluvia útil calculados por todos los métodos (Tabla 5), excepto los de Turc y Coutagne, cuyos resultados son claramente inadecuados. Los coeficientes de correlación así obtenidos sólo son significativos cuando se correlacionan los resultados del método de Thornwhite a un mismo nivel, mensual o diario; sin embargo, cuando se correlacionan a un nivel distinto, el coeficiente es relativamente elevado pero no significativo. Los resultados del método de Kessler y del balance de cloruros están mal correlacionados con todos los restantes y, además, con signo negativo, sobre todo, en el caso del segundo método.

Las correlaciones realizadas indican que la lluvia útil calculada en cada sistema varía según el método utilizado. Por tanto, a escala de sistemas hidrogeológicos, los resultados son diferentes, probablemente, porque los datos de partida varían en cada caso (precipitaciones, temperaturas y contenidos en cloruros) y los tratamientos efectuados también son distintos. Cada uno de estos métodos permitirá obtener resultados satisfactorios en unas determinadas condiciones climáticas, topográficas y geológicas, pero evidentemente no son aplicables por igual en un mismo sistema.

Tabla 5.—Matriz de coeficientes de correlación lineal entre los valores de lluvia útil calculados por diferentes métodos

	Th <sub>m</sub> 50	Th <sub>m</sub> 25	Th <sub>a</sub> 50	Th <sub>a</sub> 25	Kessler	CI <sup>-</sup>
Th <sub>m</sub> 50	1,0000					
Th <sub>m</sub> 25	0,9965	1,0000				
Th <sub>a</sub> 50	0,6058	0,5879	1,0000			
Th <sub>a</sub> 25	0,6566	0,6206	0,9402	1,0000		
Kessler	0,1871	0,1533	-0,2910	-0,0806	1,0000	
CI <sup>-</sup>	-0,0877	-0,0905	-0,1487	-0,2289	-0,3738	1,0000

Sin embargo, a escala de la Unidad Hidrogeológica, se obtienen resultados de la misma magnitud aplicando métodos distintos: Thornwhite diario con cc = 50 mm y balance de cloruros, Thornwhite diario con cc = 25 mm y método de Kessler (tabla 3). Esto significaría, lógicamente, que a un mismo resultado final se puede llegar haciendo diferentes pasos intermedios. Lo coherente, entonces, es examinar esos pasos para ver cuáles se acercan más a la realidad.

La lluvia útil calculada por estos métodos, debe ser contrastada con la diferencia entre la precipitación que cae sobre cada sistema en cuestión y los caudales de descarga del mismo; lógicamente, cuanto más precisas sean las medidas de estas dos variables, más precisos serán los resultados del balance final.

Los métodos que dan resultados globales más coherentes con las observaciones hidrogeológicas son el balance de cloruros y el de Thornwhite a nivel diario con una cc = 50 mm. Es decir que, en principio, cualquiera de ellos podría utilizarse para el período de investigación.

En los sistemas del sector occidental de Sierra Blanca, la lluvia útil obtenida con el método de Thornwhite (22,9 hm<sup>3</sup>/año) es mayor que la calculada, suponiendo que no hay escorrentía, por el balance de cloruros (20,8 hm<sup>3</sup>/año). Podría pensarse que la diferencia entre ambos es la escorrentía, pero es que cuando se cuantifican los volúmenes de descarga medidos resulta que las salidas controlables ascienden a 12,8 hm<sup>3</sup>/año, todavía menos que la lluvia útil deducida por el balance de cloruros.

En el sistema de Coín la lluvia útil calculada por el método de Thornwhite (13,6 hm<sup>3</sup>/año) es inferior a la calculada por el balance de cloruros (15,4 hm<sup>3</sup>/año) y, también en este caso, las salidas controladas (15,4 hm<sup>3</sup>/año) y las observaciones hidrogeológicas realizadas sobre este sistema se adaptan mejor a los resultados del segundo método.

En Sierra Mijas, si se consideran las cifras obtenidas por el método de Thornwhite, resulta que habría sistemas, como los de Mijas y Benalmádena, que presentarían una lluvia útil (2,7 y 2,3 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente) del mismo orden de magnitud que

el caudal medio anual de bombeo (2,5 hm<sup>3</sup>/año en ambos casos), algo que está en desacuerdo con la importante explotación de que están siendo objeto estos sistemas.

