

63082

**NOTA TÉCNICA SOBRE  
LA VIABILIDAD DE CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR  
A TRAVÉS DE SONDEOS EN EL ACUÍFERO DE  
FUENGIROLA (MÁLAGA)**

**Madrid, 27 de febrero de 2006**



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



Instituto Geológico  
y Minero de España



<b>INFORME</b>	<b>Identificación: H8.002.06</b>
	<b>Fecha: 27-02-2006</b>
<b>TÍTULO</b> Nota técnica sobre la viabilidad de captación de agua de mar a través de sondeos en el acuífero de Fuengirola (Málaga).	
<b>PROYECTO</b> Asistencia técnica a la empresa estatal ACUAMED, S.A.	
<b>RESUMEN</b> <p>El objetivo de la nota técnica es hacer una valoración técnica de las posibilidades de captación de agua de mar mediante sondeos perforados en el acuífero de Fuengirola, con el fin de suministrar agua salada a una futura planta desaladora que será construida para incorporar nuevos recursos para el abastecimiento de la Costa del Sol.</p> <p>El resultado de la valoración preliminar es favorable a la captación de los recursos establecidos, a través del acuífero aluvial cuaternario de Fuengirola, siempre que sea confirmada mediante el plan de investigación y reconocimiento que se propone en esta nota técnica. Dicho plan consiste en la perforación de varios sondeos de reconocimiento, pruebas de bombeo así como testificación y geofísica de superficie.</p>	
<b>Revisión</b> <b>Nombre:</b> Juan Antonio López Geta <b>Unidad:</b> Hidrogeología y Aguas Subterráneas <b>Fecha:</b> 28/02/2006	<b>Autores:</b> Julio López Gutiérrez  Juan Antonio López Geta  <b>Responsable:</b> Julio López Gutiérrez

**NOTA TÉCNICA SOBRE  
LA VIABILIDAD DE CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR A  
TRAVÉS DE SONDEOS EN EL ACUÍFERO DE  
FUENGIROLA (MÁLAGA)**

**Madrid, 24 de febrero de 2006**



## ÍNDICE

	Pág.
Equipo de trabajo.....	2
1. OBJETIVO DE LA NOTA TÉCNICA.....	3
2. ANTECEDENTES.....	3
3. CAUDALES REQUERIDOS.....	4
4. GEOLOGÍA.....	5
4.1. MARCO GEOLÓGICO.....	5
4.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	7
5. HIDROGEOLOGÍA.....	9
5.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO.....	9
5.2. HIDROGEOLOGÍA LOCAL.....	10
5.3. CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
5.4. USOS DEL AGUA.....	14
5.5. INFRAESTRUCTURA DE ABASTECIMIENTO.....	14
6. VIABILIDAD PRELIMINAR DE LA OPCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR A TRAVÉS DE SONDEOS DE CAPTACIÓN EN EL ACUÍFERO CUATERNARIO DE FUENGIROLA.....	16
7. ZONAS DE ACTUACIÓN.....	17
8 PROPUESTA DE ACTUACIONES.....	17
9. ANEXO FOTOGRÁFICO.....	22
10. BIBLIOGRAFÍA.....	23



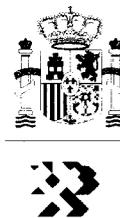
## **EQUIPO DE TRABAJO**

La presente nota técnica ha sido elaborada por el **INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA** interviniendo en su realización el siguiente equipo de trabajo:

**Julio López Gutiérrez** (Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid)

**Juan Antonio López Geta** (Director de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid).

Coordinación y Supervisión



## 1. OBJETIVO DE LA NOTA TÉCNICA

La presente nota técnica se realiza a petición de ACUAMED, S.A., al amparo del Contrato de Asistencia Técnica suscrito por esta Sociedad con el IGME. El objetivo es evaluar la posibilidad de captar agua de mar a través de sondeos perforados en el acuífero detrítico cuaternario de Fuengirola, en la provincia de Málaga, con el fin de alimentar a una planta desaladora situada en el entorno de la desembocadura del río Fuengirola.

Por parte de la empresa ACUAMED, S.A., se ha facilitado el caudal diario requerido, así como la ubicación aproximada de la planta desaladora.

En esta nota técnica se hará una primera aproximación a la posibilidad de captar agua de mar mediante sondeos, a partir de la información previa existente, indicando en su caso los trabajos complementarios que se consideran necesarios para poder valorar de manera más precisa las posibilidades reales de aprovechamiento.

## 2. ANTECEDENTES

La zona objeto de estudio se sitúa dentro de la poligonal delimitada por la Unidad Hidrogeológica 06.39 denominada Fuengirola, que tiene una superficie de 66 km<sup>2</sup>, y que engloba al Subsistema Acuífero Costero Cuaternario de Fuengirola, con una superficie aflorante de unos 15 km<sup>2</sup>.

El grado de conocimiento hidrogeológico de esta unidad no es demasiado alto aunque existe una caracterización general aceptable. En este sentido destacan los trabajos realizados por el IGME a través del proyecto PIAS sintetizado en 1983 en el estudio: "Investigación Hidrogeológica de las Cuencas del Sur de España (Sector Occidental)", así como los informes y notas técnicas realizados por el IGME sobre el control de la piezometría y la intrusión marina durante los años 80 y la primera mitad de los 90.

En el año 1988 se realizó un trabajo relacionado con el funcionamiento y la gestión del acuífero costero de Fuengirola (López Geta, *et al.*, 1988), y en el año 1992 el IGME elaboró una nota técnica sobre posibles alternativas para abastecimiento de agua a Fuengirola, en la que se hace una puesta al día del estado de las infraestructuras de abastecimiento del municipio de Fuengirola, haciéndose además una revisión litoestratigráfica de los materiales que constituyen las unidades hidrogeológicas existentes en el entorno del municipio.



En el año 2003, se hace una revisión del estado de la intrusión marina del acuífero aluvial de Fuengirola, (Gómez Gómez, *et al.*, 2003).

Hay que remarcar la ausencia de trabajos de geofísica por parte de las Administraciones Públicas en este acuífero, lo que restringe el grado de conocimiento de la geometría de las unidades geológicas que lo conforman. Por ello, para abordar este aspecto, aunque sea de manera preliminar, se ha recurrido a la cartografía geológica MAGNA a escala 1:50.000 (IGME, 1978) y al inventario de puntos de aguas y en concreto a aquellos puntos en los que existe información de las columnas litológicas de sondeo.

### 3. CAUDALES REQUERIDOS

Los caudales requeridos para la futura planta desaladora de Fuengirola son:

1ª Fase: 100.000 m<sup>3</sup>/día de agua de mar, para una producción aproximada de 50.000 m<sup>3</sup>/día de agua desalada, produciéndose un rechazo de salmuera de 50.000 m<sup>3</sup>/día.

2ª Fase: 200.000 m<sup>3</sup>/día de agua de mar, para una producción aproximada de 100.000 m<sup>3</sup>/día de agua desalada, produciéndose un rechazo de salmuera de 100.000 m<sup>3</sup>/día.

