



**NOTA TÉCNICA HIDROGEOLÓGICA COMO APOYO A LA  
PROTECCIÓN DEL ABASTECIMIENTO A FORNES (ARENAS DEL  
REY, GRANADA)**



## **ÍNDICE**

### **1. INTRODUCCIÓN**

### **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL ABASTECIMIENTO**

#### **2.1. INFRAESTRUCTURAS**

### **3. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA**

#### **3.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO**

#### **3.2. HIDROQUÍMICA DEL SECTOR**

#### **3.3. LÍMITES Y GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO**

#### **3.4. PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS Y PIEZOMETRÍA**

#### **3.5. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y BALANCE HIDRÁULICO**

### **4. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO FRENTE A LA CONTAMINACIÓN**

#### **4.1. INVENTARIO DE LOS FOCOS CONTAMINANTES**

#### **4.2. VULNERABILIDAD FRENTE A LA CONTAMINACIÓN**

#### **4.3. SISTEMA DE VIGILANCIA**

### **5. DELIMITACIÓN Y ZONACIÓN DE UN POSIBLE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN**

#### **5.1. ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS**

#### **5.2. ZONA DE MÁXIMAS RESTRICCIONES**

#### **5.3. ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS**

#### **5.4. ZONA DE PROTECCIÓN DE LA CANTIDAD**

#### **5.5. POLIGONAL ENVOLVENTE**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

#### **ANEXO 1**

**Fichas de inventario de los puntos de abastecimiento**

#### **ANEXO 2**

**Puntos de agua situados dentro de la poligonal envolvente que el ITGE tiene inventariados**



## **1. INTRODUCCIÓN**

La realización de este informe se enmarca en el Convenio de asistencia técnica suscrito entre la Excm. Diputación de Granada y el Instituto Tecnológico Geominero de España.

El marco legal para la realización de perímetros de protección a captaciones de abastecimiento urbano se basa en el artículo 54.3 de la Ley de Aguas y el procedimiento para su inicio se describe en el artículo 173.3 del R.D.P.H. donde se reseña que su delimitación se efectuará a solicitud de la autoridad medioambiental, municipal o cualquier otra en que recaigan competencias sobre la materia.

En los artículos 173.5 y 173.6 del R.D.P.H se describen los condicionamientos que podrán imponerse en el perímetro delimitado con el objeto de impedir la afección a la cantidad o a la calidad de las aguas subterráneas captadas, señalando expresamente los tipos de instalaciones o actividades que podrán ser condicionadas.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL ABASTECIMIENTO (4)**

El municipio de Arenas del Rey tiene una población estable de 1997 habitantes. Cuenta con tres núcleos de población: Fornes con 697 habitantes, Arenas del Rey con 653 habitantes y Játar con 146 habitantes.

La demanda base, calculada en función de una dotación de 150 L/hab/día, es de 300 m<sup>3</sup>/día, lo que representa una demanda anual de 109.336 m<sup>3</sup>/año. Su distribución por núcleos es de 38.160 m<sup>3</sup>/año para Fornes, 35.752 m<sup>3</sup>/año para Arenas del Rey y de 8.000 m<sup>3</sup>/año para Játar.

En el municipio de Arenas del Rey el abastecimiento urbano se realiza mediante la captación de cuatro manantiales localizados en la unidad hidrogeológica 05.42 Tejeda-Almijara-Las Guájaras. Concretamente las poblaciones de Arenas del Rey y Játar toman el agua de abastecimiento de dos manantiales asociados a la subunidad de Sierra Tejeda, denominados Manantiales del Nacimiento Gordo (184340005) y Manantial de Doña Ana (184340004) que se localizan en las proximidades del núcleo de Játar.