Por tanto, se considera que el método más adecuado para el cálculo de la lluvia útil es el balance de cloruros. La evaluación de los recursos de cada uno de los sistemas hidrogeológicos, así como los del conjunto de la Unidad Blanca-Mijas, deben hacerse mediante este procedimiento.

### Escorrentía

En el sector occidental de Sierra Blanca, hay una gran diferencia en los datos de lluvia útil calculados (20,8 hm<sup>3</sup>/año) y salidas controlables (12,8 hm<sup>3</sup>/año), lo que pone de manifiesto la existencia de escorrentía superficial (8 hm<sup>3</sup>/año) sobre los mármoles. Casi todos los arroyos o barrancos que drenan superficialmente los mármoles de este sector llevan agua durante, e incluso, algunos días después de una tormenta. Esto es un hecho constatado en numerosas ocasiones a lo largo del período de investigación, aunque no ha sido posible cuantificar realmente su magnitud. En algunos casos, se ha observado que la escorrentía se debe a la descarga por niveles de karstificación situados a cotas elevadas.

En el sector oriental de Sierra Blanca, la lluvia útil calculada para el sector oriental de Sierra Blanca (sistema de Coín), por el balance de cloruros, asciende a 15,4 hm<sup>3</sup>/año y la descarga natural controlada es también de 15,4 hm<sup>3</sup>/año; por tanto, según estos datos, no existe escorrentía sobre los mármoles de este sector.

En Sierra Mijas, se ha controlado la escorrentía superficial en una cuenca experimental, situada a una distancia de 2,5 km al Oeste de Benalmádena. La cuenca ocupa una superficie de 1,8 km<sup>2</sup> y está constituida enteramente por mármoles blancos diaclasados. En el punto donde el arroyo deja de circular por mármoles, se ha realizado una estación de aforos equipada con un vertedero rectangular de doble canal y un aparato para registrar en continuo la altura de la lámina de agua y, en definitiva, el caudal de escorrentía superficial sobre los mármoles. En la cuenca experimental, y probablemente en un entorno bastante amplio dentro de Sierra Mijas, la escorrentía superficial durante el período de registro (mayo de 1993-enero de 1996) es prácticamente nula y, a efectos de cálculo del balance hidrogeológico, se considera despreciable. Estos datos contrastan con los obtenidos por Martín-Rosales *et al.* (1995) en Sierra Gádor, en un contexto geográfico y geológico parecido.

## Recursos hídricos

### *Infiltración lateral procedente de la escorrentía de Sierra Alpujata*

Este apartado se refiere sólo al sector oriental de Sierra Blanca; es decir, al sistema de Coín. El afloramiento de peridotitas y migmatitas que vierte sus aguas hacia los mármoles acuíferos ocupa una superficie de 22,4 km<sup>2</sup>. La precipitación media anual sobre dicho afloramiento es de 780 mm (17,5 hm<sup>3</sup>/año) durante el período 1963/64-1993/94 y 666 mm (14,9 hm<sup>3</sup>/año) durante el período de investigación (1990/91-1993/94).

La mayor parte del agua de lluvia caída sobre las peridotitas produce escorrentía que circula, a través de los cauces antes citados, hacia los mármoles del sector oriental de Sierra Blanca. En este sentido, cabe precisar que sólo hay dos cauces favorables a dicho proceso, puesto que los otros son ganadores a su paso por los mármoles, pero la infiltración debe ser reducida porque la escorrentía sólo se produce cuando las precipitaciones son abundantes y, entonces, el agua circula de forma rápida debido a la elevada pendiente de las cuencas. Además, el agua de escorrentía sólo circula sobre mármoles en un espacio reducido, porque la anchura del afloramiento carbonatado es pequeña (2 km).

Desde el punto de vista hidroquímico, no se han detectado procesos de mezcla de las aguas procedentes de Sierra Alpujata con las almacenadas en el acuífero carbonatado. Los contenidos en componentes químicos mayoritarios, como SiO<sub>2</sub> y Mg<sup>2+</sup>, o trazas, como Cr y Ni, característicos de las aguas que drenan peridotitas, se presentan en las aguas subterráneas del sistema de Coín, en concentraciones similares a las detectadas en otras partes de la Unidad Blanca-Mijas (Andreo, 1996).

