

CONTRIBUCIÓN A LA DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES RÍO-ACUÍFERO DE ALGUNOS CAUCES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO SEGURA EN LAS SIERRAS DE SEGURA-CAZORLA

COBOS FERNÁNDEZ, Juan Ramón

Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Ríos Rosas 23 28003 Madrid. E-mail: jr.cobos@igme.es

PALABRAS CLAVE: recurso, aforo diferencial, relación río-acuífero, funcionamiento hidrogeológico, regulación, Alto Segura.

RESUMEN

En la cabecera de la cuenca del río Segura, entre las provincias de Albacete y Jaén, este río y sus afluentes atraviesan, en algunos tramos, dos tipos de formaciones permeables: la formación dolomítica del Cenomaniense-Turoniense y la formación calcárea del tránsito Jurásico-Cretácico. Mediante la realización de una serie de aforos diferenciales, ha sido posible determinar la existencia de relaciones río-acuífero estableciéndose un esquema de funcionamiento hidrogeológico entre las distintas áreas de recarga de ambas formaciones con respecto a los aportes subterráneos hacia los cauces.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra en las sierras de Segura y Cazorla, en la parte centro-oriental de la Cordillera Bética situada en el SE de la Península Ibérica, interesando a las provincias de Albacete y Jaén (Fig. 1). Se trata de una zona montañosa de orografía complicada con profundos valles excavados por los ríos en las formaciones calcáreas del Cretácico. El río Segura nace en el municipio de Santiago-Pontones, al O de Santiago de la Espada, dirigiéndose hacia el NE y conformando el eje hidrográfico más importante. En su recorrido recibe una serie de afluentes entre los que destacan los ríos Madera y Tus, por la margen izquierda y el río Zumeta y Taibilla, por la derecha. El embalse de la Fuensanta se sitúa en la salida de esta zona del río Segura, en la parte NE.

Existen otros dos embalses, uno en el Segura (Anchuricas) y otro en el Zumeta (La Novia), de los que se deriva agua para mover el salto hidroeléctrico de Miller, situado junto a la confluencia de ambos ríos.

La población es escasa; los principales núcleos son Yeste y Nerpio, con 4.657 y 1.792 hab., respectivamente (1998), ambos en la provincia de Albacete. La actividad agropecuaria es escasa, caracterizada por una agricultura de montaña y una ganadería extensiva, centradas en el entorno de los núcleos principales. En el resto, existen pedanías dispersas situadas normalmente junto a manantiales, así como zonas de monte y bosques. Merece destacar que la parte perteneciente a la provincia de Jaén conforma el denominado “Parque Natural de las sierras de Segura, Cazorla y las Villas”.

Esta comunicación está encuadrada dentro de las actividades previstas en el Convenio de Colaboración de la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH) y el IGME para el año 2001.

GEOLOGÍA

La Cordillera Bética se divide en tres zonas siguiendo criterios tectónicos y sedimentarios según Azema et al. (1979) y García Hernández et al. (1980) (en IGME, 1983). Dichas zonas se distribuyen desde la parte externa a la interna de la cadena, de la forma siguiente:

- Zona Prebética
- Zona Subbética
- Zona Bética

Esta zona de estudio, se encuentra situada dentro del Prebético Interno (Jerez, 1973; en IGME, 1983). Las formaciones que afloran son mayoritariamente carbonatadas, abarcando desde el límite entre el Jurásico-Cretácico hasta el Mioceno. Las formaciones detríticas, menos abundantes, se distribuyen entre las formaciones carbonatadas marcando en algunos tramos los límites entre acuíferos y unidades.

Jurásico-Cretácico inferior

Constituido por una formación carbonatada, presenta intercalaciones de margas y localmente, algunos niveles detríticos (García Hernández, Rivas y Vera, 1980; en IGME, 1983). Aflora en dos puntos, en el núcleo del Anticlinal del río Segura y en el río Tus, junto al balneario de mismo nombre.

Cretácico inferior

Este conjunto está formado por una alternancia de formaciones carbonatadas y detríticas, correspondiente a dos ciclos sedimentarios que abarcan desde el Barremiense al Bedouliense el primero, y desde el Gargasiense al Albiense el segundo (García

Hernández en Martín et al., 1985), culminados por la Formación Utrillas compuesta por arenas con intercalaciones de margas y algo de calizas. Aflora con cierta amplitud en los valles del río Segura y sus afluentes.

Cretácico superior

Sobre la Formación Utrillas se dispone la formación dolomítica del Cenomaniense-Turonense. En el resto se puede diferenciar una formación carbonatada perteneciente al Senoniense superior. El Senoniense inferior representa una laguna estratigráfica debido a que una parte del Prebético interno pudo estar emergida (Azema, 1977; en IGME, 1983). Aflora desde media ladera de los valles hasta las culminaciones más importantes de la zona.

Paleógeno

El Paleoceno y Eoceno están representados por calizas y areniscas depositadas en medios marinos someros (Dabrío, 1972 y Jerez, 1973; en IGME, 1983). El Eoceno superior y el Oligoceno inferior suelen faltar por lo que esta zona pudo estar emergida en ese período (Jerez, 1973 y Azema, 1977; en IGME, 1983). El Oligoceno superior está representado por una formación detrítica continental constituida por margas, arenas y cantos de cuarcita (Dabrío, 1972 y Jerez, L 1973; en IGME 1983, "Geología de España"). Aflora en áreas próximas a Nerpio, en la parte media del río Taibilla.

