



Fornes-Azcoiti, J.M.; Jiménez-Sánchez, J.; Martín-Montañés, C.; Rubio-Campos, J.C.; Martos-Rosillo, S. y Hueso-Quesada, L.M., 2011. *Informe de caracterización hidrogeológica y propuesta de protección de manantiales y lugares de interés hidrogeológico (Cádiz)*.



**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## CA-1 EL TEMPUL

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## 1.- SITUACIÓN Y USOS DEL AGUA

El manantial de El Tempul se ubica en el término municipal de San José del Valle, en la ladera norte de la Sierra de las Cabras. Sus coordenadas son las siguientes:

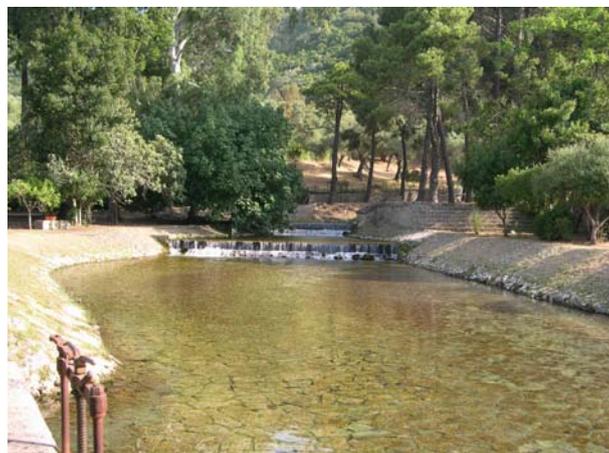
XUTM: 260.780  
YUTM: 4.058.320  
Z: 120 m s.n.m.

Se encuentra en la hoja nº 1063 Algar (escala 1:50.000), hoja nº 1063-III (escala 1:25.000) y en la hoja nº 1063-31 (escala 1:10.000). Pertenece a la Masa de Aguas Subterráneas 062.007 Sierra de las Cabras.

La entrada al manantial requiere autorización o permiso. Su acceso es muy bueno, se hace por la carretera CA-503, que discurre al sur del embalse de Guadalcaçín y que, desde 1,5 km al norte de San José del Valle, lleva hasta el Puerto de Galis (IGME-AAA, 2008). El manantial de El Tempul se encuentra a unos 5 km de Algar y pertenece a la Demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate, con número de registro nacional del IGME 134530001 y referencia CA1 en el Plan de conservación.



Entrada a las instalaciones del manantial de El Tempul y vista del antiguo edificio, hoy abandonado, del siglo XIX (IGME-AAA, 2008)



Canal del manantial (IGME-AAA, 2008)

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**



Panel indicativo del trazado del acueducto romano y de las conducciones actuales de abastecimiento (IGME-AAA, 2008)