Por consiguiente, la infiltración de la escorrentía procedente de Sierra Alpujata en los mármoles del sistema de Coín se considera nula a efectos del balance hidrogeológico correspondiente al período 1990/91-1993/94. Las entradas o recursos hídricos de la Unidad Blanca-Mijas proceden, fundamentalmente, de la infiltración del agua de lluvia que cae sobre los afloramientos de mármoles.

### *Infiltración procedente de la lluvia*

Esta componente del ciclo hidrológico incluye la alimentación, recarga o infiltración eficaz que se produce en la Unidad Blanca-Mijas, calculada como la diferencia entre la precipitación y la suma de evapotranspiración real más escorrentía. Las entradas medias anuales a la Unidad, durante el

período de investigación, ascienden a 48,7 hm<sup>3</sup>/año (tabla 4), es decir el 41,7 % de la precipitación total caída sobre la misma (116,9 hm<sup>3</sup>/año).

En el sector occidental de Sierra Blanca los recursos medios anuales son de 12,8 hm<sup>3</sup>/año (29,1 % de la precipitación), en el sector oriental de Sierra Blanca (sistema de Coín) las entradas medias anuales se cifran en 15,4 hm<sup>3</sup>/año (55,2 %) y en Sierra de Mijas los recursos son de 20,5 hm<sup>3</sup>/año (46,5 %).

Si se comparan los volúmenes de entradas y salidas (Tabla 4) se deduce que ambos datos son iguales en los sistemas del sector occidental de Sierra Blanca porque no hay explotación por bombeos. El sistema de Coín está algo explotado porque se extrae un caudal medio de 3 hm<sup>3</sup>/año superior a las entradas. Y, Sierra de Mijas, presenta una explotación importante porque se han bombeado 10,5 hm<sup>3</sup>/año más de los recursos medios anuales.

La magnitud del coeficiente de infiltración varía según los sectores considerados de la Unidad. En el sector occidental de Sierra Blanca se obtienen los valores más bajos de infiltración eficaz (entre el 25 y el 36 %), aunque la pluviometría es mayor, porque está constituido por mármoles azules calizos que dan lugar a un abrupto relieve cuya pendiente media es superior al 50 %.

En el sector oriental de Sierra Blanca, se registra el coeficiente de infiltración más elevado (55 %), porque afloran los mármoles blancos dolomíticos, generalmente muy fracturados y a veces con textura sacaroidea, que dan lugar a formas llanas en el relieve (llanos de Purla y Coín), con pendientes medias inferiores al 20 %.

En Sierra Mijas también afloran, fundamentalmente, mármoles blancos diaclasados y la pendiente es inferior al 50 % en la mayor parte de la misma; sin embargo, los coeficientes de infiltración varían entre el 37,4 % de la precipitación (sistema de Benalmádena) y el 50,5 % (sistema de Alhaurín el Grande); precisamente en este último la infiltración eficaz es mayor, a pesar de que la pendiente es más elevada, probablemente debido a que la evapotranspiración real es menor porque se encuentra en la umbría de la sierra.

Se han efectuado correlaciones lineales entre los coeficientes de infiltración eficaz obtenidos y las variables altitud, longitud (distancia a Istán) y latitud (distancia al mar), supuestamente, las variables geográficas que más deben controlar la recarga de la Unidad. Los coeficientes de correlación no son significativos en ningún caso, lo cual indica que la recarga no está controlada por alguna de ellas en particular.

La correlación entre coeficientes de infiltración y altitud es de signo negativo, porque los sistemas de

mayor altitud de recarga (los del sector occidental de Sierra Blanca) son aquellos en los que se ha detectado escorrentía superficial y la infiltración eficaz es menor, aunque la pluviometría es mayor en este sector. Sin embargo, la correlación con la distancia a Istán es positiva, al igual que con la distancia al mar y, con esta última, incluso más elevada. Todo ello pone de manifiesto que el coeficiente de infiltración es mayor donde menos llueve porque afloran los mármoles blancos diaclasados y la pendiente del relieve es menor. Por tanto, en la Unidad de Blanca-Mijas, no se pueden aplicar gradientes como el propuesto por Cardenal (1993) y Cardenal *et al.* (1994) en la Sierra de Lújar, para calcular la infiltración eficaz en función de la altitud de recarga.