Mioceno inferior-medio

Compuesto por una formación de calizas arenas y margas del Aquitaniense en la base. El Mioceno medio está formado por margas con niveles arenosos turbidíticos (Hoedemaeker, 1973; en IGME, 1983) desde el Burdigaliense superior hasta la base del Serravaliense. Estos materiales afloran en las partes más altas, al S de Yeste en la Umbría de Tinjarra.

ESTRUCTURA

Dentro del Prebético interno cabe destacar una serie de estructuras que denotan una diferente respuesta tectónica según los distintos materiales y zonas con respecto a unos mismos impulsos tectónicos. Así, existe una clara disarmonía entre el plegamiento, generalmente más fuerte, del Cretácico inferior con respecto al Cretácico superior. Esto es debido a la presencia de mayor proporción de materiales incompetentes en el Cretácico inferior (margas, margocalizas, etc.). Es observable tanto en zonas externas como al O del Calar de la Sima, como en el anticlinal de la Sierra de la Muela, situado más al E.

En el sector noroeste del Prebético interno, los pliegues configuran en su conjunto una doble inflexión en “S”, es decir, con sus ramas extremas orientadas NNE-SSO (N30 a N40) y la rama central de dirección N-S. Esta configuración puede responder a la reacción de la cobertera frente a desgarre profundos del Zócalo en un sistema solidario a la Falla de Socovos, de carácter dextral y orientación NO-SE.

El encajamiento de la red fluvial se ha realizado, preferentemente, a través de las zonas de debilidad que ofrecen las charnelas de los anticlinales que resuelven su inflexión mediante fractura en los materiales mayoritariamente competentes del Cretácico superior. Este encajamiento ha dado como resultado que el paquete dolomítico del Cenomaniense-Turoniense haya quedado colgado con respecto al cauce del río Segura y algunos de sus afluentes dando como resultado un relieve invertido donde los sinclinales se sitúan en las elevaciones topográficas y los anticlinales en los valles.

Por otro lado, en el sector sureste, más influenciado por el empuje tectónico procedente de este sentido y en combinación con la disarmonía del Cretácico inferior, ha resuelto la deformación producida mediante pliegues de vergencia NO alguno de ellos invertido, otros fallados e incluso pequeñas escamas de cabalgamiento de 1 ó 2 km de desplazamiento a favor de despegues producidos sobre los materiales incompetentes del Aptiense-Albiense. Cabe destacar las escamas existentes en el Calar de Pilillas, el pliegue-falla con flanco NO invertido de Sege, pliegues con fallas normales de distensión en la parte occidental del Anticlinal de Socovos formando una especie de “horts” y “gravens” e incluso pliegues invertidos y escamas de retrocabalgamiento en la parte oriental del mismo (Rodríguez Estrella, 1978).

HIDROGEOLOGÍA

La zona de estudio está enclavada en la Unidad Hidrogeológica 07.14 Segura-Madera-Tus. La formación dolomítica del Cenomaniense-Turoniense (acompañada en ocasiones de formaciones calcáreas del Senoniense) conforma una serie de acuíferos de relieve invertido, donde los anticlinales coinciden con los valles y los sinclinales con la culminación de los mismos, dando lugar a los denominados calares y cuyo impermeable relativo de base lo constituye la Formación Utrillas de arenas y arcillas. La formación carbonatada del tránsito Jurásico-Cretácico (Malm-Aptiense inferior) aflora de forma dispersa allí donde la incisión lineal de los ríos ha desmantelado las formaciones suprayacentes o donde las fallas han actuado, poniéndola en contacto con formaciones más recientes. Esta formación carbonatada ofrece tres tipos de afloramientos:

- Fondo de valle. Forman acuíferos que mantienen relación de transferencia con el río que los atraviesa.
- Conectados a la formación dolomítica. Mediante fallas, existen conexiones con acuíferos de la formación dolomítica del Cenomaniense-Turoniense.
- Aislados. También mediante fallas, pueden ponerse en contacto con formaciones de baja permeabilidad del Cretácico inferior. En este caso, no poseen surgencias importantes.

Existen otras formaciones secundarias de menor extensión como es el caso de las calizas del Eoceno en la Loma del Sapillo en el área de Nerpio, junto con calizas del Mioceno en la Sierra de Góntar, en el Calar de Pilillas y en el Calar de Cobos.

De forma marginal a la zona de estudio en su parte oriental y ocupando la vertiente derecha del valle del río Segura, se sitúa el citado acuífero de Góntar perteneciente a la Unidad Hidrogeológica 07.07 Fuente Segura-Fuensanta, cuya formación principal es la de dolomías del Cenomaniense-Turoniense. Los afloramientos dolomíticos son más continuos debido a que en esta unidad la incisión lineal de los cursos fluviales está menos desarrollada y por lo tanto no han podido disectarlos. Se ha considerado una división en acuíferos a partir de las fallas dextrales NO-SE a pesar de no desconectar totalmente esta formación dolomítica, por lo que constituyen límites abiertos.

Relaciones río-acuífero

Acuífero de Tus

Situado en el río Tus entre el balneario de mismo nombre y una zona al E de Moropeche a lo largo de una banda de 8 km de longitud y 1 km de anchura, posee 7.6 km² de extensión superficial.

Las medidas de caudal de las secciones de aforo se expresan en la tabla 3.