La población de Fornes toma el agua de abastecimiento de una serie de manantiales asociados a la subunidad de Sierra Almijara-Las Guájaras, concretamente al cauce del río Cebollón, localizados en depósitos conglomerático-margosos pliocuaternarios que ocultan el contacto entre los mármoles de la subunidad Almijara-Las Guájaras y la formación Mioceno superior (limos y arenas azules) del valle del río Cacán. Estos manantiales son los denominados Manantiales de La Toba (194310007) y Fuente Colmenar (194310002), con caudal de 3 L/s. En la figura 2 se puede observar un croquis de las instalaciones de abastecimiento.



## 2.1. INFRAESTRUCTURAS

### CAPTACIONES DE ABASTECIMIENTO

#### Manantial de la Cañada del Colmenar (194310002) C-3

Es una de las dos captaciones de abastecimiento a Fornes. Se trata de una surgencia de escaso caudal, unos 3 L/s, sobre los depósitos conglomerático-margosos pliocuaternarios que ocultan el contacto entre los mármoles de la Subunidad Almijara-Las Guájaras y la formación miocena del valle del Cacán. Presenta cota de surgencia a 970 m, por lo que, en principio, debe entenderse que no presentan una relación hidrogeológica directa con el segundo punto de captación de abastecimiento a este núcleo.

#### Manantial de la Toba (194310007) C-4

Se trata de la segunda surgencia utilizada para abastecimiento a Fornes, que presenta escaso caudal, unos 3 L/s, situada sobre los depósitos conglomerático-margosos pliocuaternarios que ocultan el contacto entre los mármoles de la subunidad Almijara-Las Guájaras y la formación Mioceno superior (limos y arenas azules) del valle del Cacán. Presentan una cota de surgencia de 900 m, inferior al drenaje que se establece en el cauce del Cebollón (194310013), donde se llegan a drenar en un amplio tramo del río hasta 60-80 L/s. Su existencia se debe, posiblemente, a la descarga oculta que reciben los detritos procedente del acuífero carbonático de Almijara-Las Guájaras y cuyo flujo se desarrolla a favor de capas conglomeráticas de mayor permeabilidad.

### DEPÓSITOS

D-3. Depósito de abastecimiento de Fornes con capacidad para 500 m<sup>3</sup>.

En la figura 2 se presenta el croquis de las instalaciones.



### 3. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA (4, 1)

Como se ha indicado, las captaciones de abastecimiento a los núcleos de Arenas del Rey se localizan en la unidad hidrogeológica 05.42 Tejeda-Almijara-Las Guájaras, estando asociados los manantiales de abastecimiento de Játar y Arenas del Rey a la subunidad de Sierra Tejeda, y los manantiales de abastecimiento a la población de Fornes a la subunidad de Sierra Almijara-Las Guájaras. Ambas se describen seguidamente.