**Balance hidrogeológico de la Unidad Blanca-Mijas**

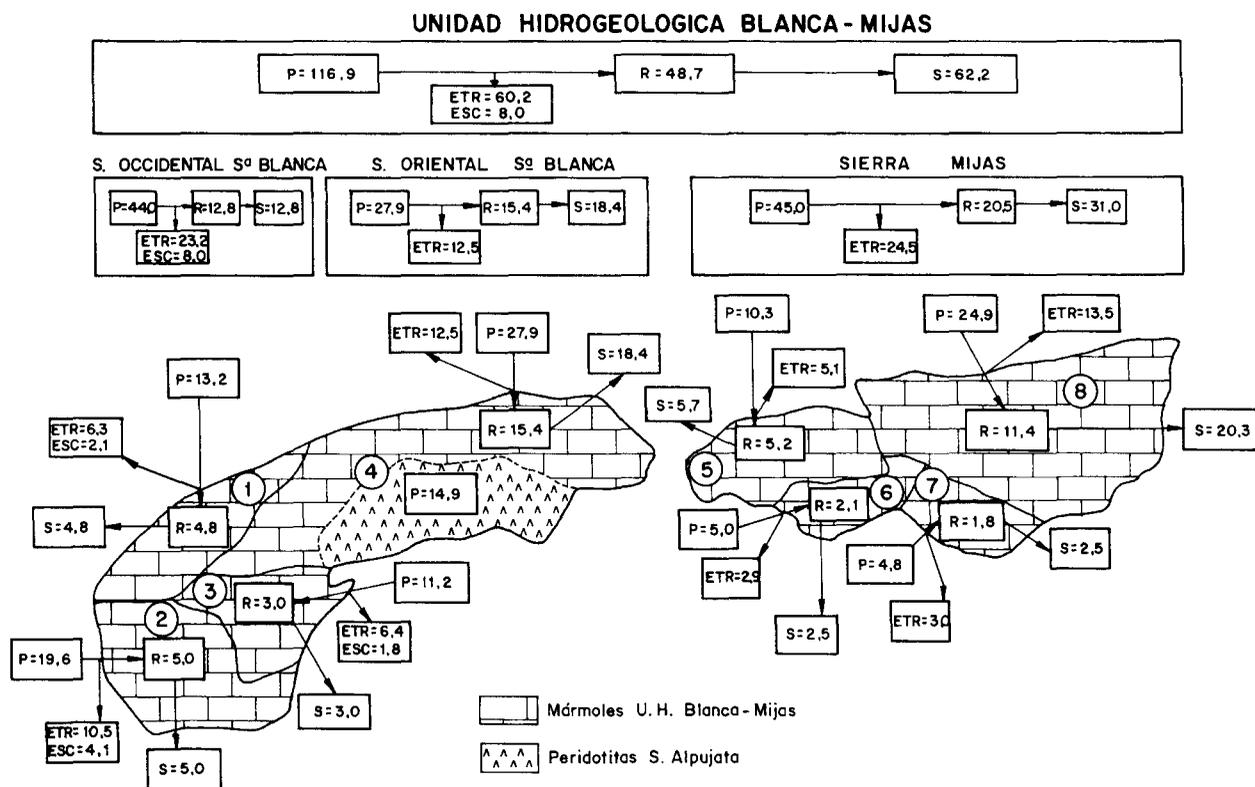
Una vez analizados los distintos componentes del ciclo hidrológico se ha llevado a cabo el balance medio anual del período de investigación (1990/91-1993/94), para la Unidad Blanca-Mijas y para cada

uno de los sistemas que la integran (tabla 4; fig. 2).

En términos generales puede indicarse que la mitad del agua de lluvia caída sobre la Unidad se ha evapotranspirado y, de la otra mitad restante, aproximadamente un 15 % ha generado escorrentía superficial y el otro 85 % ha producido infiltración. Concretamente, la cantidad de agua de lluvia que cae sobre la Unidad es de 116,9 hm<sup>3</sup>/año, una parte de la cual produce evapotranspiración (60,2 hm<sup>3</sup>/año) y escorrentía (8 hm<sup>3</sup>/año) y, la parte restante (48,7 hm<sup>3</sup>/año), constituye los recursos medios anuales durante el período de investigación. Las salidas controlables ascienden a 62,2 hm<sup>3</sup>/año (28,2 por manantiales y 34,0 por bombeos), por tanto, de la Unidad se extraen 13,5 hm<sup>3</sup>/año más de lo que entra como media anual.