FECHA	SECCIONES Y CAUDALES (l/s)			
	2334-6-SEA (1) AYO. LA TEJERA	2334-6-STB (2) TUS-BALNEARIO	2334-6-STA (3) TUS-PTE. YESTE	(3)-(2)-(1)
24-4-1997	59.58	2061.57	2239.53	118.38
16-7-1997	8.00	417.50	396.74	-28.76

Tabla 3. Secciones de aforo y caudales en el río Tus sobre el acuífero de Tus.

En la primera campaña, el caudal del río Tus aumenta un 5.6 % con 118.38 l/s, mientras que en la segunda disminuye en un 6.8 % con 28.76 l/s. Estos porcentajes de aumento o disminución de caudal quedan dentro del error de medida, por lo que si existe relación río-acuífero, no debe ser importante en caudal. No obstante parece que estos resultados pudieron indicar el hecho de que en esa primavera, el caudal del río recibió aportes subterráneos provenientes de la infiltración de la lluvia útil y que en verano, durante el estiaje, el equilibrio se resolvió cediendo agua al acuífero disminuyendo el caudal superficial, tal y como se observa en el gráfico de precipitaciones de la estación próxima 7063 Yeste-Villar de Tus (gráfico 1).

Es difícil establecer un balance de pérdidas y ganancias de caudal con tan sólo dos campañas, puesto que se observa en el gráfico otros períodos más lluviosos (diciembre de 1996) y más secos (verano de 1996).

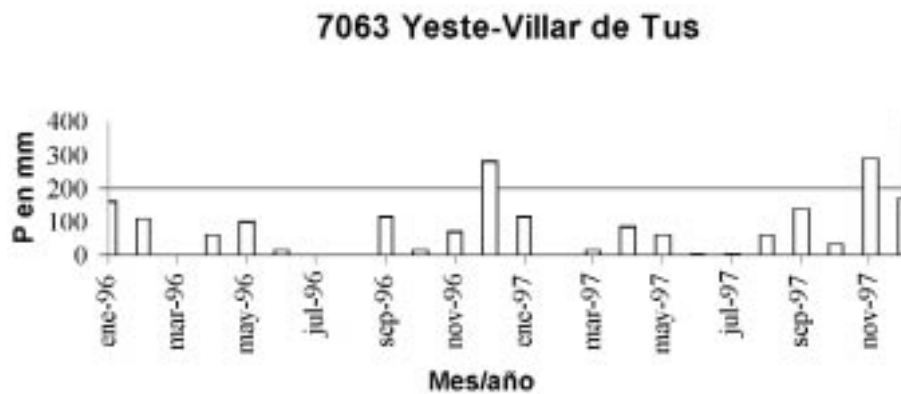


Gráfico 1. Pluviometría de la estación 7063 Yeste-Villar de Tus en 1996 y 1997.

La longitud del tramo de medida es de 1.9 km por lo que el caudal unitario osciló en las dos medidas entre -15.1 y 62.3 l/s/km.

Acuífero de Parolís

Situado en el río Segura entre Parolís y Quebrañalejos, se dispone en una banda sinuosa de 3.2 km² de extensión. Se han realizado aforos en 6 secciones, 4 en el mismo río y otras 2 en arroyos que desembocan a lo largo de este tramo y cuyos caudales hay que descontar de los aforos diferenciales. La estación meteorológica más próxima es la 7070 Yetas (Gráfico 2). En la tabla 4 se expresan los caudales de la primera parte del tramo.

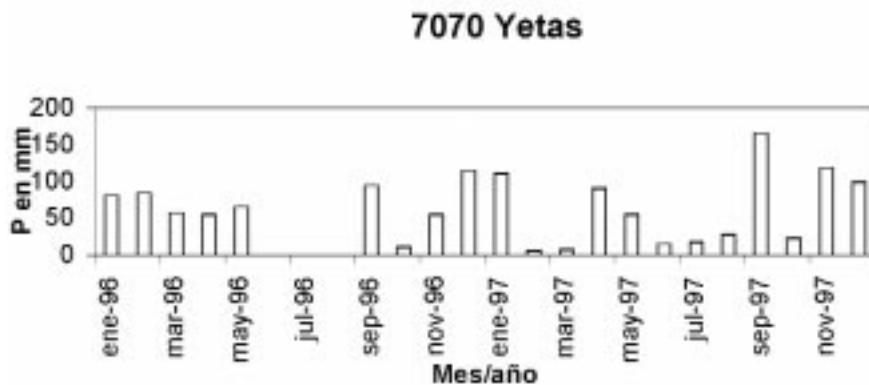


Gráfico 2. Pluviometría de la estación 7070 Yetas en 1996 y 1997.

FECHA	SECCIONES Y CAUDALES (l/s)		
	2335-2-SSE (1) RÍO SEG.- PAROLÍS	2335-2-SSD (2) R.SEG.- CHORREONES	(2)-(1)
5-11-1996	429.19	489.74	60.55
16-4-1997	1818.81	2094.05	275.24
23-7-1997	382.26	481.37	99.11
6-11-1997	1115.71	1239.38	123.67

Tabla 4. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre el acuífero Parolís.

En este tramo parecen coincidir las ganancias de caudal de noviembre de 1997 con el período de mayor pluviometría de los meses de octubre y noviembre del mismo año, así como de menor pluviometría con menor caudal en noviembre de 1996. La medida de abril de 1997 debe descartarse por situarse dentro de una onda de liberación de caudal, en la Central Hidroeléctrica de Miller, situada aguas arriba, tal y como se explicará más adelante.