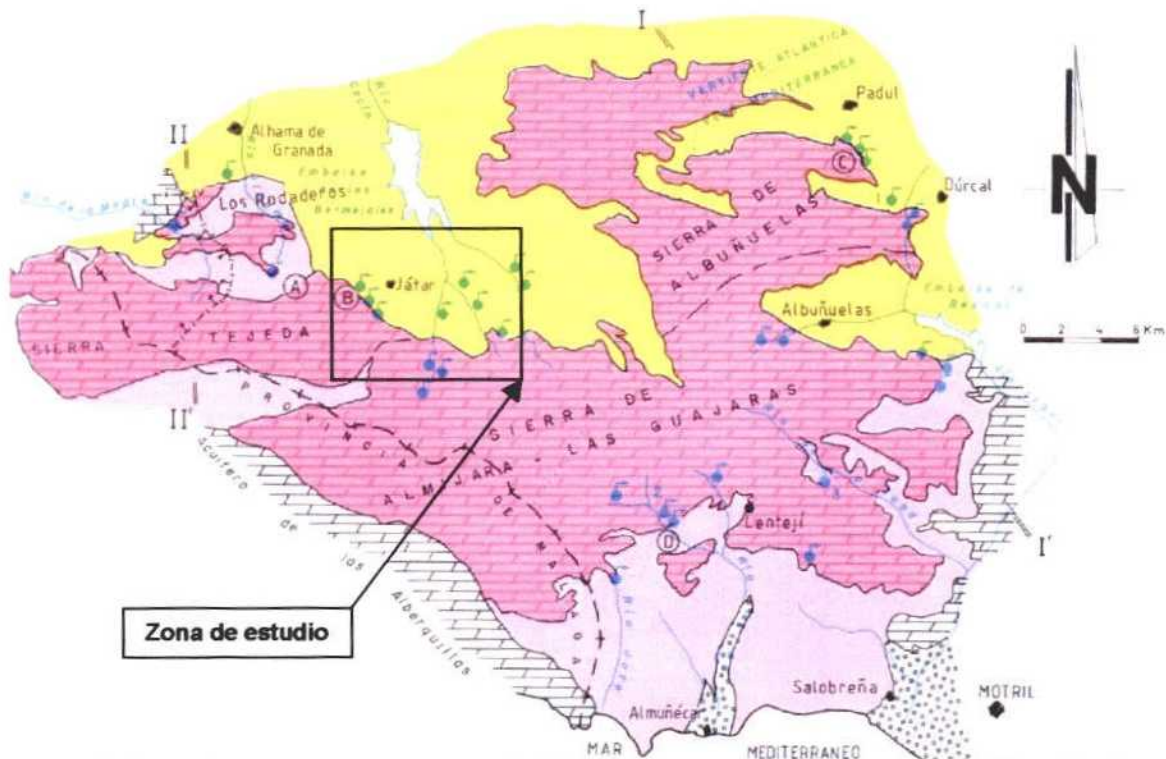


Figura 1. Situación del abastecimiento de Fornes (Arenas del Rey) en el acuífero de Almijara-Las Guájaras (modificado de Diputación Provincial de Granada-ITGE, 1988).

#### Subunidad de Sierras de Almijara-Las Guájaras

A esta subunidad se asocian los materiales de los mantos más altos del conjunto Alpujárride, los de la Herradura, Salobreña y Los Guájares. El manto de la Herradura está representado por la unidad de Jate, en el borde occidental, y por la de Pinos del Valle, en el borde oriental, constituyendo, en ambos casos, el elemento más bajo de los Alpujárrides incluidos en la subunidad. Estratigráficamente corresponden a un potente conjunto de micaesquistos, con niveles anfibolíticos en la base y de mármoles a techo que anuncian el paso a la formación suprayacente constituida por los denominados "Mármoles del Espartal" y de "Daire" en la unidad de Jate y los "Mármoles del Crucero de Pinos" en la de Pinos del Valle. Estos mármoles son similares a los del manto de Salobreña y Los Guájares, por lo que la separación entre ambos es complicada.

El manto de Salobreña está representado por la unidad del río Verde en el sector costero. Está constituido por un conjunto basal de micaesquistos muy potente (2.000 m) al que sigue una