Para la obtención de los mencionados caudales existen dos alternativas:

- a) Toma abierta desde el mar.
- b) Captación de agua salada de origen marino, a través del acuífero cuaternario de Fuengirola.

Cada una de estas opciones tiene las siguientes ventajas e inconvenientes:

**Toma abierta desde el mar.** La principal ventaja de la toma abierta desde el mar es la obtención de importantes caudales. Éstos, sin embargo, están supeditados a las condiciones del mar ya que los aportes de sólidos en suspensión pueden ser importantes en épocas de temporal. Del mismo modo, los vertidos litorales producen una degradación de la calidad de las aguas marinas así como una alta variabilidad en su composición. Normalmente esta alternativa requiere el uso de sistemas de pretratamiento costosos, así como un mantenimiento in situ de la toma en el mar.

**Captación a través de acuíferos.** La captación de agua marina a través de acuíferos por medio de bombeo en pozos tiene como principal ventaja la obtención de agua de buena calidad para los fines requeridos, debido sobre todo al efecto de la filtración natural, obteniéndose normalmente aguas con una composición constante. Entre los principales

inconvenientes destaca la disponibilidad de terrenos próximos a la costa para la ubicación de los pozos de captación, que en el caso de requerirse grandes caudales puede ser elevada; el envejecimiento de los pozos de captación, debido sobre todo a su contacto permanente con agua salada, que produce incrustaciones. Además la ubicación y el diseño de los pozos debe establecerse sobre la base de estudios hidrogeológicos contrastados ya que de otro modo se pueden inducir procesos de intrusión marina y la contaminación salina de las captaciones próximas (figura 1).

Actualmente la captación a través de pozos se considera la opción más favorable, ya que una vez construidos los pozos y habiendo conseguido los rendimientos deseados, la operación de captación de agua de calidad no tiene condicionantes ambientales o climáticos como ocurre en las tomas directas.

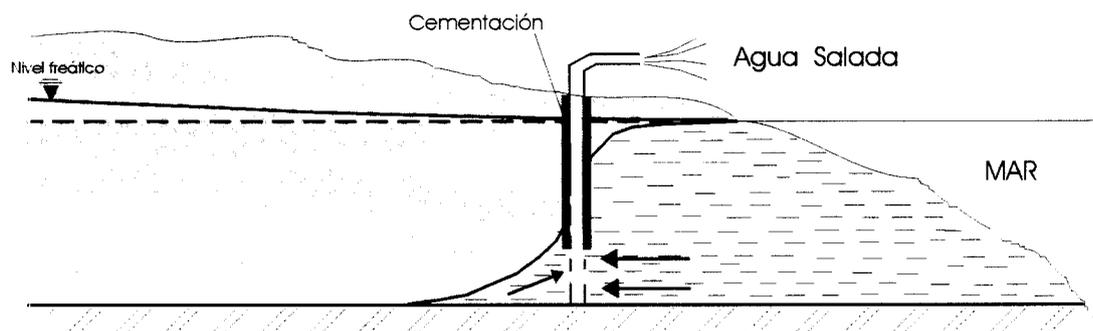


Figura 1. Esquema de captación de agua salada mediante bombeo en un acuífero libre costero. La idea consiste en bombear exclusivamente bajo la interfase, cementado el tramo de pozo situado por encima, con el objeto de evitar o al menos minimizar la entrada de agua dulce del acuífero y evitar la intrusión marina. El agua obtenida tiene una composición constante, prácticamente la del agua de mar, y una calidad excelente para los fines previstos, ya que se somete a un filtrado natural.

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1. MARCO GEOLÓGICO

El término municipal de Fuengirola se ubica en el sector meridional de la Cordillera Bética, en la zona Bética en sentido estricto. Los materiales aflorantes corresponden a los complejos Alpujarride y Maláguide, de edad Precámbrico-Paleozoico-Triásico, sobre los que se disponen discordantemente sedimentos pliocenos de origen marino, y cuaternarios fluviales, litorales y poligénicos (figura 2).

Los materiales Alpujarrides son en su mayoría de naturaleza silíceo (esquistos, cuarcitas, gneises), y carbonatada (mármoles), aunque también aparecen materiales ultrabásicos (peridotitas del manto de la unidad de los Reales).

Los materiales del complejo Maláguide son de naturaleza metapelítica (fillitas y pizarras), metapsamítica (grauwackas, conglomerados y areniscas), y carbonatada (calizas).

El terciario está representado por sedimentos marinos de edad Plioceno, discordantes sobre el Alpujarride y Maláguide. Están constituidos por alternancias de conglomerados, arenas fosilíferas, arcillas margosas y margas azules, con una potencia que puede superar los 100 m.

Los materiales cuaternarios están representados por los depósitos aluviales del río Fuengirola, constituidos por limos, arenas, gravas y conglomerados, así como por depósitos litorales (conglomerados y arenas de playa), y coluviales (arcillas con pasadas o niveles de gravas).

Desde un punto de vista tectónico, en el sector estudiado predominan las estructuras compresivas de cabalgamiento de dirección promedio E-O, con evidencias de rejuegos posteriores como fallas normales de bajo ángulo. Las unidades alpujarrides, sujetas a una importante deformación y un metamorfismo de grado medio-alto (gneisses con sillimanita y granate), ocupan la posición estructural más baja (unidad Blanca), a la que se superponen tectónicamente las peridotitas de la unidad de los reales. Los mantos maláguides ocupan una posición estructural culminante sobre el complejo Alpujarride, presentando una deformación y un metamorfismo menos intenso (fillitas y pizarras). Se identifican además fracturas de dirección NE-SO y NO-SE con movimiento de desgarre, así como pliegues y fracturas de dirección ONO-ESE.

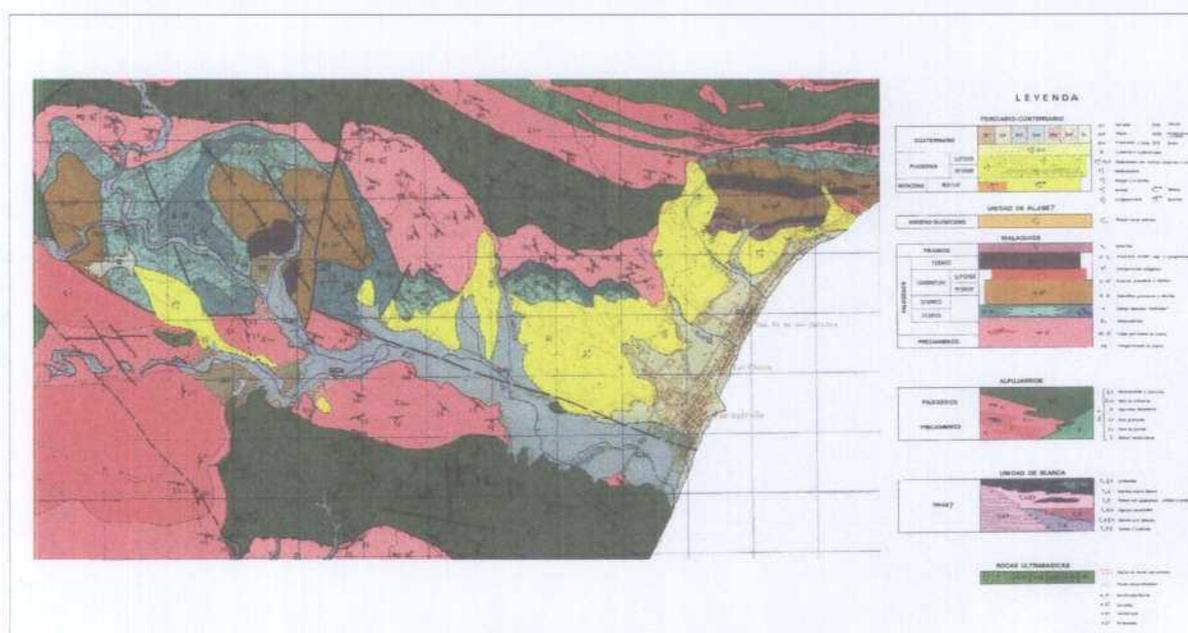
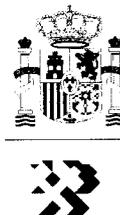