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

**Plano de situación realizado en ARCMAP:**

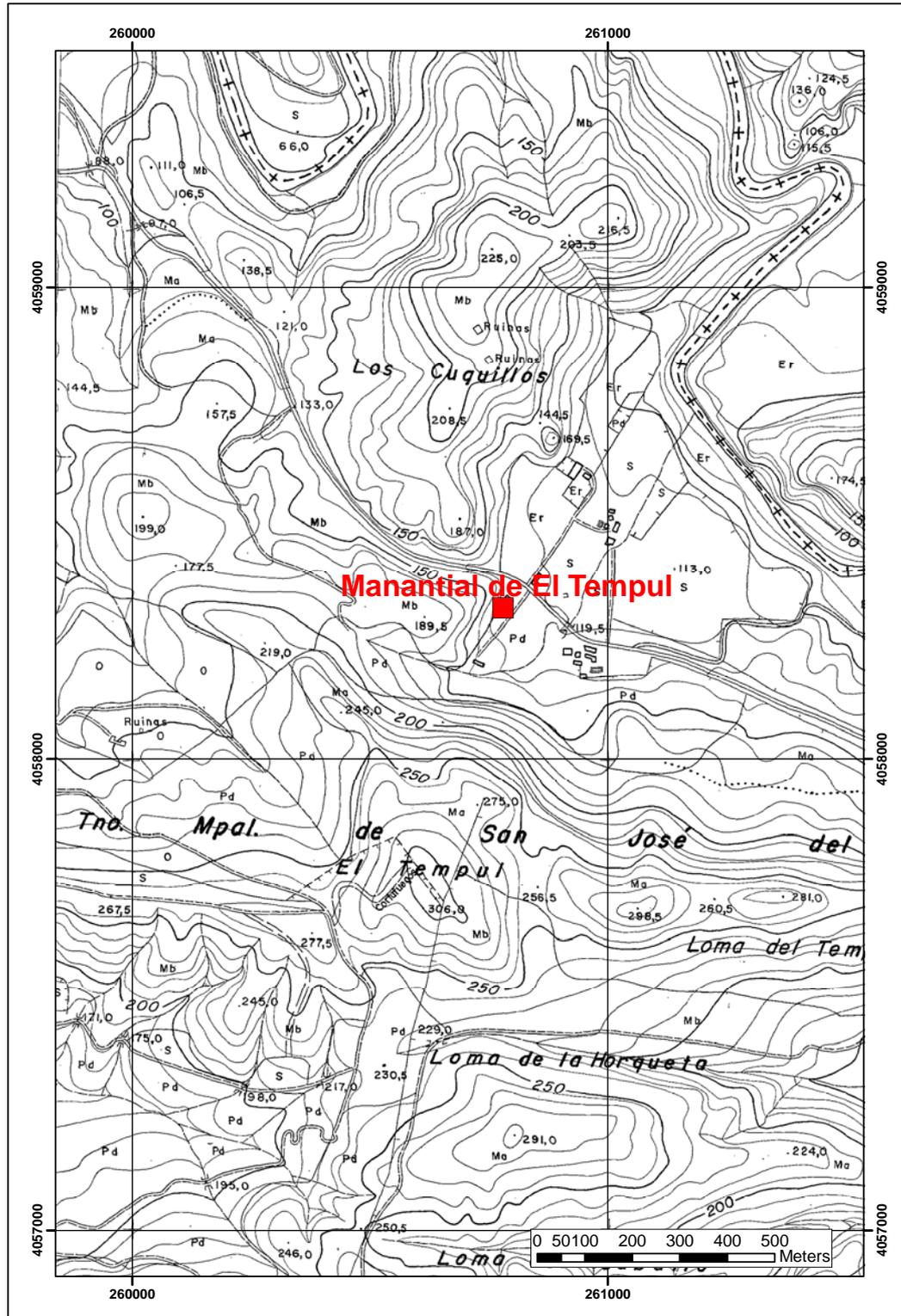


Figura 1: Plano de situación topográfico. Escala original 1:10000

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

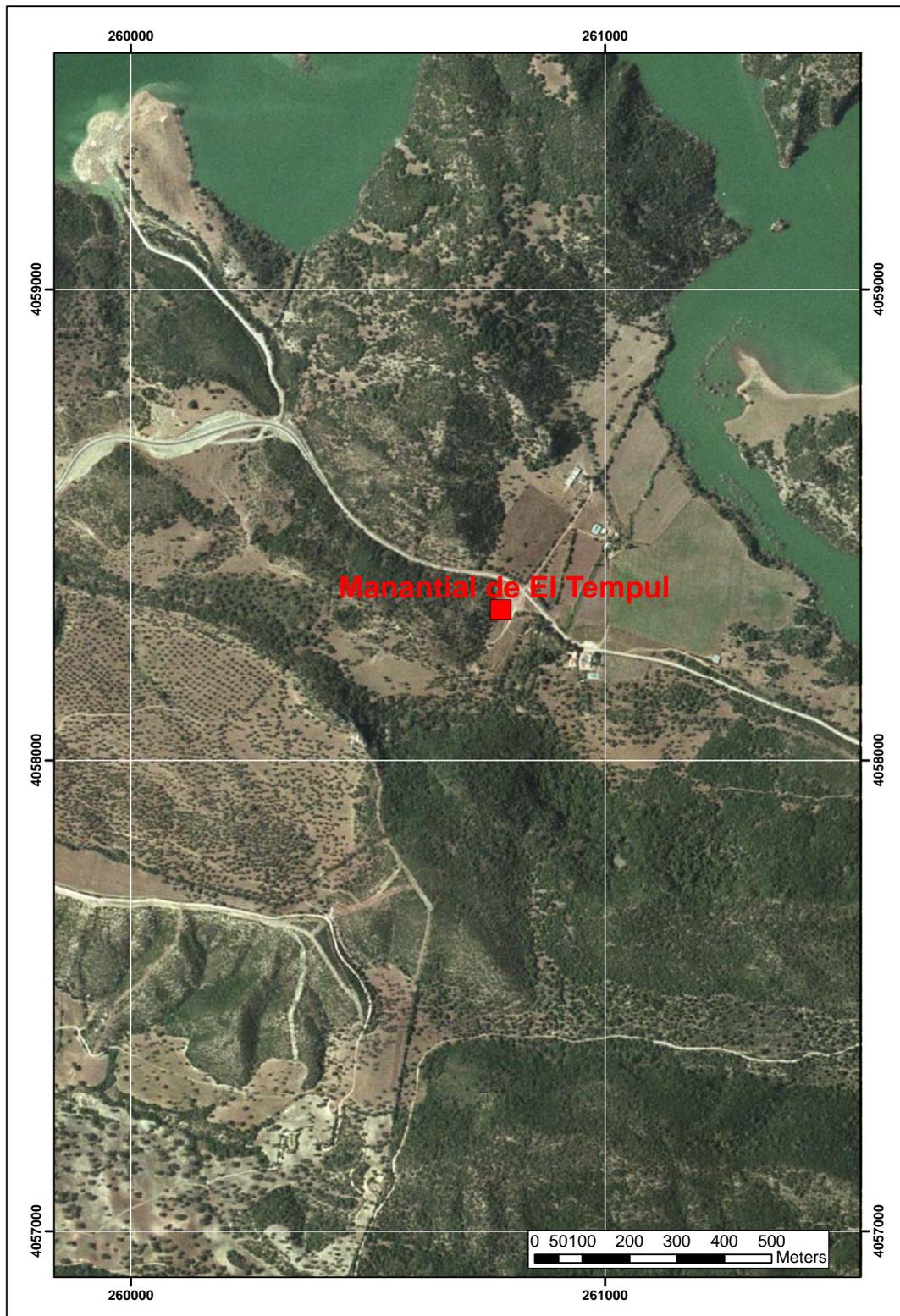


Figura 2: Plano de situación ortofoto. Escala original 1:10000

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## **2.- REFERENCIAS HISTÓRICAS**

El manantial del Tempul sirve para abastecer agua de consumo en la provincia de Cádiz desde, al menos, el siglo I d.C., como lo demuestran los restos del acueducto de Gades trazado inicialmente desde el Tempul hasta San Fernando y Cádiz (antiguamente llamada Gades). Este acueducto es uno de los de mayor longitud de la Hispania romana, ya que tiene cerca de 75 km. “Su trazado partía del manantial de El Tempul y llegaba hasta San Fernando y Cádiz, donde alimentaba a cuatro grandes depósitos. De este acueducto aún se conservan abundantes restos a lo largo de su trazado, en particular en el tramo inicial, reutilizado en época moderna para el abastecimiento urbano de la ciudad de Jerez”. (IGME-AAA, 2008).

“La mayor parte del recorrido discurría en sifón. El gran interés de este sifón radica en su sistema constructivo a base de bloques de piedra perforados. El uso de los sifones en los acueductos fue una práctica habitual desde épocas muy tempranas. En todos ellos los conceptos básicos son siempre los mismos: dar paso a un cambio de régimen del acueducto, es decir, pasar de un sistema de canal, en el que el agua se transporta a la presión atmosférica, a un sistema de sifón cerrado en el que el agua discurre a presión. Para poder realizar este cambio es necesario contar al inicio y al final del sifón, con sendas arquetas de transición, donde pueda producirse el cambio de régimen. Por lo general, la primera, llamada arqueta de cabecera, era la más importante y la que tenía mayores dimensiones; la segunda o arqueta de salida, devolvía las aguas encañadas a un régimen de canal sin presión (*specus*) y generalmente era de dimensiones más reducidas. Desde la arqueta de cabecera de entrada al sifón, la tubería, cualquiera que fuera el material que la conformaba, descendía abruptamente por la ladera, siguiendo una línea de fuerte pendiente, hasta alcanzar la parte más baja de la hondonada o cauce del río, cuando atravesaba uno. Esta parte era la más delicada del sifón; no sólo porque en ella la presión del agua es máxima, sino también porque las aguas crecidas de una rambla o de un río pueden arruinarlo. (...). En las arquetas de salida tan sólo era necesario comprobar que se encontraban a la cota correcta para que el sifón se mantuviese siempre en carga. Entre las arquetas de cabecera españolas más interesantes se encuentran la del sifón de abastecimiento de aguas a Gades y la de Sexi (Almuñecar), con reformas posteriores” (AAA, 2006).

“En 1899 las aguas del manantial figuraban declaradas como minero-medicinales” (IGME-AAA, 2008). No obstante, no existen datos de un eventual uso de las aguas de este manantial como minero-medicinal, ni de uso terapéutico tradicional por los habitantes de la zona.



Fornes-Azcoiti, J.M.; Jiménez-Sánchez, J.; Martín-Montañés, C.; Rubio-Campos, J.C.; Martos-Rosillo, S. y Hueso-Quesada, L.M., 2011. *Informe de caracterización hidrogeológica y propuesta de protección de manantiales y lugares de interés hidrogeológico (Cádiz)*.



**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

### **3.- FLORA Y FAUNA ASOCIADA**

El entorno del manantial se encuentra muy alterado y antropizado por el hombre, únicamente presenta herbazales húmedos en el mismo nacimiento, ya que el resto está modificado al haberse realizado un área recreativa con arbolado de jardinería.

Su interés ecológico es aceptable, si bien, existe una especie de gasterópodos endémicos asociados al propio manantial (IGME-AAA, 2008).

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

#### **4.- CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO-GEOLÓGICO**

El manantial de El Tempul está situado en el acuífero de la Sierra de las Cabras, que pertenece al dominio Subbético Medio de la Zona Externa de la Cordillera Bética, en transición al Subbético Externo. Está ubicado en el flanco norte de una estructura anticlinal que forma la Sierra de las Cabras.

La serie estratigráfica está constituida por tres conjuntos litológicos principales: uno inferior, de edad triásica (Keuper); otro medio, de 300 metros de espesor y naturaleza calcáreo-dolomítica, de edad fundamentalmente jurásica; y otro superior, de carácter margosocalcáreo-arcilloso, de edad cretácico-terciaria. Dentro del conjunto jurásico cabe distinguir, de muro a techo, las siguientes formaciones: dolomías del Lías, calizas oolíticas del Dogger y calizas tableadas del Malm” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005).

“La estructura geológica del área está formada por pliegues anticlinales y sinclinales que presentan una forma arqueada en cartografía y que han sido afectados por una tectónica de fractura posterior. En la parte meridional, hay una estructura anticlinal que constituye los relieves de Sierra del Valle, Sierra de la Sal y Sierra de las Cabras, en cuyo núcleo afloran principalmente los materiales carbonáticos jurásicos. Hacia el norte, la estructura es un sinclinal ocupado por materiales cretácicos, bajo los cuales deben encontrarse las calizas y dolomías jurásicas, que afloran inmediatamente al norte (Sierra de Dos Hermanas y Loma del Tempul) formando parte del flanco meridional del siguiente anticlinal” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005).

“El acuífero está limitado, al norte y al este, por el contacto entre los materiales carbonáticos y las arcillas triásicas y, al sur y oeste, por el contacto entre los carbonatos del Jurásico y las margas y margocalizas del Cretácico. (...). El acuífero es de tipo libre en los afloramientos carbonáticos, aunque se encuentra confinado bajo los materiales cretácicos que constituyen el núcleo de la estructura sinclinal” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005). Corresponde a la masa de agua subterránea 062.007 - Sierra de las Cabras.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las calizas y dolomías del Jurásico constituyen un acuífero permeable por fisuración y karstificación. “La superficie de afloramientos permeables alcanza los 34 km<sup>2</sup> de extensión, con 29 km<sup>2</sup> en el conjunto de Sierra de La Sal-Cabras, 2,6 km<sup>2</sup> en la Sierra del Valle, 1,8 en la de Dos Hermanas y 0,45 km<sup>2</sup> en la Loma del Tempul. La potencia total conocida del acuífero oscila entre los 160-220 metros en la Sierra de Dos Hermanas y los 100-200 en la Loma del Tempul y Sierra de La Sal” (IGME-CHG, 2001).