Descartando la anómala medida de abril de 1997, el río gana un caudal de entre 60.55 y 123.67 l/s con una media de 94.44 l/s en un tramo de 2.6 km de longitud, por lo que se obtiene un caudal unitario de 36.32 l/s/km. Los incrementos de caudal se sitúan entre el 10.0 % y el 20.6 %.

En la segunda parte de este tramo se sitúan las secciones 2335-2-SSD y 2335-2-SSC sobre el río Segura y las secciones 2335-1-SAA y 2335-2-SMA sobre los arroyos tributarios de Alcantarilla y Madera, respectivamente (tabla 5).

FECHA	SECCIONES Y CAUDALES (l/s)				
	2335-2-SSD (1) PTE. CHORR.	2335-1-SAA (2) ALCANTAR I.	2335-2-SMA (3) A. MADERA	2335-2-SSC (4) ANTEGIL	(4)-(3)-(2)-(1)
Oct-Nov-1996	489.74	61.29	24.94	543.42	-32.55
16-4-1997	2094.05	25.81	70.52	805.57	-1384.81
23-7-1997	481.37	20.00	12.99	549.39	35.03
6-11-1997	1239.38	59.19	119.06	1691.73	274.10

Tabla 5. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre el acuífero Parolís.

En este tramo se produce la pérdida de caudal de 1384.81 l/s el 16 de abril de 1997, motivada por el frente de una onda de avenida producida en la Central Hidroeléctrica de Miller. El dato de octubre-noviembre de 1996 es dudoso puesto que la fecha de medida de los caudales de los afluentes, arroyo Alcantarilla y arroyo Madera es diferente a la de las secciones del río Segura. Parece que los aforos diferenciales más fiables son los de julio y noviembre de 1997, este último con un aumento del 16.2 % y 274.10 l/s, tras un mes de octubre relativamente lluvioso.

Este tramo tiene tan sólo 1.3 km de longitud, por lo que para los caudales fiables obtenidos de entre 35.03 y 274.10 l/s, se obtiene un caudal unitario de 26.9 y 210.8 l/s/km, respectivamente.

En la tercera parte del tramo (tabla 6) se tuvieron en cuenta las mediciones a partir de las secciones 2335-2-SSC (río Segura-Antegil) y 2335-3-SSC (río Segura-Puente de la Graya).

FECHA	SECCIONES Y CAUDALES (l/s)		
	2335-2-SSC (1) R. SEGURA- ANTEGIL	2335-3-SSC (2) PTE. DE LA GRAYA	(2)-(1)
5-11-1996	543.42	688.39	144.97
16-17-4-1997	805.57	968.61	163.04
23-7-1997	549.39	664.11	114.72
6-11-1997	1691.73	1970.93	279.20

Tabla 6. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre el acuífero Parolís.

A grandes rasgos, las ganancias de caudal siguen una pauta parecida a la del primer tramo de este acuífero, aproximándose los mayores caudales a los períodos más lluviosos de abril y octubre-noviembre de 1997, si bien el caudal unitario es menor, puesto que con un aumento medio de 175.48 l/s en una longitud mayor, de 7.4 km, se obtiene un caudal unitario de tan sólo 23.71 l/s/km. En porcentaje, los incrementos de caudal oscilaron entre el 14.2 % y el 21.1 %.

En resumen, tomando las secciones de aforo más extremas y detrayendo los caudales de los afluentes, se obtienen los datos de la tabla 7.

FECHA	SECCIONES Y CAUDALES (l/s)				
	2335-2-SSE (1) PAROLÍS	2335-1-SAA (2) ALCANTAR I.	2335-2-SMA (3) MADERA	2335-3-SSC (4) GRAYA	(4)-(3)-(2)-(1)
5-11-1996	429.19	61.29	24.94	688.39	172.97
16-17-4-1997	1818.81	25.81	70.52	968.61	-946.53
23-7-1997	382.26	20.00	12.99	664.11	248.86
6-11-1997	1115.71	59.19	119.06	1970.93	676.97

Tabla 7. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre el acuífero Parolís.

En esta tabla general, se observa también la anomalía detectada en abril de 1997 y producida por la onda de avenida ya citada. Si se consideran como más fiables las medidas de julio y noviembre de 1997, se obtiene una media de 462.92 l/s, equivalentes a 14.6 hm³/año a favor del río Segura que, en una longitud total de 6.0 km de afloramientos permeables, se obtiene un caudal unitario de 77.2 l/s/km. El incremento de caudal osciló entre el 34.3 % y el 37.5 %.

Acuífero de las Juntas

Se encuentra situado en la confluencia del río Zumeta en el Segura, continuando su desarrollo hasta 5 km aguas abajo. Posee una extensión de 9.1 km².

El río Segura se ha controlado a partir de 5 secciones de aforo, dos en el propio cauce y tres sobre arroyos que desembocan dentro de este tramo (tabla 8).

FECHA	SECCIONES Y CAUDALES (l/s)					
	2335-5-SSA (1) LAS JUNTAS	2335-5- SCA(2) HORNOS	2335-1- SCA(3) LA MORA	2335-1- SEA(4) ESPINEA	2335-2- SSE (5) PAROLÍS	(5)-(4)-(3)- (2)-(1)
16-4-1997	476.77	2.23	8.26	67.76	1818.81	1263.79
23-7-1997	334.48	0.25	2.00	24.38	382.26	21.15
6-11-1997	689.89	2.00	10.00	204.61	1115.71	209.21

Tabla 8. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre el acuífero Las Juntas.