Figura 2. Mapa geológico a escala 1:50.000. Extraído de la Hoja 1.066 Coín (IGME, 1978).



## 4.2. GEOLOGÍA LOCAL

El modelo geológico local, responde a una pequeña cuenca rellena por un conjunto de sedimentos arcillosos y margosos con intercalaciones de arenas del Plioceno y sedimentos detríticos aluviales y poligénicos cuaternarios, dispuesto discordantemente sobre un basamento metamórfico de baja permeabilidad correspondiente a los materiales maláguides, hacia el norte del término municipal, y alpujárrides al sur.

El Plioceno aflora exclusivamente al norte del río Fuengirola, de manera subhorizontal, orlando los relieves circundantes a la llanura costera sobre la que extiende el núcleo urbano. De acuerdo con la descripción de estos materiales de origen marino, que se hace en la memoria de la cartografía geológica MAGNA de la Hoja 1.066 Coín (IGME, 1978), la serie en la cantera existente al sur de la Serrezuela está formada de muro a techo por:

- 2 m de arcillas margosas azuladas con lentejones de arenas finas amarillentas.
- 2 a 3 m De alternancia de arcillas margosas azuladas y arenas muy finas. El espesor de los niveles de arcillas es de 0,7 m aproximadamente, y el de las arenas de 5 a 10 cm.
- 5 cm de arenas muy finas.
- 2,5 m de arcillas.
- 5 cm de arenas muy finas.
- 5 a 7 m de arcillas margosas azuladas.
- 40 cm de limolitas arenosas compactas.

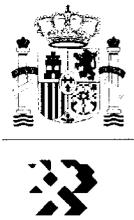
La abundante fauna y la litología de esta serie permite asignar esta unidad a un medio marino somero de baja energía (limos y arcillas), con intervalos de mayor energía (lentejones de arenas), e incluso episodios de playas (arenas muy finas).

Aunque la serie descrita tiene un espesor de unos 15 m, la columna del sondeo con número 1645-7-228, situado 1 km al sur de la misma, y emboquillado en los mismos materiales pliocenos, muestra la siguiente litología:

- 0-32 m margas amarillentas.
- 32-35 m nivel detrítico con bioclastos.
- 35-100 m margas oscuras.

De acuerdo con la posición del sondeo, la disposición subhorizontal de los materiales en superficie y la columna del sondeo descrita, el espesor de esta unidad es superior a los 140 m.

La presencia de estos materiales bajo el cuaternario aluvial del río Fuengirola queda patente en las columnas de los sondeos 1645-7-185 y 1645-7-186, donde bajo un relleno cuaternario de limos y arenas de 47 y 40 m respectivamente, aparecen margas azuladas atribuibles al Plioceno.



Del mismo modo, bajo el cuaternario coluvial y litoral situado al norte del casco antiguo de Fuengirola, en las proximidades del arroyo Real, y a 30 m de profundidad, aparece la misma serie margo-arenosa pliocena, lo que se pone de manifiesto en la columna del sondeo 1645-7-233.

No se ha constatado la presencia del Plioceno en la margen derecha del río Fuengirola, debido posiblemente a la falta de información de sondeos.

En lo que respecta al Cuaternario, cabe distinguir tres grupos de materiales:

- a) Sedimentos aluviales asociados al río Fuengirola.
- b) Sedimentos poligénicos.
- c) Sedimentos litorales.

**Sedimentos fluviales.** El río Fuengirola discurre según una dirección ONO-ESE, hacia el mar, cuyo valle se alinea con la fractura que pone en contacto los materiales de los complejos Alpujárride y Maláguide, lo que posiblemente le confiera un control estructural. Los sedimentos fluviales están asociados a la dinámica fluvial del río Fuengirola. De este modo se distinguen limos de llanura de inundación y arenas y gravas tanto de canal como de desbordamiento en la llanura de inundación.

El espesor de estos materiales, que constituyen el acuífero principal de Fuengirola, se incrementa progresivamente aguas abajo, de modo que en el sondeo 1645-6-0086, situado en la confluencia de los arroyos de la Pasadas y los Pilonos, ambos tributarios del río Fuengirola, el espesor de Cuaternario aluvial es de 12 m, mientras que en el sondeo 1645-7-241, en el tramo medio, el espesor es de unos 40 m, y en los sondeos 1645-7-185 y 1645-7-186, situados aguas abajo de la depuradora, los espesores se incrementan hasta 40 y 47 m respectivamente. Por este motivo, es de suponer que en la desembocadura del río Fuengirola, el espesor de Cuaternario aluvial debe ser superior a 50 m.

**Sedimentos poligénicos.** Dentro de este conjunto se aglutinan los sedimentos coluviales y restos de conos de deyección que se depositaron en el sector costero, al norte de la desembocadura del río Fuengirola, sobre los materiales pliocenos. Están constituidos por arcillas rojas con niveles o pasadas de cantos de materiales paleozoicos, con ligero buzamiento hacia la costa.

El espesor de estos materiales, de acuerdo con el sondeo 1645-7-233, es de 30 m en la proximidad de la costa.

**Sedimentos litorales.** Estos materiales están constituidos por arenas finas de playa, y se ubican exclusivamente adosados a la línea de costa. Además, en la proximidad de las desembocaduras de los torrentes en el mar, se producen importantes acumulaciones de bloques y cantos. De acuerdo con la columna de los sondeos 1645-7-231 y 1645-7-232, el espesor de estos materiales es superior a los 4 m.



## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO

El acuífero costero de Fuengirola, con una superficie de 15 km<sup>2</sup>, se sitúa en la costa malagueña, a unos 40 km al oeste de la ciudad de la capital e inmediatamente al oeste de la localidad de Fuengirola. Se desarrolla principalmente en el aluvial del río Fuengirola y sus afluentes, y en sector más próximo a la costa en materiales cuaternarios poligénicos y litorales (figura 3).

La cuenca vertiente que alimenta a este acuífero tiene una extensión de 118 km<sup>2</sup>, perteneciendo a la misma el río Fuengirola y sus afluentes, el río Ojén y el arroyo de las Pasadas o Alaminos. Recibe además aportes de la cercana cuenca de los arroyos Real y Pajares, con una superficie de 32 km<sup>2</sup>, que desembocan directamente en el mar al igual que el río Fuengirola.