“La alimentación del acuífero se produce por infiltración directa de las precipitaciones caídas sobre los afloramientos permeables y, eventualmente, por infiltración de parte de la escorrentía que circula por los arroyos de Bujalance y Bogaz, los cuales se encuentran normalmente secos y con sus cauces colgados del orden de 30 metros o más sobre la zona saturada del acuífero. La tasa media de recarga anual está comprendida entre el 20 y 40% de la precipitación en la mayor parte del área, y sólo en las partes altas de las sierras de las Cabras y del Valle, se superan estos valores. El valor medio anual para toda la sierra es del orden de la tercera parte de la lluvia que cae sobre la superficie permeable, y los recursos medios anuales se estiman en unos 9 a 10 hm<sup>3</sup>/año” (IGME-Diputación Cádiz, 2005).

La descarga del acuífero se produce, de modo natural, por el manantial de El Tempul, situado en el punto topográficamente más bajo del acuífero (120 m s.n.m.), cuyo caudal varía entre unos 20 l/s y menos de 2.000 l/s, con un valor medio histórico para el periodo 1862-1978 de 283 l/s. En épocas de recarga excepcional, entra en funcionamiento el *trop plein* de Fuente Imbro, situado en la cabecera del arroyo del Infierno (Sierra de Dos Hermanas) a la cota de 140 m s.n.m. (IGME-Diputación de Cádiz,

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS  
HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS  
RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

2005). “Además, existen pequeñas surgencias, con caudales inferiores a 0,5 l/s, en el flanco sur de la Sierra de La Sal y en el flanco oeste de la Sierra de las Cabras. Estas surgencias corresponden al drenaje de pequeñas unidades colgadas de escasa entidad. La circulación del agua en el interior del acuífero se produce hacia el noroeste, donde se localiza el manantial de El Tempul” (IGME-CHG, 2001).

“Una pequeña parte de la descarga natural del acuífero que se produce a través del manantial de El Tempul, se utiliza para el abastecimiento urbano de San José del Valle (0,3 hm<sup>3</sup>/año) y Jerez de la Frontera (1 hm<sup>3</sup>/año). Respecto al uso agrícola de las aguas subterráneas del acuífero, cabe señalar que se utilizan del orden de 0,15 hm<sup>3</sup>/año para complementar el riego de 178 ha” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005).

El balance hídrico del acuífero de Sierra de las Cabras para el año 2002, es el siguiente:

Entradas (infiltración de agua de lluvia): 9,50 hm<sup>3</sup>  
Salidas (manantial de El Tempul): 9,50 hm<sup>3</sup>

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

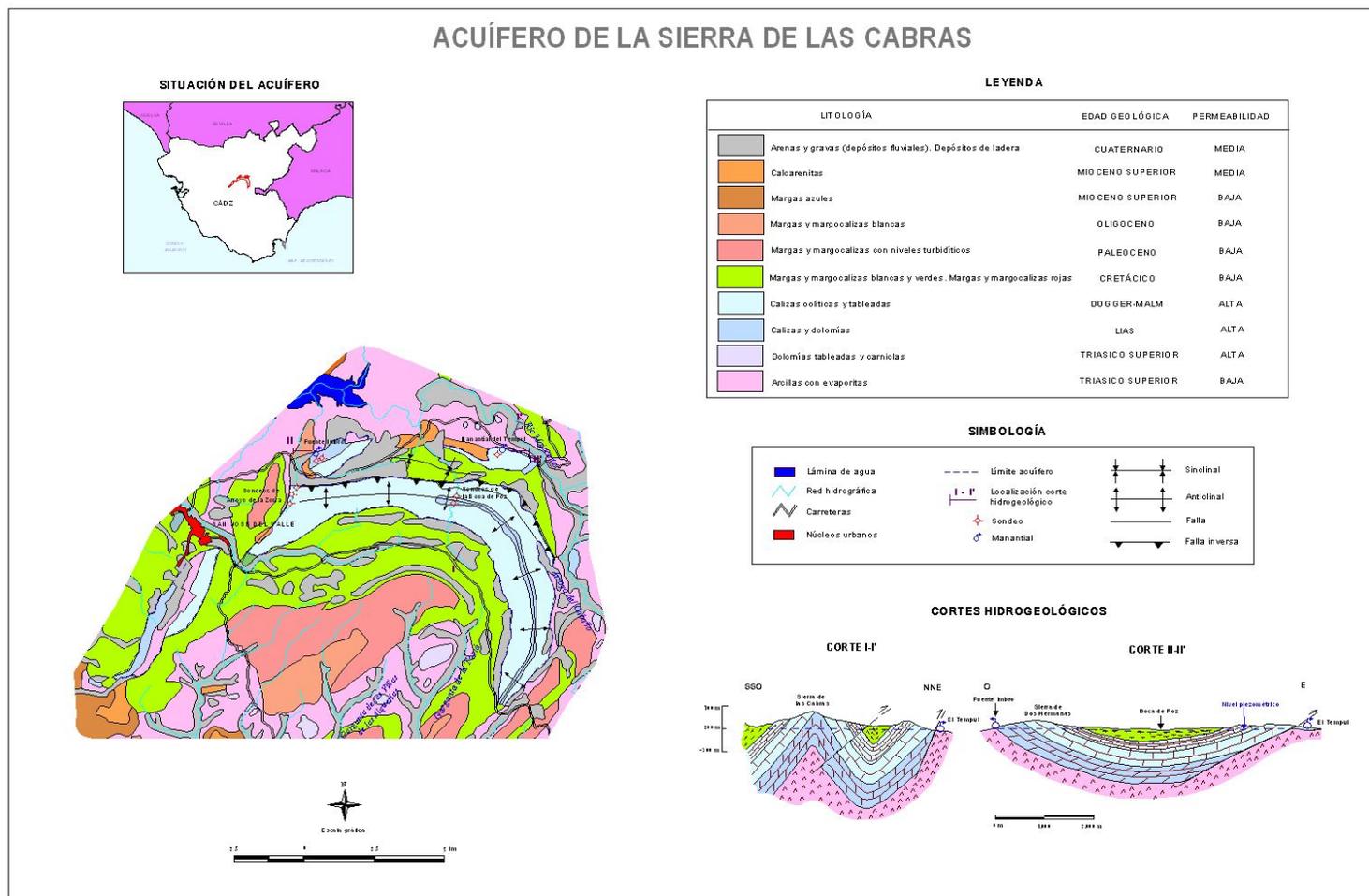


Figura 3: Mapa y corte geológico

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## **5.- EVOLUCIÓN HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA**

“La lluvia en el área de estudio es un fenómeno casi aleatorio. Así, la lluvia registrada en un día no se parece a la que se registra uno o dos días después. A pesar de la aleatoriedad de las precipitaciones, el sistema de la Sierra de las Cabras actúa como un gran filtro capaz de amortiguar y modular la señal de entrada. Se trata de un sistema con un efecto memoria considerable (del orden de 100 días); el tiempo de regulación es igualmente elevado (85 días), aspectos ambos indicativos de una importante capacidad reguladora ante las precipitaciones. En general, las variaciones más importantes de caudal tienen que ver con la componente anual de la distribución de las precipitaciones, es decir, todos los años hay un aumento de caudal asociado a las lluvias invernales, que son las que producen la recarga más importante. Estas lluvias encuentran una respuesta lineal y amplificada, aunque desfasada más de 2 meses” (Jiménez *et al.*, 2001).