En el sector occidental de Sierra Blanca la cantidad de agua de precipitación es de 44 hm<sup>3</sup>/año: 23,2 hm<sup>3</sup>/año se evapotranspiran, 8 hm<sup>3</sup>/año producen escorrentía, mientras que los 12,8 hm<sup>3</sup>/año restantes recargan a los sistemas de este sector y, posteriormente, salen por los manantiales.

En el sector oriental de esta Sierra Blanca la cantidad de agua de lluvia que cae es de 27,9 hm<sup>3</sup>/año, de



los cuales 12,5 hm<sup>3</sup>/año sufren evapotranspiración y los 15,4 hm<sup>3</sup>/año restantes se infiltran, drenándose posteriormente por los manantiales. Además, en el sistema de Coín se está explotando mediante bombeos un volumen de agua de 3 hm<sup>3</sup>/año.

En Sierra Mijas la precipitación media ha sido de 45 hm<sup>3</sup>/año: 24,5 hm<sup>3</sup>/año se evapotranspiran y los 20,5 hm<sup>3</sup>/año restantes se infiltran, porque la escorrentía se considera despreciable. Las salidas controlables tienen lugar exclusivamente por bombeos y ascienden a 31,0 hm<sup>3</sup>/año; es decir, en Sierra Mijas hay una explotación de reservas de agua cifrable en 10,5 hm<sup>3</sup>/año.

### Conclusiones

Durante el período 1990/91-1993/94, la precipitación media sobre las Sierras Blanca y Mijas ha sido de 116,9 hm<sup>3</sup>/año, una parte de la cual (60,2 hm<sup>3</sup>/año) se ha evapotranspirado y el resto (56,7 hm<sup>3</sup>/año) constituye la lluvia útil. A su vez, de esta lluvia útil, 8 hm<sup>3</sup>/año han generado escorrentía y 48,7 hm<sup>3</sup>/año han producido infiltración eficaz. Las salidas controlables durante el período de estudio ascienden a 62,2 hm<sup>3</sup>/año: 28,2 hm<sup>3</sup>/año se descargan por los manantiales de Sierra Blanca y 34 hm<sup>3</sup>/año por bombeos practicados fundamentalmente en Sierra Mijas; es decir, que se han extraído 13,5 hm<sup>3</sup>/año más de lo que entra como media anual.

En el área de trabajo, el método más adecuado para el cálculo de la lluvia útil es el balance de cloruros porque es el que más se adapta a los volúmenes conocidos de entradas y salidas, para cada uno de los sistemas acuíferos y para la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas en su conjunto. El método de Thornwhite a nivel diario con una capacidad de campo de 50 mm da unos resultados aceptables a escala de la Unidad Hidrogeológica, pero no a nivel de los sistemas acuíferos. Por otra parte, los métodos de Turc, Coutagne, Kessler, Thornwhite con datos termopluviométricos mensuales (capacidades de campo de 25 y 50 mm) y Thornwhite con datos diarios (capacidad de campo de 25 mm) no permiten obtener resultados coherentes con los datos hidrogeológicos disponibles.

La infiltración eficaz es mayor en el sector oriental de Sierra Blanca y en Sierra Mijas, donde llueve menos y las altitudes de recarga son más bajas, porque afloran mármoles blancos diaclasados, a veces sacaroideos y la pendiente topográfica es menor del 50 %. En el sector occidental de Sierra Blanca, donde más llueve, se encuentran los sistemas de mayor altitud de recarga, pero la infiltración eficaz es menor porque la pendiente del relieve es mayor

y, además, en los mármoles azules que allí afloran existen niveles superficiales de karstificación, que facilitan la escorrentía superficial. Por tanto, en la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas, no se pueden aplicar gradientes para calcular la infiltración eficaz a partir de la altitud de recarga.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PB94/1495 de la DGICYT y por el Grupo de Recursos Hídricos de la Junta de Andalucía. Se agradece al Dr. Manuel Olías Álvarez la ayuda prestada en relación con el programa SIMU.