Se detecta la misma anomalía que en el acuífero Parolís en el mes de abril de 1997, tan sólo que esta vez ocurre a la inversa; el río gana caudal en una proporción excesiva debido al paso de la onda de avenida citada. Si se desprecia la medida de ese mes, el río gana un caudal que oscila entre los 21.15 y 209.21 l/s con 115.18 l/s de media, equivalentes a 3.6 hm³/año. La longitud del tramo de medida es de 7.6 km por lo que la variación en su caudal unitario oscila entre 2.8 y 27.5 l/s/km, con una media de 15.2 l/s/km. El incremento de caudal osciló entre el 5.5 % y el 18.8 %.

La pluviometría de la estación meteorológica 7059 Arguellite, parece ajustarse mejor que la de 7070 Yetas a los caudales de este tramo (gráfico 3).

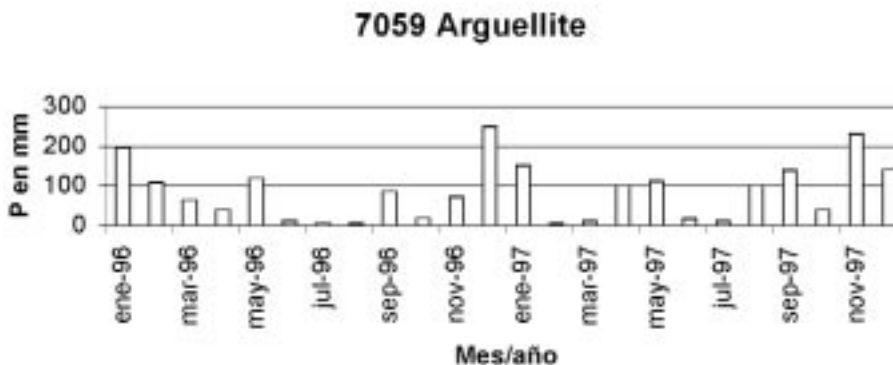


Gráfico 3. Pluviometría de la estación 7059 Arguellite en 1996 y 1997.

Aquí, el contraste de precipitaciones entre julio y octubre-noviembre de 1997 es más acusado que en la estación anterior, correspondiéndose también con la mayor diferencia de ganancia de caudal registrado en esos meses.

Relación río acuífero en los afloramientos de las Juntas y Parolís

Dentro de las formaciones del Cretácico inferior en contacto con el río Segura en el tramo que incluye estos afloramientos, es decir, entre la desembocadura del río Zumeta en el Segura (las Juntas) y el puente de la Graya (18.9 km de recorrido), se pueden establecer unas relaciones río-acuífero donde el río Segura aumenta su caudal, una vez discriminados los caudales provenientes de los cursos afluentes (tabla 9).

FECHA	CAUDALES Y TRAMOS				
	JUNTAS-PAROLÍS	PAROLÍS-CHORREONES	CHORREONES-ANTEGIL	ANTEGIL-GRAYA	BALANCE DE CAUDAL
Oct-Nov-1996	-	60.55 l/s	-32.55 l/s	144.97 l/s	> 172.97 l/s
	-	23.3 l/s/km	-25.0 l/s/km	19.6 l/s/km	> 9.2 l/s/km
16-4-1997	1263.79 l/s	275.24 l/s	-1384.81 l/s	163.04 l/s	317.26 l/s
	166.3 l/s/km	105.9 l/s/km	-1065.2 l/s/km	22.0 l/s/km	16.8 l/s/km
23-7-1997	21.15 l/s	99.11 l/s	35.03 l/s	114.72 l/s	270.01 l/s
	2.8 l/s/km	38.1 l/s/km	26.9 l/s/km	15.5 l/s/km	14.3 l/s/km
6-11-1997	209.21 l/s	123.67 l/s	274.10 l/s	279.20 l/s	886.18 l/s
	27.5 l/s/km	47.6 l/s/km	210.8 l/s/km	37.7 l/s/km	46.9 l/s/km

Tabla 9. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre los acuíferos Parolís y Las Juntas.

Se observa que en los meses de abril y julio de 1997, la ganancia en caudal fue muy parecida (317.26 y 270.01 l/s respectivamente) a pesar de que en abril se observó una fuerte pérdida de caudal en el tramo entre el puente de los Chorreones y Antegil (1384.81 l/s), que curiosamente estaba compensada aguas arriba por la ganancia de 1263.79 l/s en el tramo de Las Juntas-Parolís. La explicación más probable a esta anomalía puede venir dada por la existencia de la Central Hidroeléctrica de Miller junto a la confluencia de los ríos Segura y Zumeta.

Esta central funciona con los volúmenes acumulados en los embalses de Anchuricas en el primer río y de la Novia en el segundo. La central se suele poner en funcionamiento por la mañana, elevando el caudal del río Segura hasta los 15 m³/s. La onda de avenida que se produce circula a una velocidad de unos 4 km/h. Posee tres turbinas que, dependiendo de las necesidades energéticas, pueden funcionar a la vez o tan sólo alguna de ellas liberando con ello más o menos caudal. Funciona unas 5 ó 6 horas, por lo que al cabo de ese tiempo y cuando ha pasado la onda de avenida, se puede medir el caudal del río, mientras que los embalses se vuelven a rellenar. Lleva, por tanto un caudal regulado menor que el de régimen natural.

La anomalía detectada en abril de 1997, pudo haberse debido probablemente a la liberación de un caudal postrero al funcionamiento de la central, que provocó una onda de avenida de algo más de 1 m³/s. Es por ello que entre el puente de los Chorreones y Antegil se detectó una pérdida de 1384.81 l/s por situarse en este tramo el frente de onda, mientras que aguas arriba, entre Las Juntas y Parolís se detectó una ganancia equivalente de 1263.79 l/s, cuando esta onda ya había pasado.