“Los resultados del análisis de hidrogramas unitarios del manantial de El Tempul, tanto para la serie de datos diarios de caudal como para la serie de datos mensuales, muestran que la decrecida del manantial tiene lugar lentamente (más de 100 días), lo cual significa que la infiltración no se produce de forma rápida o concentrada, porque existe una zona de infiltración potente y poco karstificada. El agotamiento del manantial comienza con un caudal de 75 l/s y está caracterizado por un coeficiente  $\alpha$  del orden de  $2 \times 10^{-3}$  días<sup>-1</sup>, indicativo de que el agotamiento se realiza de forma lenta. Así, al inicio del agotamiento, suele haber 5 hm<sup>3</sup> susceptibles de ser drenados por el manantial, por lo que al cabo de un año sin llover se habría drenado, como mucho, la mitad del mismo. Estos datos son de particular interés en la gestión de recursos hídricos del acuífero de Sierra de las Cabras” (Jiménez *et al.*, 2001).

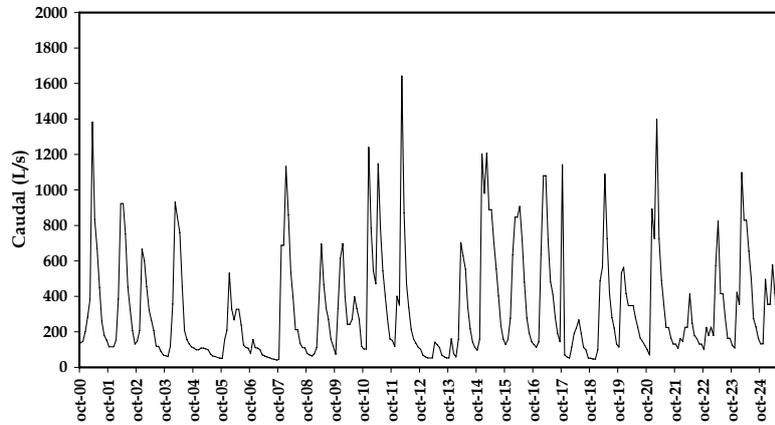
“El análisis de caudales clasificados de la serie de datos diarios del manantial de El Tempul, permite concluir que por encima de 900 l/s, el manantial está en crecida, y previsiblemente emergerá agua subterránea en Fuente Imbro e incluso en Boca de Foz, por lo que la variación de los caudales de El Tempul se producirá de forma más lenta de lo que cabría esperar. Entre 900 y 75 l/s, el manantial se encuentra en decrecida drenando la reserva almacenada anteriormente entre 140 y 120 m s.n.m. Y por debajo de 75 l/s, el manantial está en agotamiento, por lo que el vaciado se realiza de acuerdo con el coeficiente de agotamiento” (Jiménez *et al.*, 2001).

Según Jiménez *et al.* (2001), la cantidad de agua que se infiltra es aproximadamente la tercera parte de la precipitación. El estudio de algunos hidrogramas unitarios del manantial, durante los cuales se conocen las variaciones piezométricas producidas en el acuífero, ha permitido estimar una porosidad eficaz media del 0,5%, una permeabilidad media del orden de 10 m/día y unas reservas aproximadas de 20 hm<sup>3</sup>. El tiempo medio de permanencia del agua dentro del sistema es superior a 2 años.

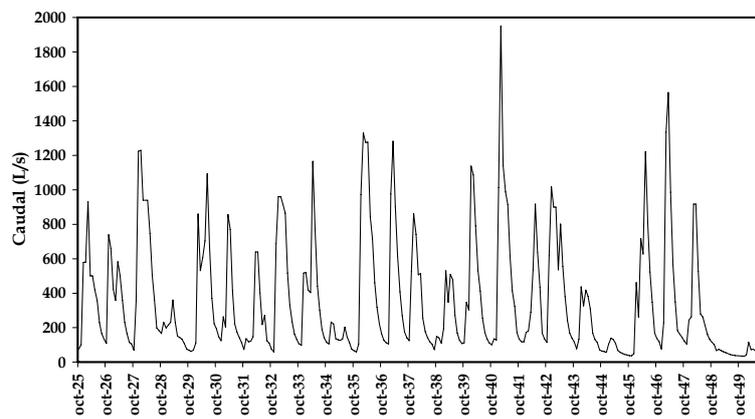
“Para el periodo histórico 1862-1978, el caudal medio del manantial de El Tempul es de 283 l/s, equivalente a una descarga media cercana a 9 hm<sup>3</sup>/año. La precipitación anual media histórica en la estación de Gibraltar es de 825 mm y la superficie permeable del acuífero de Sierra de las Cabras es de 34 km<sup>2</sup>, por lo que el volumen total de agua de lluvia que cae sobre dicha superficie es de 28 hm<sup>3</sup>/año como valor medio. Si las salidas controlables (9 hm<sup>3</sup>/año) constituyen la única descarga del sistema, entonces la recarga media sería aproximadamente del 32%. Durante el periodo 1985-1995, el caudal medio del manantial fue de 253 l/s (8 hm<sup>3</sup>/año), y la precipitación media en la estación de El Tempul fue de 850 mm (29 hm<sup>3</sup>/año). Aplicando los mismos supuestos que en el caso anterior, la recarga media sería del orden del 28% de la precipitación” (Jiménez *et al.*, 2001).

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

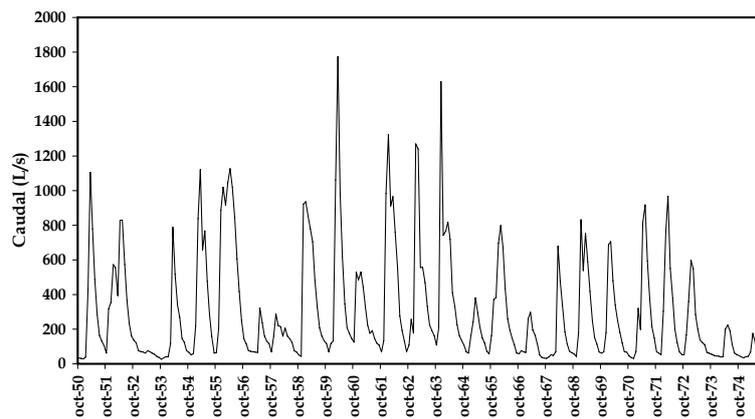
HIDROGRAMA (1900/01-1924/25)



HIDROGRAMA (1925/26-1949/50)



HIDROGRAMA (1950/51-1974/75)



**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

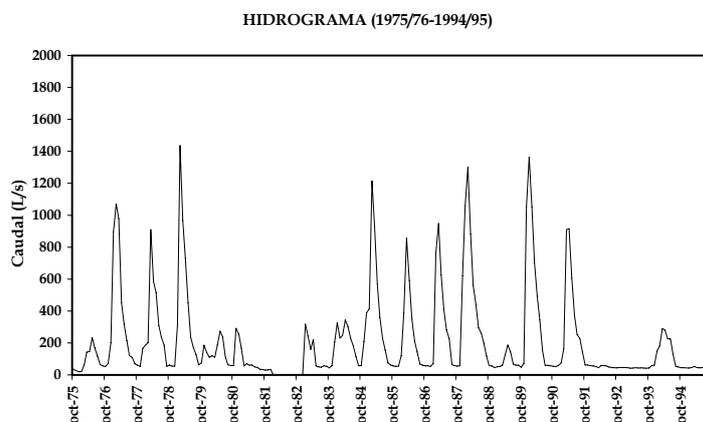


Figura 4: Hidrogramas históricos del manantial de El Tempul (IGME-Diputación de Cádiz, 2005)

La facies hidroquímica del agua del manantial es bicarbonatada cálcica, aunque presenta contenidos ligeramente elevados de sulfato, cloruro y sodio, debido a la disolución de evaporitas del sustrato triásico.

“El agua subterránea de la Sierra de las Cabras es de facies bicarbonatada cálcica, dada la naturaleza caliza de las rocas por las que circula. En el manantial de El Tempul, la conductividad eléctrica del agua está comprendida entre 500 y 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la composición química del agua varía poco. Los contenidos en sulfatos (35 mg/l) y cloruros (30 mg/l) son ligeramente elevados para lo que cabría esperar de una concentración del agua meteórica, por lo que se deduce una influencia del sustrato triásico del acuífero, de carácter arcilloso-evaporítico. Los contenidos en nitratos son del orden de 2 mg/l y los de magnesio de 20 mg/l. En los sondeos del arroyo de la Zorra se detectó un aumento de la mineralización del agua (700 - 1.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), durante la explotación llevada a cabo en 1995, debido al aumento del contenido en sulfatos procedentes del sustrato yesífero triásico” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005).