La precipitación media sobre la cuenca es de 733 mm/año, concentrándose las lluvias en los meses de octubre a marzo, correspondiendo el periodo más seco a los meses de junio a agosto.

La evapotranspiración potencial se sitúa en torno a los 925 mm/año. Considerando una capacidad de campo del suelo de 100 mm, la evapotranspiración real se sitúa en torno a los 450 mm/año, lo que supone un 60 % aproximadamente de la precipitación media de la cuenca.

De acuerdo con estos datos, el balance del acuífero queda establecido de la siguiente manera (ITGE y Junta de Andalucía, 1998):

#### ENTRADAS

Lluvia directa:	1,5 – 3	hm <sup>3</sup> /año
Infiltración ríos:	14 – 19	hm <sup>3</sup> /año
Retorno de riegos:	1	hm <sup>3</sup> /año
<b>TOTAL</b>	<b>16,5 – 23</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>

## SALIDAS

Bombes:	6,5 hm <sup>3</sup> /año
Descargas al mar:	10 – 17 hm <sup>3</sup> /año
<b>TOTAL</b>	<b>16,5 – 23 hm<sup>3</sup>/año</b>

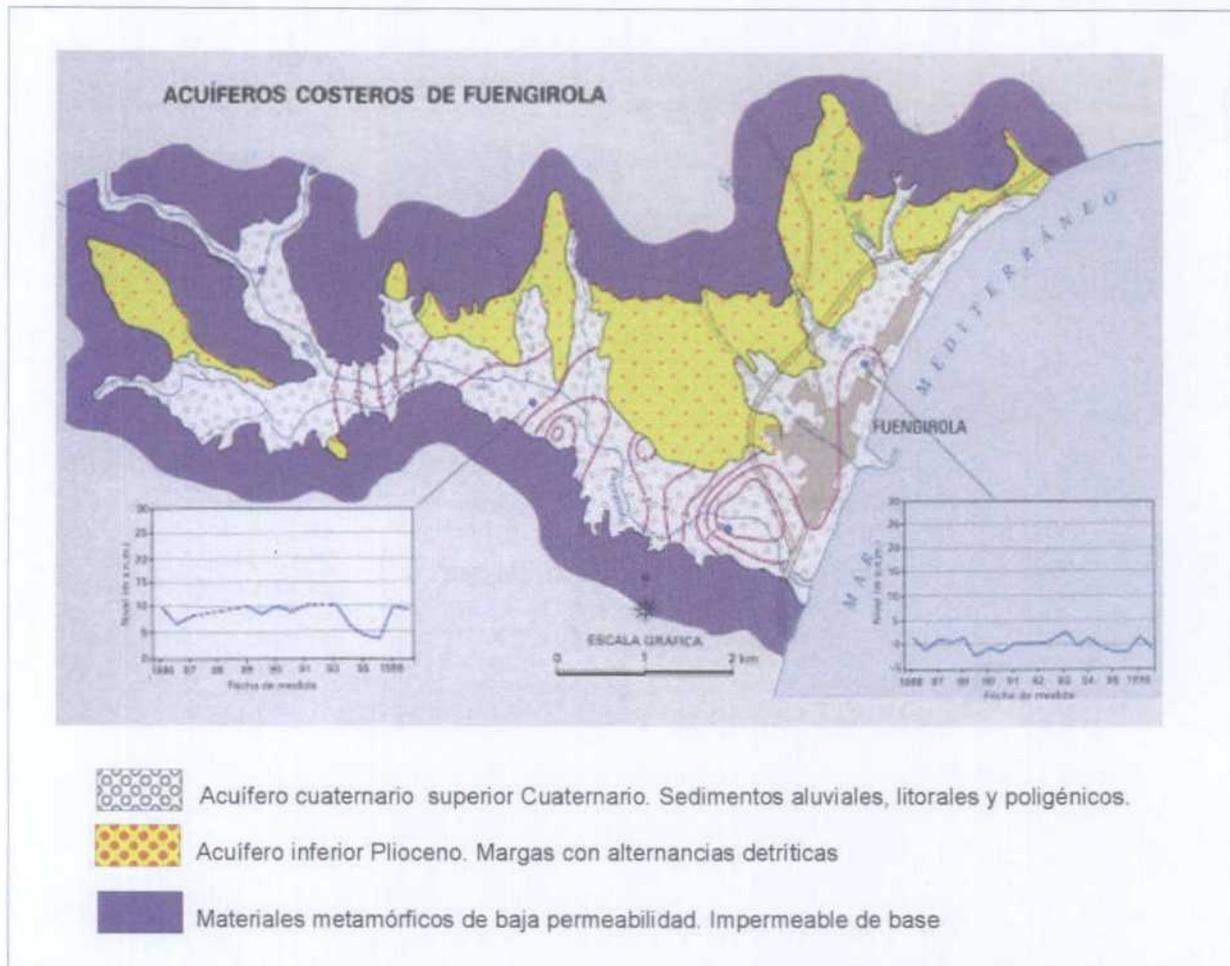


Figura 3. Esquema hidrogeológico del acuífero costero de Fuengirola

## 5.2. HIDROGEOLOGÍA LOCAL

Desde un punto de vista hidrogeológico local, los materiales aflorantes en el entorno del acuífero de Fuengirola se pueden agrupar en dos conjuntos:



- **Materiales de baja permeabilidad**: son los materiales metamórficos de los complejos Alpujárride y Maláguide, que constituyen un sustrato de baja permeabilidad sobre el que se depositaron los sedimentos pliocenos y cuaternarios del valle del río Fuengirola y la llanura costera.
- **Materiales permeables**: son aquellos con capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea en cantidades más o menos elevadas por lo que pueden presentar interés como acuíferos.

De acuerdo con esta clasificación, en el acuífero de Fuengirola se distinguen básicamente dos acuíferos: uno superior cuaternario, y otro inferior plioceno.

**El acuífero superior cuaternario** está formado por los sedimentos aluviales ligados al río Fuengirola, y se trata del acuífero principal, donde se ubican los pozos más productivos. También se incluyen en este acuífero los materiales cuaternarios poligénicos que afloran al norte del río Fuengirola, hacia el núcleo urbano y de forma paralela a la costa, aunque su naturaleza más arcillosa le confiere unas características hidráulicas más pobres que al acuífero aluvial en sentido estricto.

La superficie piezométrica del acuífero aluvial muestra una estrecha relación río-acuífero, de modo que en la parte alta el río alimenta al acuífero, mientras que en el tramo bajo es el acuífero el que alimenta el cauce del río. Las isopiezas indican que existe una alimentación del acuífero plioceno hacia el cuaternario. Este hecho tiene relevancia en cuanto a la calidad del acuífero cuaternario, ya que en el plioceno se ha constatado la presencia de aguas congénitas salinas, lo que se debe tener en cuenta a la hora del diseño de los pozos para evitar la contaminación "in ascensum" del acuífero cuaternario.