### Referencias

- Andreo, B. (1996). *Estudio hidrogeológico de los mármoles alpujárrides de las Sierras Blanca y Mijas. Contribución al conocimiento de los acuíferos carbonatados del Sur de España*, tesis doctoral, Univ. de Granada, 492 págs.
- Andreo, B., Carrasco, F., y Sanz de Galdeano, C. (1996a). Types of carbonate aquifers according to the fracturation and the karstification in a southern Spanish area. *Environ. Geol.*, 28, 1-11.
- Andreo, B., Carrasco, F., Vadillo, I., y Liñán, C. (1996b). Características hidrogeológicas de las Sierras Blanca y Mijas (provincia de Málaga, Cordillera Bética). *Geogaceta*, 20, 1267-1270.
- Andreo, B., y Sanz de Galdeano, C. (1994). Structure of the Sierra Mijas (Alpujarride Complex, Betic Cordillera). *Ann. Tectonicae*, 3, 23-35.
- Appelo, C. A. J., y Postma (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*, A. A. Balkema, Rotterdam, 536 págs.
- Barón, A., Fayas, J. A., y González, C. (1984). Estudio hidrogeológico de un manantial kárstico intermitente. Las ufanas de Gabelli (Mallorca). Posibilidades de regulación. *I Congreso Español de Geología*, Segovia, 4, 41-51.
- Blavoux, B., Mudry, J., y Puig, J. M. (1992). Bilan, fonctionnement et protection du système de la Fontaine de Vaucluse (sud-est de la France). *Geodinamica Acta*, 5, 153-172.
- Cardenal (1993). *Hidrogeología del sector Sierra Lújar-Albuñol (provincia de Granada)*, tesis doctoral, Univ. de Granada, 402 págs.
- Cardenal, J., Benavente, J., y Cruz-Sanjulián, J. J. (1994). Contenido en cloruros de las precipitaciones al Sur de Sierra Nevada (Granada). Aplicación a la evaluación de los recursos hídricos. *Geogaceta*, 16, 3-6.
- Dupuy de Lôme, E. (1923). *Estudio acerca de la cuenca hidrográfica de la Sierra de Mijas o Torremolinos*, Excmo. Ayuntamiento de Málaga, 21 págs.
- IGME (1983). *Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España. Sistema acuífero n.º 38 (Mármoles de Sierra Blanca-Mijas)*, informe técnico n.º 6, 2 tomos.
- IGME (1985). *Estudio del sistema acuífero n.º 38 (Sierra Blanca-Sierra Mijas). Hidrogeología, calidad y utilización del agua*, 5 tomos.

- ITGE (1992). *Informe sobre la situación actual del acuífero carbonatado de Sierra Blanca-Sierra Mijas (Málaga)*. Cuenca Sur, nota técnica n.º 389, 1 tomo.
- ITGE-ETSIM (1991). *Programas de apoyo informático a la hidrogeología (PAI). Evaluación de aportaciones (HIDROBAS)*, Madrid, 34 págs.
- López-Vera, F. y Saiz, J. (1975). Cálculo de la infiltración eficaz en materiales carstificados. Aplicación al macizo cárstico de Cabra (Córdoba). *Tecniterrae*, 32-41.
- Martín-Rosales, W., Pulido, A., y Vallejos, A. (1995). Mecanismos generadores de escorrentía en la vertiente de Sierra Gádor (Almería). *Geogaceta*, 18, 134-137.
- Mollat, H. (1968). Schichtenfolge und tektonischer Band der Sierra Blanca und ihrer Umgebung. *Geol. Jb.*, 86: 471-532.
- Padilla, A., y Pulido, A. (1986). El programa EVADIA para evaluación automática de la lluvia útil a nivel diario. *II Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 2, 631-636.
- Rodríguez-Vidal, J. (1982). El condicionamiento estructural del karst de la Sierra Blanca (Marbella-Málaga). *Reunión Monográfica Karst*, Larra, 105-115.
- Sanz de Galdeano, C., y Andreo, B. (1995). Structure of Sierra Blanca (Alpujarride Complex, West of the Betic Cordillera). *Estudios Geol.*, 173-186.
- Schoeller, H. (1962). *Les eaux souterraines*, Masson, París, 642 págs.
- SGOP (1992). *Recopilación de datos hidrogeológicos de la Unidad Hidrogeológica Sierra Blanca-Sierra Mijas*, 1 tomo.
- Tubía, J. M. (1985). Sucesiones metamórficas asociadas a rocas ultramáficas en los Alpujarrides occidentales (Cordilleras Béticas, Málaga), tesis doctoral, Univ. del País Vasco. *Bol. Geol. Min.*, 99, 1988.