En la base de datos del IGME existen 15 análisis (de los que 11 corresponden al punto 1345/3/1 “Manantial del Tempul”) realizados entre los años 1968 y 2001. En el cuadro se resumen las principales características de estos análisis:

	Máximo	Mínimo	Medio
Cl	356	19	47
SO <sub>4</sub>	190	30	59
HCO <sub>3</sub>	353	146	260
NO <sub>3</sub>	25	0	3
Na	207	8	25
Mg	35	16	23
Ca	180	42	83
pH	8	7,5	7,7
Cond. ( $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ )	1838	385	663

Características químicas del acuífero de Sierra de las Cabras (valores en mg/l)

Según (Pérez Ramos et al., 2005), el origen de los diferentes iones mayoritarios del manantial de El Tempul, tras el seguimiento realizado en el año hidrológico 2003/2004, sería el siguiente: “los

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

contenidos en  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  están relacionados con la disolución de las calizas y dolomías que constituyen la Sierra de las Cabras. Por su parte, los contenidos en  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  proceden de la concentración por evaporación del agua de lluvia en el epikarst, al igual que los contenidos en  $\text{NO}_3^-$ , aunque estos últimos proceden también del lixiviado del horizonte edáfico. No obstante, la concentración por evaporación no explica suficientemente los contenidos en  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  detectados en las aguas del manantial, sino que se explican mejor invocando una ligera disolución de evaporitas (yeso y sal) existentes en el substrato triásico de las rocas carbonáticas. Esta interpretación está de acuerdo con el contenido en  $\text{SO}_4^{2-}$  detectado en las aguas del manantial en el sentido de que la mineralización del agua aumenta con la profundidad. También apoya esta interpretación el hecho de que los materiales triásicos se cortaran a 18 m de profundidad, por debajo de las calizas acuíferas, en un sondeo perforado inmediatamente al sur del manantial. El agua del manantial está subsaturada en yeso, dolomita y aragonito y próxima al equilibrio de la calcita por lo que tiene escasa capacidad incrustante. La presión parcial de  $\text{CO}_2$  es indicativa de que el  $\text{CO}_2$  que interviene en la disolución de las rocas carbonáticas es de origen biogénico superficial (suelo)”.

“El estudio de la respuesta hidroquímica, isotópica e hidrodinámica del manantial de El Tempul pone de manifiesto que el acuífero de la Sierra de las Cabras tiene un gran poder regulador y, por tanto, un escaso desarrollo de la karstificación funcional. Actúa como un gran filtro capaz de amortiguar la señal de entrada, por lo que la gran variabilidad tanto hidroquímica como temporal de las precipitaciones es filtrada y homogeneizada” (Pérez Ramos *et al.*, 2005).

A partir del gráfico adjunto, (Pérez Ramos *et al.*, 2005) extraen una serie de consideraciones:

“La temperatura del agua presenta valores relativamente más bajos durante la época de aguas altas que durante el estiaje, debido a la disminución de la temperatura ambiente en la época de otoño e invierno y a la entrada de agua de lluvia en estos meses”.

“La conductividad eléctrica muestra, igualmente, valores más bajos en la época de aguas altas, con dos mínimos relativos (diluciones) en respuesta a los periodos de recarga de otoño de 2003 y primavera de 2004. Las diluciones son de pequeña cuantía ( $<10\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pero proporcionales a la magnitud de la recarga que las origina (mayor en la recarga de otoño que en la de primavera). La dilución de otoño se produce semanas después del máximo de precipitación, coincidiendo con la crecida del manantial, mientras que la de primavera ocurre con las lluvias y la crecida de abril-mayo (cuando ya habían ocurrido las de febrero). Todo ello demuestra, una vez más, la gran inercia del sistema y la capacidad de filtro que tiene ante las precipitaciones. A final del estiaje se detecta una ligera disminución de la conductividad eléctrica”. La evolución descrita para la conductividad eléctrica es la que corresponde a la evolución general del quimismo del agua del manantial pero es interesante analizar en detalle la evolución de cada parámetro. Así, por ejemplo, en relación con los parámetros condicionados por la disolución de las rocas acuíferas, se constata que la alcalinidad presenta valores bajos durante todo el periodo de aguas altas, incluyendo el periodo comprendido entre las dos diluciones antes descritas. El contenido en  $\text{Mg}^{2+}$  muestra una evolución parecida a la de TAC, aunque después del descenso inicial asociado a las precipitaciones de otoño de 2003 alcanza valores relativamente más altos. La evolución del contenido en  $\text{Ca}^{2+}$  se parece a la de la conductividad eléctrica, pues muestra una tendencia progresivamente creciente desde la dilución de otoño y la dilución de primavera aparece poco marcada. Por su parte, el contenido en  $\text{SO}_4^{2-}$  muestra bien la dilución de otoño y un ascenso relativo posterior, a partir del cual se constata una disminución progresiva de este parámetro”.

“Los contenidos en  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  tienen una evolución similar entre ellos lo cual puede ser debido a que su origen sea, en parte, el mismo; es decir, que dichos contenidos sean consecuencia de la concentración por evaporación del agua de lluvia en el epikarst, aunque ya se ha apuntado que parece

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

haber también disolución de halita del sustrato triásico. En todos los parámetros se detectan valores altos al inicio del año hidrológico y las dos diluciones repetidamente citadas (de otoño-invierno y de primavera), pero durante el estiaje de 2004 el contenido en  $\text{Na}^+$  presenta una evolución opuesta a los otros dos componentes. No obstante, las variaciones del contenido en  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  están dentro del margen de error analítico y, por tanto, no son interpretables en términos hidrogeológicos. Cabe precisar, además, que las menores concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  se producen algo después que los descensos en TAC,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  asociados a la dilución de otoño”.