El flujo subterráneo se establece subparalelo al trazado del río Fuengirola, es decir de ONO a ESE hacia la costa. De acuerdo con los esquemas piezométricos, se pueden calcular gradientes hidráulicos en este acuífero entre 5 y 3 por mil, aunque en el sector próximo a la costa puede ser del 8 por mil.

Sin embargo, bombeos excesivos esporádicos han dado lugar a la formación de conos de depresión que en algunas circunstancias se han situado bajo el nivel del mar, lo que ha provocado problemas de salinización. Este hecho ha quedado patente en los pozos próximos al mar, como el sondeo del Conde en la margen derecha del río Fuengirola y a 1 km en línea recta del mar.

Con respecto a la evolución temporal de la piezometría, en el sector occidental del acuífero se dan las mayores oscilaciones piezométricas, de hasta 4 m. En el sector medio las oscilaciones son menos acusadas, entre 2,5 y 4 m y en la proximidad de la costa las variaciones son inferiores a 1 m.

Los valores estimados de transmisividad son de 720 a 1.440 m<sup>2</sup>/día, con coeficientes de almacenamiento de 10 a 25%, aunque estos valores son orientativos y deben ser comprobados mediante ensayos de bombeo planificados.

**El acuífero inferior plioceno** ocupa una extensión de unos 7,5 km<sup>2</sup>, con un espesor medio de 100 m. Sus características hidráulicas son peores que las del acuífero cuaternario, con valores estimados de transmisividad entre 14 y 48 m<sup>2</sup>/día, y una porosidad eficaz del 1% al 5%, sin que se conozca el valor del coeficiente de almacenamiento. En algunos sectores el potencial hidráulico de este acuífero es más elevado que el del cuaternario, lo que condiciona la alimentación vertical hacia éste y ocasionalmente el confinamiento del Plioceno. Existen aproximadamente unos 70 pozos que captan este acuífero, y existen evidencias de problemas geotécnicos que se han relacionado con la descompresión por bombeo de este acuífero.

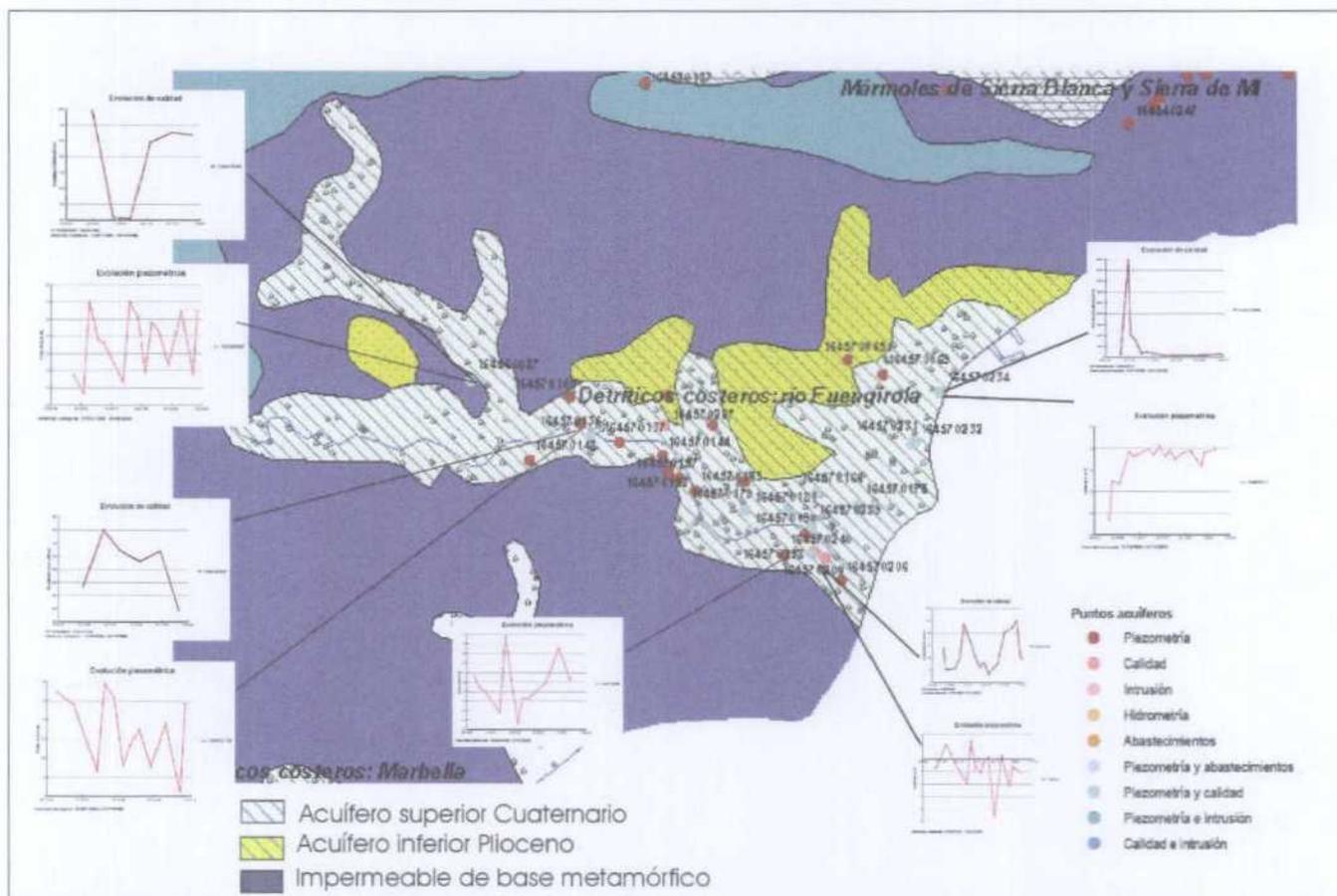


Figura 4. Datos de las redes de control. Evolución de la conductividad eléctrica y la piezometría en distintos sectores del acuífero de Fuengirola



### 5.3. CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La evolución de la calidad de las aguas subterráneas se ha seguido desde el año 1981 mediante la red de control de calidad, explotada por el IGME a lo largo de los años 80 y 90 (figura 4). En general la calidad de las aguas subterráneas del acuífero de Fuengirola se puede considerar mediocre, debido a una dureza media a elevada y una mineralización considerable, aunque normalmente no se llegan a sobrepasar los límites establecidos para aguas de consumo humano, a excepción de periodos climáticos excesivamente secos y sujetos a fuertes extracciones.

Predominan las facies bicarbonatadas Ca-Mg, sulfatadas Ca-Mg y cloruradas Mg, estas sobre todo en el sector costero. Las aguas de mejor calidad corresponden a las facies bicarbonatadas, y se encuentran asociadas al acuífero cuaternario aluvial y en sectores próximos al río Fuengirola, donde éste recarga el acuífero.

Los puntos de la red que siempre han mostrado concentraciones elevadas en sulfatos y en sodio parecen estar relacionados con el acuífero plioceno, que puede incluso alterar la calidad del agua del cuaternario. Así, la concentración en el ion sodio llega a ser más alta en sectores del interior que en la costa, lo que hace pensar más bien en una contaminación "in ascensum" desde el acuífero plioceno, que en procesos de intrusión marina.