Acuífero Tinjarra

Situado al SO de Yeste entre esta población y el río Segura. Posee una forma semi-circular de 20.3 km² de extensión donde la formación permeable principal corresponde a las dolomías del Cenomaniense-Turonense culminadas en la parte SE por calizas bioclásticas del Mioceno inferior-medio.

A pesar de su extensión, no posee surgencias de relevancia. El arroyo Tinjarra drena este acuífero hacia el E, desembocando en el río Segura. Posee caudales muy irregulares, medidos en la sección 2335-3-STA próxima a la desembocadura, encontrándose seco buena parte del año (mayo-noviembre de 1996) o con muy bajo caudal (0,25 l/s el 23-7-1997).

Ya en el estudio "Investigación de los acuíferos carbonatados de las sierras de Cazorla y Segura" (IGME-Universidad de Granada, 1990), se apuntó la idea de que la descarga de este acuífero se debía producir directamente al río Segura en las proximidades de la Graya. En este estudio se ha investigado esa posibilidad, mediante la realización de 4 pares de aforos diferenciales en el río Segura entre el puente de la Graya (2335-3-SSC) y un punto situado 2,5 km aguas abajo (2335-3-SSB), con los resultados de la tabla 10.

FECHA	CAUDALES EN l/s		
	2335-3-SSC (1)	2335-3-SSB (2)	(2)-(1)
5-11-1996	688.39	727.24	+38.85
17-4-1997	968.61	865.18	-103.43
23-7-1997	664.11	648.49	-15.62
6-11-1997	1970.93	1862.47	-108.46

Tabla 10. Secciones de aforo y caudales del río Segura sobre el acuífero Tinjarra.

Tan sólo en la primera fecha el río ganó caudal (5.3 % de incremento). En los tres restantes, el río tuvo pérdidas de entre un 2.4 % y un 10.7 %, por lo que a pesar de situarnos en los límites del margen de error, se puede suponer que existe infiltración hacia formaciones del Cretácico inferior y Jurásico superior a través de una falla NNE-SSO que cruza el río por este sector bajo la formación margoso-arenosa del Utrillas.

Esta falla afecta también a la formación dolomítica del Cenomaniense-Turonense del acuífero por lo que si el río Segura pierde sistemáticamente caudal, es posible que los recursos de este acuífero también lo hagan a través de la misma, puesto que como ya se ha indicado, no posee surgencias que justifiquen su recarga natural.

Acuífero de Góntar

Este acuífero se extiende por la Sierra de los Molares (1182 m s.n.m.) en el N, junto a la cola del embalse de la Fuensanta en el río Segura, por la Sierra de Góntar (1531 m s.n.m.) en el centro, hasta la Rambla del Camino y el Morro de los Calderones (1423 m s.n.m.) en el S, siguiendo la margen derecha de este río y la de su afluente el Zumeta.

Por el E se extiende hasta la Sierra de Lagos (1511 m s.n.m.) y la población de Yetas de Abajo. La altura máxima la alcanza en su mitad S en el vértice de Cabeza Rasa (1604 m s.n.m.).

La formación permeable principal está constituida por las dolomías del Cenomaniense-Turoniense, de unos 300 m de potencia. Secundariamente se superpone una formación de calizas del Mioceno inferior-medio que constituye la culminación de la Sierra de los Molares, de los cerros de la Umbría y de Cabeza Rasa, con un espesor medio de unos 150-200 m. La superficie permeable es de 107 km².

No posee surgencias visibles importantes como para justificar los recursos del acuífero. Como en el caso del acuífero Tinjarra, este acuífero se cita en el estudio “Investigación de los acuíferos carbonatados de las sierras de Cazorla y Segura” (IGME-Universidad de Granada, 1990) sugiriendo la idea de que parte de sus recursos se drenan directamente al río Segura en el sector de la sierra de Los Molares. Para comprobar este hecho sólo se pudo realizar un par de aforos diferenciales, aprovechando que el embalse de la Fuensanta estaba anormalmente bajo el 6-11-1996. El tramo en contacto con la formación dolomítica del Cenomaniense-Turoniense de la sierra de Los Molares se situó entre la sección 2335-3-SSA Río Segura-Vado de Siseros y la 2334-8-SSA Río Segura-Tindavar. En la primera sección se midieron 769.74 l/s y en la segunda, 1115.03 l/s, por lo que la diferencia fue de 345.29 l/s (31.0 % de incremento), equivalentes a 10.9 hm³/año, cifra que puede ser representativa por tomarse al final del estiaje de ese año. La longitud del tramo es de 5.2 km por lo que el caudal unitario fue de 66.4 l/s/km.

Acuíferos Calar de la Sima y Calar del Mundo

El río Tus atraviesa la formación dolomítica del Cenomaniense-Turoniense en la parte alta de su curso, estableciendo un límite en ese tramo, de dirección E-O, entre los acuíferos Calar de la Sima y Calar del Mundo. Puesto que la incisión lineal de este río no ha atravesado completamente dicha formación dolomítica, era previsible que se produjeran aportes subterráneos provenientes de ambos.

El acuífero Calar del Mundo se encuentra situado en la parte N y posee una superficie permeable de 132.0 km², mientras que el de Calar de la Sima se sitúa al S, con 57.7 km² de extensión permeable.