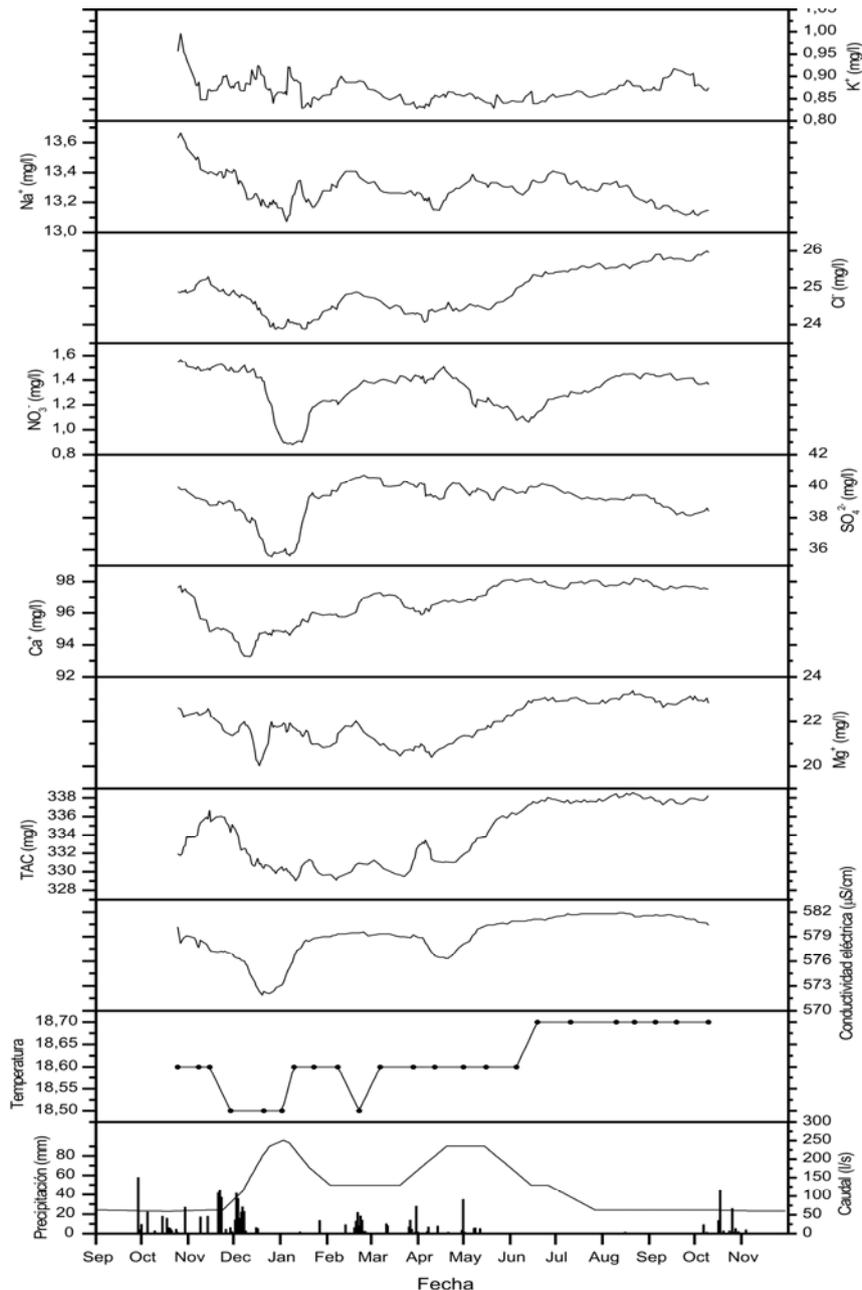


Figura 5: Evolución temporal de los datos hidroquímicos del agua del manantial de El Tempul (año hidrológico 2003/2004) (Pérez Ramos *et al.*, 2005)

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## **6.- VALORACIÓN DE INTERÉS**

El manantial de El Tempul presenta un alto interés en diversos aspectos, que se mencionan a continuación:

- **Hidrogeológico:** es un ejemplo de drenaje de un acuífero carbonático con una respuesta bastante inercial.
- **Ambiental:** existe una fauna endémica de gasterópodos asociada al propio manantial.
- **Científico-pedagógico:** el estudio de la evolución de los caudales de este manantial, que es la principal descarga de la Sierra de las Cabras, permite el establecimiento de modelos de comportamiento hidrogeológico de los sistemas kársticos.
- **Económico:** el manantial de El Tempul constituye la principal descarga natural de la masa de agua subterránea de la Sierra de las Cabras y es uno de los de mayor caudal y calidad de agua de la provincia de Cádiz. La empresa Aguas de Jerez Empresa Municipal (AJEMSA), lo explota para abastecimiento urbano de San José del Valle (0,3 hm<sup>3</sup>/año) y Jerez de la Frontera (1 hm<sup>3</sup>/año). En 1997 se autorizó la explotación como aguas minerales a las procedentes del manantial de El Tempul. La autorización, a favor de la sociedad municipal Aguas de Jerez Empresa Municipal (AJEMSA), concede el derecho para su uso como agua embotellada, con la denominación de mineral natural, aunque aún no se ha procedido a su envasado y comercialización.
- **Histórico-cultural:** en el siglo I d.C., los romanos construyeron un acueducto de unos 75 km de recorrido (acueducto de Gades) para llevar agua desde el Tempul hasta Cádiz (Gades); la mayor parte del recorrido discurría en sifón. El gran interés de este sifón radica en su sistema constructivo a base de bloques de piedra perforados (AAA, 2006).
- **Didáctico y turístico:** es muy reducido en las condiciones actuales debido a la prohibición de acceso aunque su potencialidad es muy importante.

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## **7.- PROTECCIÓN PROPUESTA**

Se trata quizás del manantial más emblemático e importante de la provincia de Cádiz, junto con el Nacimiento de Benamahoma.

### **7.1.- Presiones**

La vulnerabilidad del acuífero de la Sierra de las Cabras a la contaminación puede considerarse moderada en los afloramientos carbonáticos -donde el acuífero es de tipo libre-, debido a la escasez de formas exokársticas de absorción preferencial, al funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de las Cabras (acuífero de flujo difuso) y a la profundidad a la que se encuentra el nivel piezométrico. En el sector central, donde el acuífero carbonático está confinado bajo las margas y margocalizas cretácicas, la vulnerabilidad a la contaminación es baja (IGME-Diputación de Cádiz, 2005). La actividad ganadera y el uso de fertilizantes y plaguicidas en el regadío, constituyen los principales riesgos de contaminación, aunque no se tiene constancia de ningún episodio significativo de contaminación microbiológica ni procedente de los abonos nitrogenados.

Los residuos sólidos urbanos procedentes del municipio de San José del Valle son transportados a la planta de transferencia de residuos sólidos urbanos de Medina-Sidonia, situada fuera del acuífero.

El acuífero de la Sierra de las Cabras no presenta problemas relacionados con la explotación del agua, porque funciona en régimen natural. El agua se aprovecha, fundamentalmente, para abastecimiento urbano de Jerez de la Frontera y San José del Valle, mientras que el aprovechamiento agrícola es prácticamente inexistente.

### **7.2.- Figuras de protección, normativa y perímetros previos**

Como figuras de protección existentes se encuentran:

- Reserva de la Biosfera: Intercontinental del Mediterráneo (2006).
- LIC y ZEPA: ES00000049 Los Alcornocales.
- Parque Natural: Los Alcornocales (1989).
- Perímetro de protección para abastecimiento urbano: 6301200028 Manantial del Tempul.
- Considerado como Lugar de Interés Hidrogeológico.

### **7.3.- Zonación propuesta**

Se propone la delimitación de la poligonal para la protección de gran parte de la estructura anticlinal que conforma la Sierra de Las Cabras y que da lugar al manantial de El Tempul y al trop plein de Fuente Imbro.

Tipo de protección: ZONA TIPO B. Solo se autorizarán captaciones destinadas a abastecimiento urbano. Tampoco se permitirán actividades potencialmente contaminantes.

La zonificación propuesta tiene relación con los apartados 1, 2, 3, 5 y 6 de la tabla 1.