En tiempos recientes se ha producido un incremento en nitratos y nitritos debido a la presión antrópica, por vertidos y fugas de aguas residuales, así como por explotaciones agropecuarias.

En lo que respecta a la relación acuífero-mar, también en el año 1981 se estableció una red de control de la intrusión marina, que fue operativa y estuvo gestionada por el IGME durante los años 80 y 90, y en la que se determinaban periódicamente la concentración de cloruros y la conductividad eléctrica del agua subterránea. Los datos obtenidos durante este periodo indican que en la zona próxima al cauce del río Fuengirola, junto a la desembocadura, se aprecian indicios de intrusión marina estacional, provocada por los bombeos. La zona costera próxima al casco urbano de Fuengirola no ofrece indicios de intrusión marina desde los años 90, debido al descenso en las extracciones para uso agrícola en esta zona.

Las mayores concentraciones en cloruros se dan en los puntos de la red de control 1645-7-200 y 1645-7-235, situados a 700 m y 200 m respectivamente de la línea de costa, en la zona de la desembocadura del río Fuengirola, con un promedio de 400 mg/L, aunque se producen puntas máximas entre 800 y 1.000 mg/L y mínimas entre 100 y 200 mg/L, siempre en muestras someras tomadas a menos de 20 m de profundidad. Esta alta variabilidad, con incrementos rápidos de la salinidad y recuperaciones también rápidas, son indicativas más que de un avance de una interfase, a la presencia de niveles muy transmisivos en conexión con el mar en la zona de la desembocadura, posiblemente relacionado con la presencia de gravas.



#### **5.4. USOS DEL AGUA**

Los usos del agua en Fuengirola están destinados básicamente a la agricultura y al abastecimiento urbano. La superficie aprovechada con fines agrícolas se estima en una 735 Ha, destacando los productos hortícolas y la alfalfa, así como flores y frutos subtropicales, regados principalmente a partir de aguas subterráneas. Con una dotación promedio de 7.000 m<sup>3</sup>/ha/año, la demanda sería del orden de 5,1 hm<sup>3</sup>/año.

Sin embargo la principal actividad económica de la zona es la industria turística, lo que confiere al uso urbano un papel preponderante. La población de hecho, en 2005 se situaba en 62.915, aunque en los meses estivales supera los 100.000 habitantes.

Aplicando las dotaciones teóricas previstas en el Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (250 L/hab/día), la demanda urbana asciende a unos 6,8 hm<sup>3</sup>/año. En los meses de verano se precisan aproximadamente unos 30.000 m<sup>3</sup>/día, y durante el resto del año unos 18.000 m<sup>3</sup>/día.

Considerando en conjunto los usos urbanos y agrícolas, la demanda total asciende a unos 12 hm<sup>3</sup>/año.

De los 6,5 hm<sup>3</sup>/año bombeados, aproximadamente el 60% se destina al abastecimiento urbano, y el 40% restante a usos agrícolas.

#### **5.5. INFRAESTRUCTURA DE ABASTECIMIENTO**

En la actualidad, el abastecimiento a Fuengirola se realiza, prácticamente de modo exclusivo a partir del embalse del río Verde. Únicamente en periodos de sequía o cuando se producen cortes en el suministro desde el embalse, se utilizan captaciones municipales y pozos privados. Todos ellos están conectados a la red municipal de distribución, bien directamente o a través de depósitos de almacenamiento

En el conjunto del acuífero existen aproximadamente unos 300 pozos, la mayor parte de los cuales captan el acuífero cuaternario, sobre todo para riego. Actualmente los pozos de abastecimiento urbano más importantes son cinco sondeos situados aguas arriba de la estación depuradora de aguas residuales de Fuengirola, que captan exclusivamente el acuífero cuaternario aluvial, que en este sector está constituido por 40 m de gravas dispuestos sobre las margas pliocenas. De estos pozos tres fueron construidos en 1995 y dos posteriormente, y bombean con un caudal de 60 L/s, en algunos momentos de forma continua, produciéndose escasos descensos. En origen se llegó a bombear con un caudal de 100 L/s, aunque se optó por reducir el caudal por seguridad a 60 L/s, con el fin de evitar posibles efectos de la intrusión marina.

En el término municipal de Fuengirola existen otros sondeos de abastecimiento, aunque por diversas causas (calidad, deterioro, bajo caudal, etc) no se utilizan o lo hacen de manera muy esporádica (Figura 5). Se trata del sondeo del Conde, sondeo Realenga, pozo del Ferial, pozo el Concejo, sondeo del Parbulario, y otros. Normalmente los pozos que obtienen mejores rendimientos son los situados en el aluvial del río Fuengirola, aunque los ubicados próximos al mar presentan efectos de la intrusión marina. Los pozos que captan el cuaternario poligénico suelen presentar problemas de caudal y de intrusión marina.



Figura 5. Infraestructura de abastecimiento urbano en Fuengirola

## **6. VIABILIDAD PRELIMINAR DE LA OPCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR A TRAVÉS DE SONDEOS DE CAPTACIÓN EN EL ACUÍFERO CUATERNARIO DE FUENGIROLA**

De acuerdo con los datos disponibles se hacen las siguientes consideraciones:

- Existe un acuífero detrítico costero, de origen aluvial, en el que existen captaciones de aguas subterráneas con bombes de 60 L/s aunque pueden soportar bombes con caudales superiores. Si no se hacen es por evitar riesgos de salinización.
- Si el acuífero presenta características similares en la costa, se podrían establecer bombes de 100 L/s, que si se producen por debajo de la interfase y a una profundidad conveniente, no deberían inducir intrusión marina. En tal caso se precisarían entre 10 y 15 pozos para obtener los 100.000 m<sup>3</sup>/día requeridos en la primera fase, y entre 20 y 25 pozos para los 200.000 m<sup>3</sup>/día de la segunda.
- Los datos estimados de transmisividad son del orden de 1.000 m<sup>2</sup>/día, que implicarían caudales específicos de 10 L/s/m. Esto significa que con 10 m de descenso teórico se obtendrían 100 L/s. Teniendo en cuenta las pérdidas de carga, estos descensos serán superiores.
- Se necesita tener espesor suficiente de acuífero cuaternario saturado de agua salada, capaz de soportar los descensos provocados por bombes de 100 L/s. Estos espesores se suponen superiores a los 50 m en la desembocadura del río Fuenquirola, siempre considerando que ésta ha migrado casi con toda seguridad a lo largo del Cuaternario.

Por estos motivos, se considera que la alternativa de captación de agua de mar mediante sondeos es viable a priori, si bien todas las premisas que se han tenido en cuenta deben ser confirmadas mediante un plan de investigación que debe ser establecido.

Es necesario remarcar que con el fin de evitar la afección a pozos del entorno o inducir intrusión marina, cualquier obra de captación de agua de mar mediante sondeos se debe restringir al tramo de acuífero ubicado por debajo de la interfase agua dulce – agua de mar, debiendo quedar convenientemente cementado el espacio anular de la parte de acuífero que queda por encima de la misma, de acuerdo con el esquema indicado en la figura 1.