Se realizaron una serie de aforos diferenciales para determinar la cuantía del drenaje conjunto de ambos en este tramo entre las secciones 2334-5-STC Río Tus-Aserradero y la 2334-5-STA Río Tus-Collado Tornero, obteniéndose los resultados de la tabla 11.

Las estaciones meteorológicas próximas más representativas son 7063 Yeste-Villar de Tus (gráfico 1) y 7059 Arguellite (gráfico 3).

Posee una buena correspondencia entre períodos lluviosos y caudales altos como ocurrió en enero de 1997 y períodos más secos con caudales bajos como en octubre de 1996. Cabe destacar que parte de los caudales de abril y probablemente en menor medida en julio, provienen de la fusión de la nieve de la superficie plana de culminación del Calar del Mundo y algo del Calar de la Sima.

FECHA	CAUDALES (l/s)		
	2334-5-STC Río Tus-Aserradero (1)	2334-5-STA Río Tus-Coll. Torn. (2)	(2)-(1)
11-7-1996	178.63	-	-
22-23-10-1996	158.42	238.71	80.29
22-23-1-1997	3324.39	3931.30	606.91
24-4-1997	956.14	1205.70	249.56
16-17-7-1997	166.34	360.45	194.11
29-30-10-1997	296.08	749.67	453.59

Tabla 11. Secciones de aforo y caudales del río Tus sobre los acuíferos Calar de la Sima y Calar del Mundo.

Los drenajes al río oscilaron entre 80.29 y 606.91 l/s con incrementos de caudal de entre el 15.4 % y el 60.5 %). La longitud del tramo es de 4.9 km por lo que los caudales unitarios oscilaron entre 16.4 y 123.9 l/s/km. El caudal de abril de 1997, debe estar próximo a la media con 249.56 l/s y un caudal unitario de 50.9 l/s/km y el volumen total puede ser de alrededor de 7.88 hm³/año

No se conoce el porcentaje drenado por cada acuífero aunque es previsible que el de Calar del Mundo, al ser de mayor superficie, también debe aportar mayor proporción de caudal.

Valoración de las descargas subterráneas

Las salidas subterráneas de los acuíferos en la cabecera del río Segura y sus afluentes tienen gran importancia según se ha expuesto en los tramos estudiados. Para contrastar la importancia relativa entre ellos, se expone en la tabla 12 los intervalos de valores de drenaje, incrementos de caudal y caudales unitarios de las sucesivas campañas.

En general, a caudales de drenaje altos le corresponden incrementos en porcentaje de caudal altos, siempre que el tramo no sea corto o los caudales absolutos excesivamente altos. El drenaje más alto se midió en el río Tus en época de lluvias, entre los acuíferos Calar de la Sima y Calar del Mundo, con 607 l/s, un incremento del 153 % en el caudal y 124 l/s/km, lo que dio idea de la importancia de esta salida de ambos acuíferos.

En los tramos de acuíferos de Jurásico-Cretácico inferior, destaca el situado entre el Puente de los Chorreones y Antegil en el río Segura, con 274 l/s de drenaje, con un aumento de caudal de sólo el 19 % y una cifra alta de caudal unitario de 211 l/s/km, por ser un tramo de tan sólo 1.3 km.

En los acuíferos de la formación dolomítica del Cenomaniense-Turonense, la recarga se produce en esta formación, en tanto que la descarga se realiza a través de manantiales o bien directamente a los cauces que la atraviesan. Por otro lado, los aforos diferenciales también muestran que existe un aporte subterráneo importante a partir de las formaciones calcáreas del Jurásico-Cretácico inferior, a pesar de que su extensión de afloramientos (y por tanto, área de recarga), es mucho menor.

Se pueden enunciar tres explicaciones, no excluyentes, ante este hecho y que pueden ser las siguientes:

ACUÍFERO	Tramo	Longitud (km)	Q de drenaje (l/s)	Incremento de Q (%)	Q unitario (l/s/km)
TUS	R. Tus Baleario R. Tus Pte. Yeste	1.9	-28.8 → 118.4	-6.8 → 5.6	-15.1 → 62.3
PAROLIS	R. Seg. Parolis R. Seg. Chorreon.	2.6	60.6 → 123.7	11.1 → 25.9	23.3 → 47.6
	R. Seg. Chorreon. R. Seg. Antegil	1.3	35.3 → 274.1	6.8 → 19.3	26.9 → 210.8
	R. Seg. Antegil R. Seg. Graya	7.4	114.7 → 279.2	16.5 → 26.7	15.5 → 37.7
LAS JUNTAS	R. Seg. Juntas R. Seg. Parolis	7.6	21.2 → 209.2	5.9 → 23.1	2.8 → 27.5
TINJARRA	R. Seg. Graya R. Seg. Paulas	2.5	-108.5 → 38.9	-10.7 → 5.6	-43.4 → 15.5
C. SIMA C. MUNDO	R. Tus Aserrad. R. Tus Coll. Tur.	4.9	80.3 → 606.9	18.3 → 153.2	16.4 → 123.9
GÓNTAR	R. Seg. Siseros R. Seg. Tindivar	5.2	345.3	44.9	66.4

Tabla 12. Resumen de los valores de drenaje, incrementos de caudal y caudales unitarios en los afloros diferenciales.