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

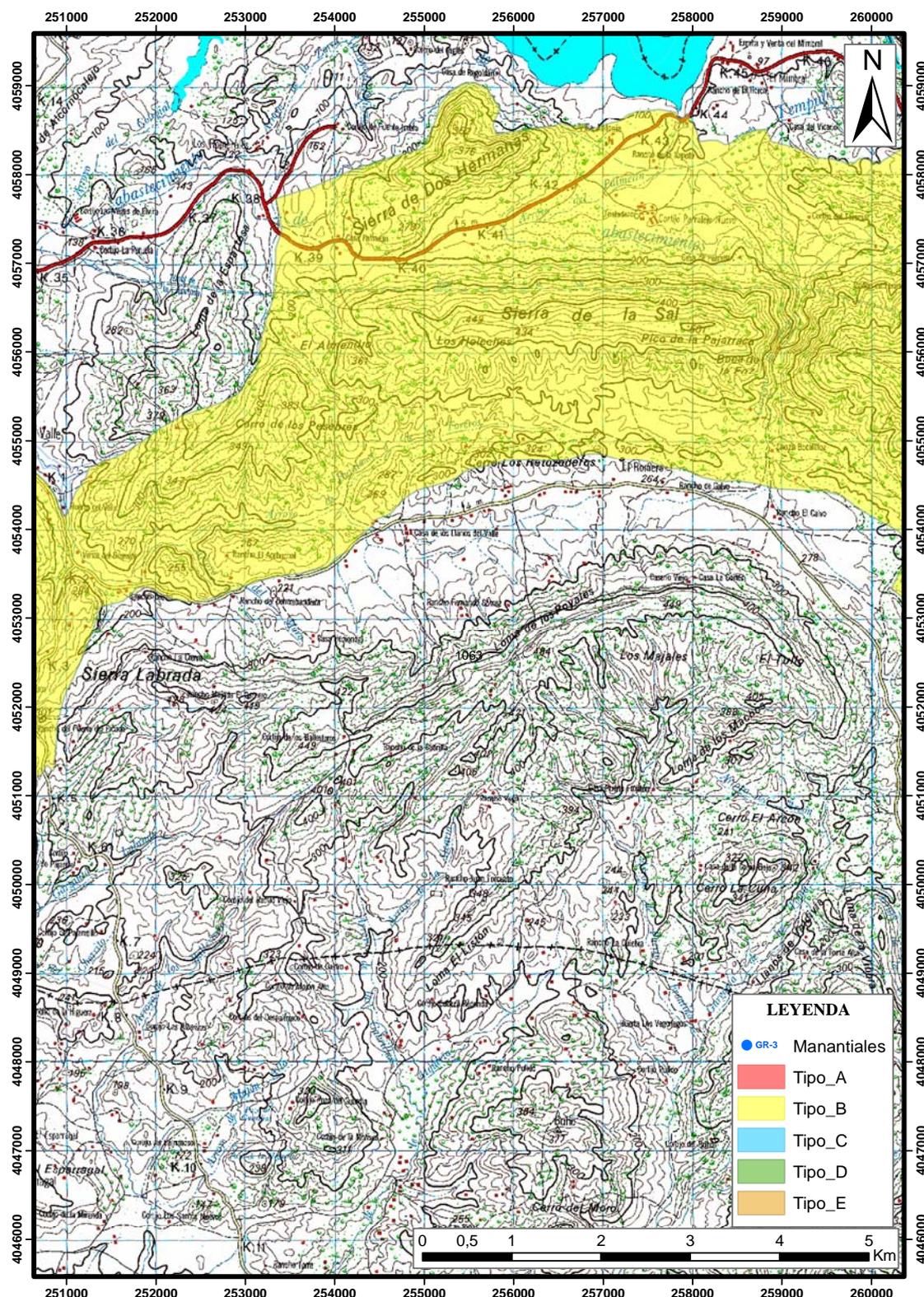


Figura 6: Zonación propuesta para la protección de gran parte de la estructura anticlinal que conforma la Sierra de Las Cabras y que da lugar al manantial de El Tempul y al trop plein de Fuente Imbro (CA1). Escala original 1:50.000. Zona occidental. 1 de 2.

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

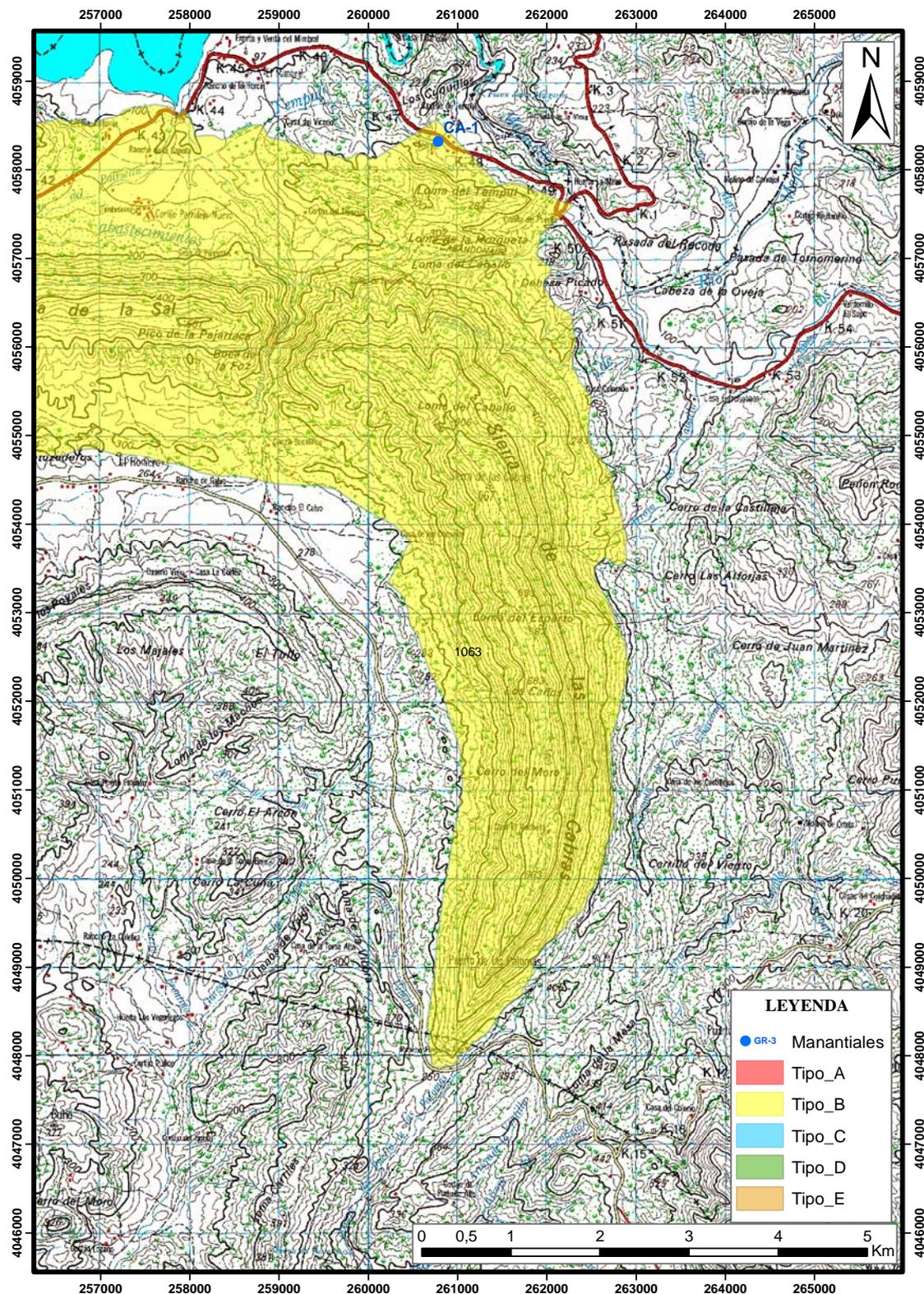


Figura 7: Zonación propuesta para la protección de gran parte de la estructura anticlinal que conforma la Sierra de Las Cabras y que da lugar al manantial de El Tempul y al trop plein de Fuente Imbro (CA1). Escala original 1:50.000. Zona oriental 2 de 2.

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## **8.- APROVECHAMIENTO POSIBLE**

El manantial de El Tempul se encuentra junto al embalse de Guadalcazín, a unos 5 km de Algar. Su acceso es muy bueno ya que está muy próximo a la carretera que une San José del Valle y el Puerto de Galis. Representa el principal drenaje de la Sierra de las Cabras. Sus instalaciones se conservan en buen estado, excepto el edificio principal situado junto al manantial, que está bastante deteriorado. Si se diseña un proyecto nuevo de acceso al público, sería aconsejable rehabilitar el edificio principal. El acceso al manantial está prohibido por razones de seguridad; para visitarlo es necesario conseguir una autorización. Al lado del manantial se pueden encontrar facilidades para aparcar y también para comer (hay un restaurante allí mismo). Existen una decena de casas rurales en las proximidades de San José del Valle.

Se considera necesario destacar el especial interés científico del manantial de El Tempul. Consiste en el principal punto de drenaje de uno de los pocos acuíferos carbonáticos andaluces que funcionan en régimen natural.

Por otro lado, es necesaria su conservación debido a la buena calidad del agua de este acuífero para abastecimiento.

Existe al menos un cartel informativo fuera del edificio propio del manantial, que permite al público conocer el trazado del antiguo acueducto en comparación con la red actual. Sin embargo, la limitación del acceso reduce la utilidad de este sistema de información. Su eventual elaboración correspondería a una voluntad de habilitar el lugar para la acogida del público.

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

**9.- PROPUESTA DE INDICADORES**

“Durante el periodo comprendido entre agosto de 1995 y marzo de 1996, se perforaron varios sondeos: en la Sierra de Dos Hermanas (arroyo de la Zorra y arroyo del Infierno), en el arroyo de la Boca de Foz y en las inmediaciones del manantial de El Tempul. Todos ellos atraviesan un espesor saturado de acuífero mayor de 200 m, excepto en la vertical del manantial de El Tempul donde la potencia del acuífero es de unos 18 m (...). El control de los volúmenes bombeados y de la piezometría permitieron estimar las reservas del acuífero en 0,2 hm<sup>3</sup>/m en los 29 metros más someros de la zona saturada” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005). El IGME calculó la porosidad drenable del acuífero en un 0,5%. “El conjunto de materiales carbonatados presenta transmisividades comprendidas entre 8500 y 850 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 10<sup>-2</sup>” (IGME-CHG, 2001).