Recibido el 26 de diciembre de 1996.

Aceptado el 6 de marzo de 1997.

## CORRECCION

**Evaluación de recursos hídricos de las Sierras Blanca y Mijas (Málaga), *Estudios Geol.*, 53, 33-44 (1997).**

En la Tabla 2 faltaban los valores de evapotranspiración real y lluvia útil de Sierras Blanca y Mijas (SB-SM), y los de lluvia útil de Torremolinos. Esta es la tabla completa.

**Tabla 2.—Valores de evapotranspiración real (ETR) y de lluvia útil (PU), calculados a partir de los datos termopluviométricos registrados en las estaciones del área de estudio. Todas las cifras están expresadas en mm.**

	Sector occidental Sierra Blanca						SEB				Sierra Mijas								SB-SM				
	Istán		Marbella		Ojén		Cóin		Alhaurín el Grande		Mijas		Benalmádena		Alhaurín de la Torre		Manantiales		Torremolinos				
	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	ETR	PU	
Turc	90-94	609	127	561	81	627	137	511	40	537	50	554	61	511	38	485	37	523	53	449	25	537	65
	64-94	621	150	561	127	670	211	516	72	523	76	606	134	554	94	469	66	610	159	474	49	560	114
	mAH	772	374	763	333	844	543	681	206	685	216	800	367	737	285	741	264	785	372	630	144	744	310
	mAS	500	39	417	69	553	66	386	8	396	11	462	23	482	45	325	7	517	47	390	12	443	33
Coutagne	90-94	565	171	514	127	583	181	461	90	485	102	502	113	461	89	439	83	475	100	418	56	490	111
	64-94	616	155	520	152	677	203	477	111	483	115	554	187	510	138	442	94	558	211	442	81	528	145
	mAH	959	187	713	383	1.097	289	626	262	628	274	741	426	678	344	693	312	725	432	579	195	744	310
	mAS	451	87	391	45	503	116	367	27	378	29	416	70	457	70	313	20	468	95	366	36	411	59
Thornwhite mensual cc = 50 mm	90-94	407	329	415	227	413	350	356	195	364	224	376	273	357	200	332	191	353	223	340	135	371	235
	64-94	378	393	359	313	384	492	324	271	328	270	349	396	321	297	302	238	374	396	316	207	343	327
	mAH	419	740	381	727	413	987	354	558	356	545	375	794	362	661	365	624	415	742	354	420	379	680
	mAS	322	216	304	132	332	273	271	123	280	127	296	215	269	170	252	103	312	252	279	123	292	173
Thornwhite mensual cc = 25 mm	90-94	376	360	387	254	386	378	328	223	336	251	348	301	328	229	304	218	327	249	313	162	343	262
	64-94	349	422	331	341	355	522	296	299	300	298	318	427	291	327	272	260	345	424	287	236	314	356
	mAH	388	765	350	752	378	1.016	326	586	327	573	344	826	332	690	331	657	383	774	326	448	348	709
	mAS	292	247	278	158	302	302	245	149	254	153	264	247	240	198	223	109	287	277	250	151	263	199
Th <sub>d</sub> cc = 50	90-94	391	394	474	330	390	389	313	268	323	254	400	352	374	266	298	247	371	271	277	170	361	294
Th <sub>d</sub> cc = 25	90-94	316	467	402	404	301	478	271	311	264	317	344	408	322	318	231	312	317	326	220	227	299	357
Kessler	90-94	333	403	267	374	279	485	239	312	237	350	275	371	232	317	209	313			198	277	252	356
	64-94	342	428	277	395	368	513	268	320	269	329	324	424	295	352	229	306			227	296	289	374
	mAH	476	671	375	721	555	832	335	553	361	541	450	717	511	511	419	587			340	435	425	619
	mAS	255	283	187	249	282	337	180	214	189	218	221	289	260	266	142	191			168	234	209	253
Cloruros	90-94	351	385	344	298	436	328	247	304	291	297	377	269	344	205	251	271			257	218	322	286

Th<sub>d</sub> = Thornwhite con datos diarios, cc = capacidad de campo; el resto misma leyenda que tabla 1.