- Existen acuíferos aislados de reducido tamaño, a modo de ventanas de esta formación calcárea, que no poseen salidas importantes y que por tanto funcionarían como áreas de recarga, con flujos en profundidad, como por ejemplo Arguellite, Virgen, etc. (Fig. 1).
- Acuíferos con la formación dolomítica del Cenomaniense-Turonense conectada tectónicamente a la formación calcárea. En este caso, parte de los recursos de ambas se drenan a través de manantiales y parte pueden migrar en profundidad a través de la formación calcárea.
- La Formación Utrillas de arenas con intercalaciones arcillosas no debe de funcionar como impermeable absoluto en los acuíferos de formación dolomítica suprayacente. Ello se deduce de las salidas por manantial de los acuíferos de esta formación puesto que drenan menos volumen del que se recarga. Por tanto, una parte de ese volumen podría atravesar la Formación Utrillas hasta alcanzar la formación calcárea más inferior. En el ejemplo del acuífero Espino contemplado en el estudio de “Investigación de los acuíferos carbonatados de las sierras de Cazorla y Segura” (IGME-Universidad de Granada, 1990), se emplea una reserva útil del suelo de 75 mm, cifra excesivamente alta para un área de recarga calcárea, plana, casi desprovista de vegetación o suelo evolucionado y que por tanto no puede retener tanta cantidad de agua. Es sabido que a mayor reserva útil, menos volumen se infiltra y por tanto los caudales de las surgencias serán menos abundantes. En realidad, los manan-

tiales asociados a esta formación, deben considerarse como surgencias que se canalizan y emergen sobre una superficie en la que existe un contraste de permeabilidades, con respecto a la formación dolomítica suprayacente, pero no como una base de carácter casi impermeable.

CONCLUSIONES

En la cabecera del río Segura y sus afluentes existe un drenaje de los acuíferos hacia los cursos fluviales que atraviesan sus formaciones permeables, según se desprende de los aforos diferenciales realizados. Estos drenajes interesan principalmente a dos formaciones: la formación dolomítica del Cenomaniense-Turoniense y la formación calcárea del tránsito Jurásico-Cretácico (Malm-Aptiense inferior). La primera formación aflora extensamente en el Alto Segura por lo que funciona como área de recarga principal de todos los acuíferos que la incluyen. Por otro lado, la existencia de drenajes importantes a partir de acuíferos que tan sólo poseen la segunda formación permeable, no pueden justificarse únicamente a partir de las reducidas áreas de recarga que poseen, sino que además debe existir una transferencia de recursos a través de la Formación Utrillas, considerada hasta ahora como un impermeable regional, puesto que el balance realizado en el ejemplo del acuífero Espino y otros, muestran unas salidas de manantiales menores a las entradas que cabría esperar.

AGRADECIMIENTOS

Trabajos y campañas previstos y efectuados dentro del Convenio Específico entre la DGOH y el IGME para la ejecución del Proyecto de Actualización de la Infraestructura Hidrogeológica (PAIH) en las unidades hidrogeológicas de sierras de Cazorla, Segura y Quesada-Castril (2001). También a Jorge E. Hornero Díaz, Ingeniero Técnico de Minas del IGME en Murcia.

BIBLIOGRAFÍA

- AZEMA, J. (1977). Etude géologique des Zones externes des Cordillères Bétiques aux confins des provinces d'Alicante et de Murcia (Espagne). Tesis. Univ. París, 395 págs.
- AZEMA, J.; FOUCAULT, A.; FOURCADE, E.; GARCÍA HERNÁNDEZ, M.; GONZALEZ-DONOSO, J.M.; LINARES, A.; LINARES, D.; LÓPEZ-GARRIDO, A.C.; RIVAS, P. y VERA, J.A. (1979), Las Microfacies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. Pub. Univ. Granada, 83 págs. 46 láminas.
- DABRÍO, C.J. (1972), Geología del sector del Alto Segura (Zona Prebética). Tesis. Univ. Granada. 388 págs.

- GARCÍA-HERNÁNDEZ, M.; LÓPEZ-GARRIDO, A.C.; RIVAS, P.; SANZ DE GALDEANO, C. y VERA, J.A. (1980), Mesozoic paleogeographic evolution in the External Zones of the Betic Cordillera (Spain). *Geol. Mijnb.* 59, pp 155-168.
- HOEDEMAEKER, Ph. J. (1973), Olisthostromes and other delapsional deposits, and their occurrence in the region of Moratalla (Prov. of Murcia, Spain). Tesis. Univ. Utrecht. (Publ. Scripta. Geol. 19: pp 1-207).
- IGME (1981), Mapa Geológico de España, a escala 1:50.000. Memoria y hoja nº 888 Yetas de Abajo. 68 págs. Madrid.
- IGME (1983), Geología de España, Tomo II. 752 págs.
- ITGE-UNIVERSIDAD DE GRANADA (1990), Investigación de los acuíferos carbonatados de las sierras de Cazorla y Segura. Univ. Granada, IGME-Granada. 224 págs.
- JEREZ, L. (1973). Geología de la Zona Prebética en la transversal de Elche de la Sierra y sectores adyacentes (Provincia de Albacete y Murcia). Tesis. Univ. Granada. 750 págs.
- MARTÍN, L.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, M. y LÓPEZ-GARRIDO, A.C. (1985), Síntesis geológico-minera del área lignífera de Yeste (Prebético interno) (Albacete, Jaén, Murcia). IGME, 101 págs.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (1978). Geología e Hidrogeología del Sector Alcaraz-Lietor-Yeste (Provincia de Albacete). Síntesis geológica de la Zona Prebética. Tesis. Univ. Granada. 758 págs. (Publicada en Mem. Geol. Min. 1979).