“La red de control piezométrico del IGME en este acuífero está compuesta por cuatro puntos. La cota piezométrica en estos puntos es coherente con un flujo subterráneo dirigido preferentemente hacia el manantial de El Tempul, con un gradiente hidráulico del orden del 0,7%. Las evoluciones piezométricas registradas después del bombeo de los años 1995 y 1996 muestran únicamente ascensos del nivel en respuesta a las precipitaciones, como suele ocurrir en acuíferos que funcionan en régimen natural. Dichos ascensos piezométricos llegan a ser del orden de 20 a 25 metros” (IGME-Diputación de Cádiz, 2005).

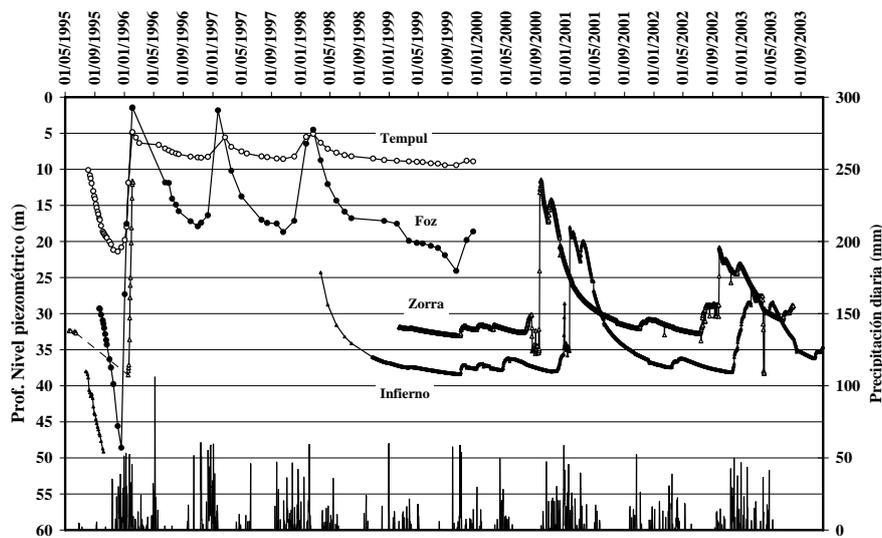


Figura 8: Evolución piezométrica en los sondeos controlados por el IGME en la Sierra de las Cabras (IGME-Diputación de Cádiz, 2005)

El manantial de El Tempul consiste en el principal punto de drenaje de un acuífero que funciona en régimen natural, en el que el IGME dispone en la actualidad de una estación meteorológica y dispositivos de control de salida del caudal del manantial y de evolución de nivel piezométrico. Se considera necesario mantener y controlar estos sistemas para poder avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos carbonáticos andaluces.

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**



Figura 9: El Tempul. Retranqueo (Antonio Martínez)

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

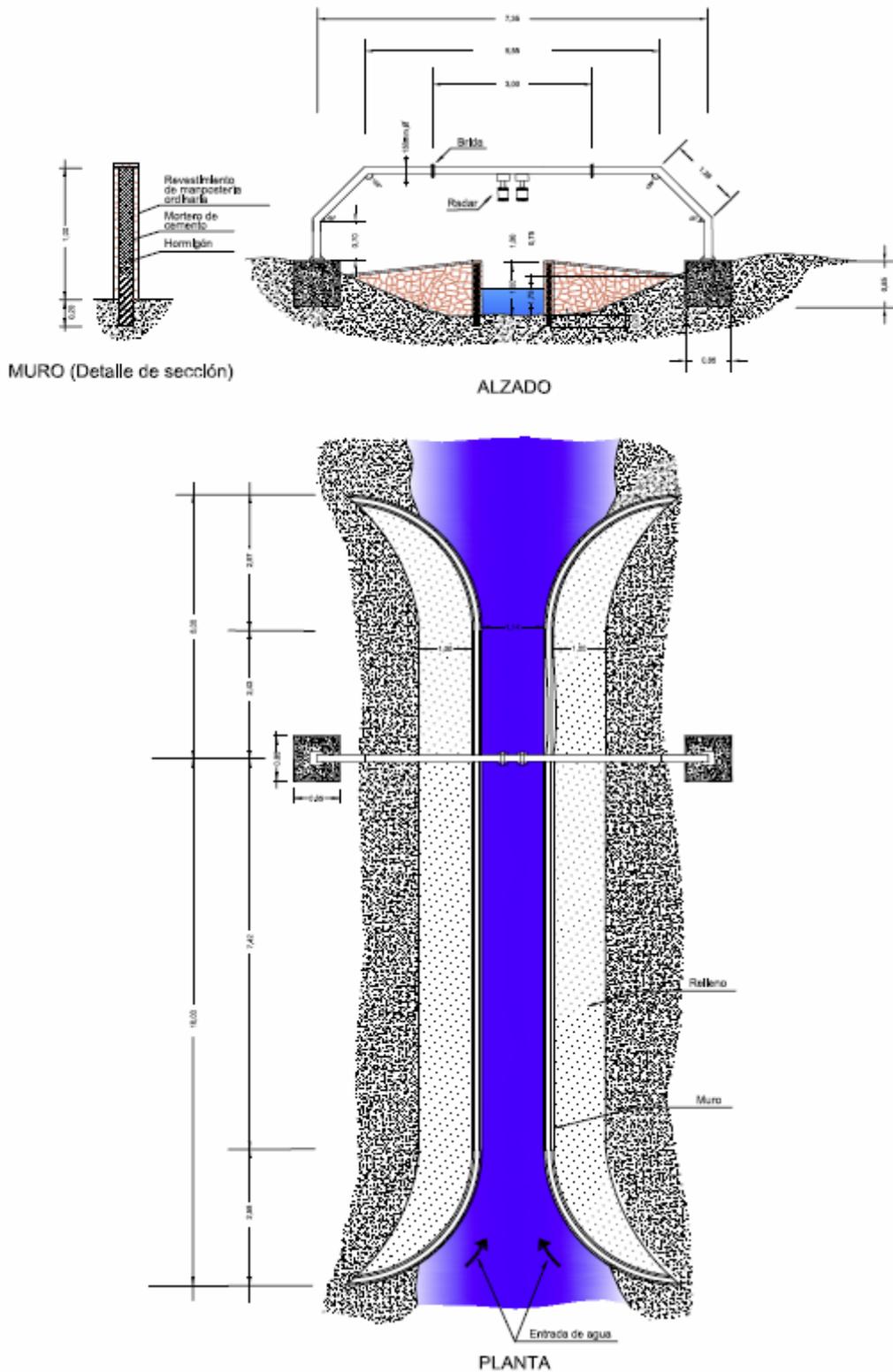


Figura 10: Retranqueo. Planta y alzado

**PLAN DE CONSERVACIÓN, RECUPERACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE MANANTIALES Y LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE ANDALUCÍA (ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS RELACIONADOS CON LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA)**

## **10.- BIBLIOGRAFÍA**

AAA (2006). “Breve guía del Patrimonio Hidráulico de Andalucía”. Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla, 277 pp.

IGME-CHG (2001). “Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.60 (Sierra de las Cabras)”. Convenio Confederación Hidrográfica del Guadalquivir – Instituto Geológico y Minero de España.

IGME-Diputación de Cádiz (2005). “Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz”, 263 pp.

IGME-AAA (2008). “Lugares de interés hidrogeológico de Andalucía”. Durán, J.J., Robledo, P.A., de la Hera, A. (Coords). Instituto Geológico y Minero de España, Agencia Andaluza del Agua. Madrid.

Jiménez, P., Andreo, B., Durán, J.J., Carrasco, F., López-Geta, J.A., Vadillo, I. y Vázquez, M. (2001). “Estudio hidrodinámico del manantial de El Tempul (Sierra de las Cabras, Cádiz, Sur de España)”. Boletín Geológico y Minero. Vol. 112, Nº 2, 85-102 pp.

Pérez Ramos, I., Andreo, B., López-Geta, J.A., Martín Machuca, M., Morales, R. y Emblanche, C. (2005). “Caracterización hidroquímica del manantial de El Tempul (Sierra de las Cabras, Cádiz)”. VI Simposio del Agua en Andalucía. Tomo I, 507-517 pp.