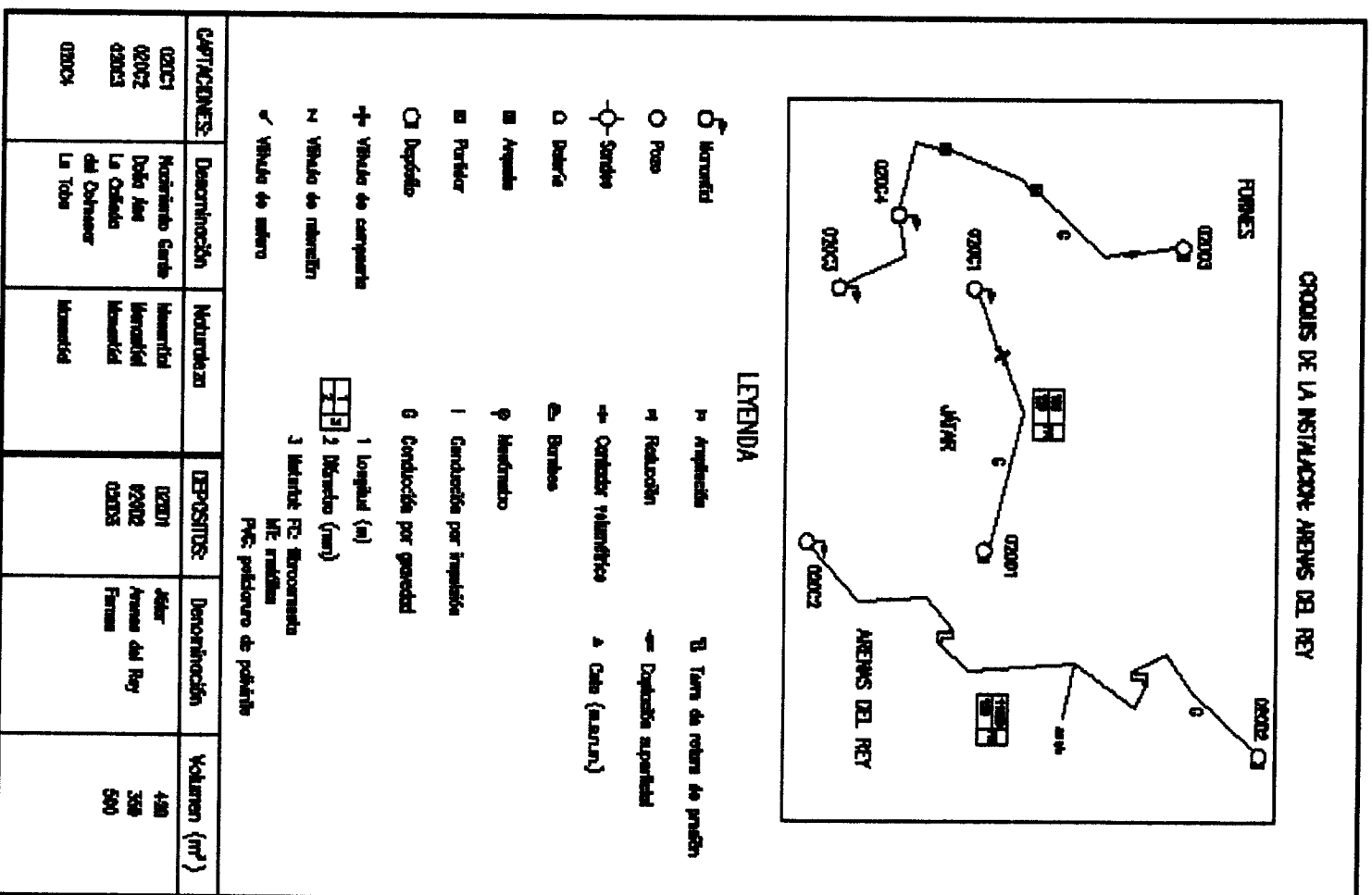


Figura 2. Croquis de las instalaciones de abastecimiento.



formación de cuarcitas y micaesquistos "Cuarcitas de Jate", finalizando el conjunto con tramos de micaesquistos de unos 500 m de potencia "Esquistos de Jete", en el que aparecen niveles carbonático a techo, como síntoma de tránsito gradual a la formación suprayacente, constituida por mármoles calizo-dolomíticos "Mármoles del Chaparral" de potencia variable, que ocasionalmente presentan intercalaciones de calcoesquistos. Esta unidad del río Verde se superpone a la Jate, siendo imposible distinguir entre ambas cuando las respectivas formaciones carbonatadas entran en contacto, debido a la similitud litológica entre ellas.

El manto de Los Guájares está representado por diferentes unidades geológicas que presentan evidentes similitudes litológicas. La unidad de los Guájares, asociada al sector del río de la Toba, presenta un tramo inferior de micaesquistos sobre el que se apoya la formación carbonatada similar a la del Manto de Salobreña "Mármoles del Chaparral". Otras unidades, como las de "Prados de Lopera", situada al oeste, y "Guindalera", en el sur, están constituidas por esquistos.