## **7. ZONAS DE ACTUACIÓN**

Teniendo en cuenta los factores expuestos anteriormente como condicionantes de la viabilidad de la alternativa de captación de agua de mar mediante sondeos en el acuífero de Fuengirola, la selección de las zonas donde se deben desarrollar los trabajos de investigación, se ha realizado de siguiendo los siguientes criterios:

- Mayores espesores de cuaternario aluvial supuestos, con el fin de obtener el mayor espesor de acuífero saturado por agua de mar. Los mayores espesores de sedimentos fluviales se suelen acumular en las desembocaduras de los ríos.
- Mayor distancia posible a pozos de abastecimiento, para evitar la salinización de los mismos.
- Menor distancia posible al mar, para captar la interfase agua dulce-agua salada a la menor profundidad posible.
- Evitar zonas excesivamente urbanizadas.

La zona que cumple todos estos requisitos es la franja costera que se extiende desde la margen derecha del río Fuengirola, al pie del castillo, hacia el norte, en una longitud aproximada de 1 km.

El objetivo de los pozos de captación en este sector serían posibles niveles de arenas y gravas de alta transmisividad, conectados con el mar, y situados por debajo de la interfase. Por lo tanto el objetivo de las campañas de investigación sería probar la existencia de dichos niveles, su geometría y continuidad, calcular sus parámetros hidráulicos, comprobar el comportamiento hidrodinámico del acuífero frente a los bombeos requeridos, y evaluar los impactos sobre el medio originados por la actuación.

## **8. PROPUESTA DE ACTUACIONES**

La opción de captación de agua salada a través del acuífero costero de Fuengirola precisa un programa de mejora del conocimiento, ya que actualmente presenta lagunas importantes y los caudales requeridos para abordar un plan como el que se pretende, son elevados.

Con el objeto de optimizar el rendimiento de los pozos y evitar la posible afección a los pozos de abastecimiento existentes en el acuífero, se propone estudiar el sector de playa existente en el entorno de la desembocadura del río Fuengirola, en ambas márgenes.



Se propone realizar cuatro sondeos de reconocimiento, dos en cada margen del río, lo más próximo posible al mar con un diámetro suficiente para poder realizar ensayos, y un piezómetro a una distancia inferior a 50 m desde cada sondeo de investigación, lo que hace un total de cuatro sondeos de reconocimiento y cuatro piezómetros. La finalidad es obtener la columna litológica, para conocer tanto el espesor del acuífero cuaternario como la disposición de los tramos de diferente permeabilidad, así como realizar ensayos de bombeo con piezómetro de observación que permitan obtener los parámetros hidráulicos del acuífero cuaternario y la afección entre pozos.

Se propone además realizar una campaña de geofísica puntual, mediante testificación en los sondeos de reconocimiento, que permitirá conocer la ubicación de la interfase agua dulce – agua salada, la litología de la columna del sondeo y la distribución de tramos permeables. La finalidad de esta campaña, es obtener los datos que permiten el correcto diseño de los pozos de abastecimiento.

Con el objeto de conocer la distribución espacial y la geometría de los materiales cuaternarios a lo largo de la franja costera de 500-1.000 m, donde se prevé la actuación, se propone realizar una campaña de tomografía eléctrica o sísmica de reflexión superficial, complementada con perfiles de polarización inducida.

#### **A) Sondeos de reconocimiento:**

Los sondeos de investigación deberían perforarse mediante el método de circulación inversa, evitando de este modo el uso de lodos, con un diámetro de 500 a 600 mm previendo posibles reducciones de diámetro y la aplicación adecuada del empaque de grava. La entubación debe realizarse con PVC, con el fin de evitar los efectos de la corrosión del agua de mar.

La profundidad de perforación dependerá del espesor de los sedimentos cuaternarios, aunque teniendo en cuenta los espesores obtenidos en sondeos situados en sectores más proximales, se considera que en la zona de la desembocadura del río Fuengirola, el espesor de cuaternario puede alcanzar los 80 m. Para tener mayor grado de seguridad sería conveniente planificar sondeos de 100 m de profundidad.

Durante la perforación se llevará a cabo la toma de muestras de ripio cada metro, conservándose las muestras en bolsas de plástico con autocierre. Se registrará asimismo la conductividad eléctrica, temperatura y la posición del nivel piezométrico en cada maniobra que permita la introducción de una sonda.

Con el fin de disponer de datos representativos durante los ensayos de bombeo, es necesaria la perforación de un total de cuatro piezómetros de observación, cada uno de ellos a una distancia de unos 50 m desde cada sondeo de investigación. Estos piezómetros se deben perforar a pequeño diámetro y estar entubados en PVC.



La posición aproximada de los sondeos de investigación se muestran en la figura 6.

### **B) Testificación geofísica:**

Los registros que se considera conveniente realizar en cada sondeo de reconocimiento son: temperatura, conductividad, gamma natural, potencial espontáneo, resistividad normal (16''- 64'') y resistencia monoelectrónica.

La combinación de estos registros permitirá la identificación de niveles permeables, así como identificar la posición de la interfase en el sondeo, siendo una información imprescindible para poder diseñar los pozos de explotación.

### **C) Ensayos de bombeo:**

Se propone realizar dos ensayos de bombeo en cada sondeo de reconocimiento, uno a caudal constante con recuperación y medidas en un piezómetro de observación, y un segundo ensayo de bombeo escalonado con cuatro escalones.

El objetivo del ensayo a caudal constante es obtener los valores de los parámetros hidráulicos, y el radio de influencia, mientras que el ensayo escalonado permite evaluar las pérdidas de carga en el pozo y el caudal óptimo de explotación.

Paralelamente a los ensayos de bombeos, se deben realizar aforos diferenciales en el río Fuengirola, con el fin de determinar cualquier cambio en la relación río/acuífero provocado por el bombeo con el fin de determinar la posible infiltración de agua del río hacia el acuífero.

### **D) Campañas de geofísica:**

De acuerdo con las características litológicas de los materiales existentes, el modelo geológico más probable y con el tipo de problema a resolver, se propone el uso de dos técnicas geofísicas a lo largo del tramo de costa estudiado.

1. Tomografía eléctrica. Su fundamento es similar al de los sondeos eléctricos verticales, aunque al disponerse múltiples electrodos que pueden actuar consecutivamente como electrodos de corriente o como electrodos de lectura, permite obtener una visión tridimensional de la distribución de resistividades en el subsuelo de una manera rápida. En el caso estudiado su utilidad reside en poder detectar el basamento resistivo, es decir, los materiales metamórficos Alpujárrides que presentan un buen contraste de resistividad con respecto al relleno cuaternario o pliocuaternario,



determinando la estructura geológica y las zonas con mayores espesores de sedimentos.