Esta subunidad presenta una superficie aflorante de 379 km<sup>2</sup>, para los materiales geológicos de comportamiento acuifero. El acuifero principal lo constituyen los mármoles calizo-dolomíticos de la formación "Mármoles del Chaparral", asociada, fundamentalmente, al manto de Salobreña. Aunque, generalizando, es más correcto indicar que estos mármoles corresponden a las formaciones superiores de los mantos de La Herradura, Salobreña y Los Guájares de difícil diferenciación geológica, como anteriormente se ha comentado. Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede considerar como un único conjunto que constituye una amplia y heterogénea Unidad cuyos límites son, en algunos casos, arbitrarios y su funcionamiento hidrogeológico poco conocido.

### 3.1.- MARCO HIDROGEOLÓGICO (3)

Los puntos de abastecimiento están asociados a la unidad hidrogeológica 05.42 Tejeda-Almijara-Las Guájaras. La unidad hidrogeológica de Tejeda-Almijara-Las Guájaras, está constituida por formaciones carbonatadas pertenecientes a diferentes mantos de corrimiento del complejo Alpujárride, formados por calizas, dolomías y mármoles, que conforman un extenso acuifero con alta permeabilidad debida procesos de fisuración y karstificación.

Los tramos inferiores metapelíticos de los distintos mantos, además de constituir el sustrato de impermeable de la unidad hidrogeológica, conforman el límite de la misma en la mayor parte de su contorno, excepto en el sector septentrional, en el que los materiales de la unidad contactan con los depósitos detríticos de las depresiones de Granada, Padul y Las Albuñuelas.

La unidad hidrogeológica está constituida por las subunidades de sierra de Tejeda, sierra de Almijara, Alberquillas y Albuñuelas. La sierra de Tejeda, situada al oeste, esta perfectamente individualizada, mientras que en el sector central y oriental se sitúa la subunidad de la sierra Almijara, parcialmente desconectada de la más meridional, las Alberquillas y de la más septentrional, de las Albuñuelas.

### 3.2.- HIDROQUÍMICA DEL SECTOR (2)



La composición del agua predominante en la unidad es las bicarbonatada cálcica y la bicarbonatada cálcico-magnésica.

### 3.3. LÍMITES Y GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO (1)

La subunidad de Almirajara-Las Guájaras presenta una superficie aflorante de 379 km<sup>2</sup>, para los materiales geológicos de comportamiento acuífero. El acuífero principal lo constituyen los mármoles calizo-dolomíticos de la formación Mármoles del Chaparral, que se asocia al manto de Salobreña. Aunque, generalizando, es más correcto indicar que estos mármoles corresponden a las formaciones superiores de los mantos de La Herradura, Salobreña y Los Guájares de difícil diferenciación geológica, como anteriormente se ha comentado.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede considerar como un único conjunto que constituye una amplia y heterogénea unidad cuyos límites son, en algunos casos, arbitrarios y su funcionamiento hidrogeológico poco conocido.

El borde occidental coincide con la "Escama de Calixto" constituida por esquistos y cuarzo-micaesquistos, que dificulta la conexión con la subunidad de Alberquillas. En este contacto existen varios manantiales de relativa importancia que aparecen en el cauce del río Torrox (515 msnm) y el de la Vegueta de la Grama (420 msnm), que drenan caudales superiores a los 200 L/s.

El límite meridional, hasta el río Guadalfeo, corresponde al contacto de los mármoles con las formaciones esquistosas basales de los mantos de la Herradura y Salobreña. A este límite cerrado se asocian numerosas surgencias: río de la Miel (590 msnm) con unos 15-20 L/s en estiaje, río Jate (440 msnm) con unos 25 L/s en estiaje, Nacimiento del río Verde (760 msnm) con un caudal medio de 60 L/s, manantiales de Cázulas (420-440 msnm) con un caudal medio de 65 L/s, manantiales de Lentejí (800 msnm) con un caudal de 25 L/s y Fuente Santa (460 msnm) y río de la Toba, que en conjunto drenan un caudal de unos 200 L/s. No son descartable descargas difusas a través de los aluviales.