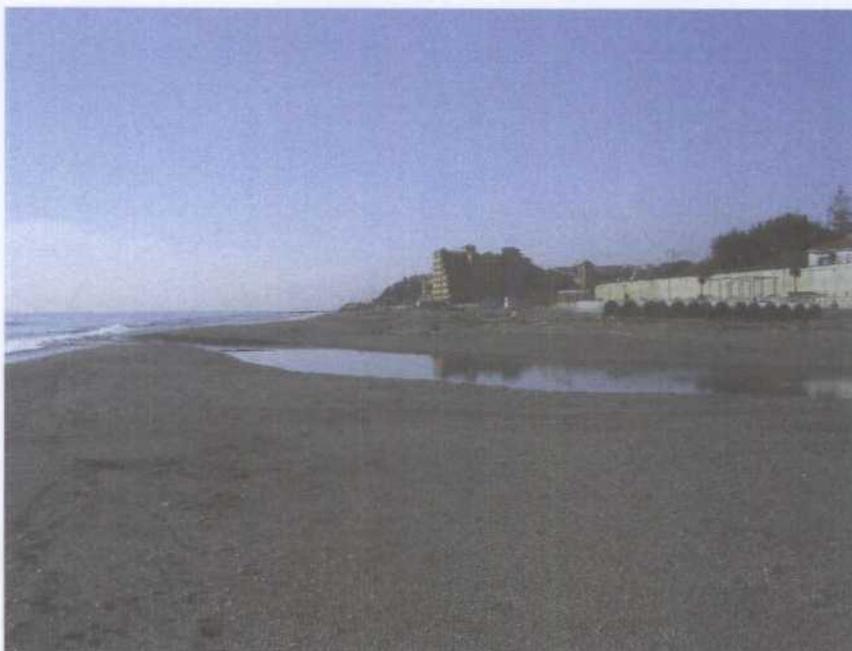
2. Sondeos de polarización inducida. Permite distinguir las bajas resistividades debidas a la presencia de agua salada de aquellas debidas a la presencia de arcillas. Por lo tanto su objetivo es ubicar la interfase agua dulce agua salada.

Esta información debe quedar integrada en un estudio hidrogeológico clásico, que incluya una cartografía hidrogeológica de detalle, inventario de puntos de aguas, medidas piezométricas y de calidad. La combinación de los datos aportados por el estudio hidrogeológico, los sondeos mecánicos y la geofísica permitirá confirmación de las posibilidades de captar los caudales requeridos, y su posible afección medioambiental, así como es su caso, la ubicación más idónea de los pozos de captación.

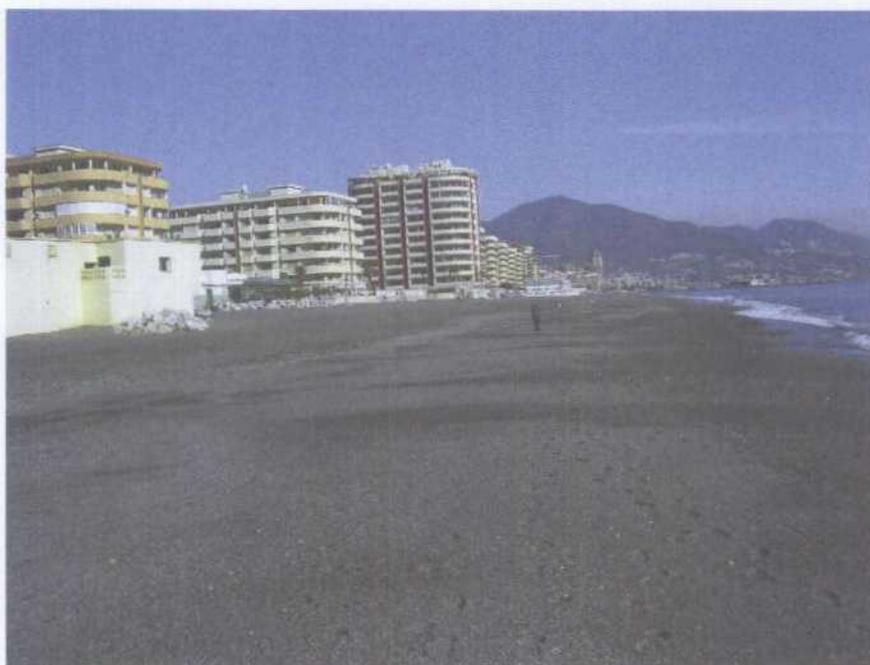


Figura 6. Propuesta de investigación.

## 9. ANEXO FOTOGRÁFICO



*Fotografía 1. Desembocadura del río Fuengirola. Las actuaciones propuestas se distribuyen a lo largo de las dos márgenes. Orientación sur.*



*Fotografía 2. Detalle del área de actuación en la margen izquierda del río Fuengirola. Orientación norte.*



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Gómez Gómez, J.D., López Geta, J.A., y Garrido Schneider, E., (2003). The state of seawater intrusion in Spain. In: Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. J.A. López-Geta, J. De Dios Gómez, J.A. de la Orden, G. Ramos y L. Rodríguez eds. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España, 2003. ISBN: 84-7840-471-6. pp. 169-186.
- IGME (1978). Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Coín. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria.
- IGME, (1983). Sistema Acuífero Costero "Cuaternario de Fuengirola". Investigación hidrogeológica de las cuencas del sur de España (Sector Occidental). Informe técnico nº 1. Memoria – Síntesis. Ministerio de Industria y Energía. Secretaría de la energía y recursos minerales.
- IGME, Inédito. Proyecto de un sondeo mecánico para la investigación del Cuaternario y Plioceno del río Fuengirola. Mayo de 1975.
- IGME, Inédito. Nota técnica nº 255, Málaga, 20 - 1984. Informe sobre el control de la intrusión marina en los acuíferos costeros de la cuenca Sur (sector Occidental) durante 1984. Diciembre de 1984.
- IGME, Inédito. Nota técnica nº 363. Evolución de la piezometría en los acuíferos del sector occidental de la cuenca Sur durante los años 1987-88 y 1988-89. Diciembre de 1990.
- IGME, Inédito. Nota técnica Málaga nº 367. Control de la intrusión marina en los acuíferos costeros de la provincia de Málaga durante los años hidrológicos 1987-88 y 1988-89. Enero de 1991.
- IGME, Inédito. Nota técnica nº 390. Informe hidrogeológico sobre posibles alternativas para abastecimiento de agua a Fuengirola (Málaga). Agosto de 1992.
- ITGE y Junta de Andalucía, (1998). "Atlas hidrogeológico de Andalucía". Consejería de Obras Públicas y Transportes, Consejería de Trabajo e Industria, Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 216 pp. Il y planos. ISBN: 84-7840-351-5. NIPO: 241-97-018-8.
- López Geta, J.A., Parra y Alfaro, J.L., y Rivera Martínez, A., (1988). Acuífero costero de Fuengirola (Málaga). In: Proc. 1<sup>st</sup> Int Simp. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. Almuñecar 1988. Vol.II. pp. 317-335.



**Páginas web:**

[http://www.igme.es/internet/ServiciosMapas/siasweb/prin\\_sias.htm](http://www.igme.es/internet/ServiciosMapas/siasweb/prin_sias.htm). SIAS. Sistema de Información del Agua Subterránea. Andalucía.

<http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>. Unidades Hidrogeológicas de España.

**LOS AUTORES DE LA NOTA TÉCNICA**

Fdo.: Julio López Gutiérrez

Fdo.: Juan Antonio López Geta