El límite oriental, desde la desembocadura del río de la Toba hasta Pinos del Valle es más complejo. En superficie este límite está asociado a formaciones esquistosas basales de los mantos de La Herradura y Salobreña, pero en profundidad podrían existir laminaciones de estos esquistos basales propiciando una conexión hidrogeológica con los materiales carbonatados del "manto de Alcázar", que constituye el acuífero principal de la Unidad hidrogeológica de Escalate-Espartinas. En la zona de Pinos del Valle aparecen unos manantiales (Fuente Zaza, Pinos del Valle y Hoya Artera) que en conjunto drenan unos 70 L/s (680-740 msnm). Al río Albuñuelas se asocian numerosos manantiales que drenan unos 70 L/s (820 msnm).

El límite norte, contacto con la subunidad de Albuñuelas, es arbitrario, ya que no se definió en base a criterios geológicos ni hidrogeológicos, si bien, podría existir una divisoria subterránea de dirección oeste-este, pero ni su carácter ni su posición ha podido ser precisada, quedando clara la separación hidrogeológica entre las Sierra de Las Guájaras y Las Albuñuelas en base a esquistos y cuarzo-esquistos de la base del manto de Los Guájares.





El límite noroccidental presenta diversas peculiaridades. Así, el contacto con Sierra Tejeda se establece en base a materiales impermeables basales que desconectan ambas subunidades. Más al este se produce el contacto entre los mármoles y los depósitos terciarios de la Depresión de Granada. Este límite es abierto, existiendo un flujo subterráneo hacia las formaciones detríticas como lo ponen de manifiesto por el aumento de caudal que presentan ciertos cauces existentes en esta zona (Cacín, Cebollón y Grande).

#### **3.4. PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS Y PIEZOMETRÍA (4)**

En la subunidad de Almirajara sólo hay una estimación de 2 m<sup>2</sup>/día de este parámetro. El coeficiente de almacenamiento, 0,5 y 1%, sólo se conoce en algunos sectores de la subunidad de Alberquillas.

#### **3.5.- FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y BALANCE HIDRÁULICO (1)**

La alimentación de la subunidad de Almirajara-Las Guájaras procede exclusivamente de la infiltración de las precipitaciones mientras que la descarga tiene lugar de distinta forma, según el sector. Así, el borde meridional en el contacto con formaciones de baja permeabilidad (manantiales de las cabeceras de los ríos de la Miel, Jate-Fuente Santa, Verde-Cázulas). En el sector oriental se produce la descarga a lo largo del río de la Toba y en los bordes de la unidad (Pinos del Valle, La Zaza, Albuñuelas). Y en el borde norte por los manantiales del río Cacín, fundamentalmente, aunque no se descarga un drenaje incluso importante, a través de los materiales detríticos de la Depresión de Granada.

La separación hidrogeológica de las subunidades de Albuñuelas-Chaparral queda imprecisa, se observa un flujo subterráneo de O a E, por lo que se cree que existe una posible relación hidrogeológica entre ambas subunidades.

El contacto suroccidental con la subunidad de Alberquillas parece que tampoco es estanco, pudiendo producirse un flujo subterráneo hacia esta subunidad.

Los recursos propios de la subunidad Almirajara-Las Guájaras se estiman que están comprendidos entre 70 y 90 hm<sup>3</sup>/a, aproximadamente.

#### **4. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO FRENTE A LA CONTAMINACIÓN (2)**

El método de Rehse analiza el riesgo de contaminación del acuífero calculando el poder depurador del terreno en la zona no saturada y en la saturada.

Este método evalúa la atenuación que pudiera experimentar un contaminante que atravesara el suelo, considerando dos tramos diferenciados en su movimiento: un tramo vertical a través de la zona no saturada del terreno, y otro horizontal, dentro de la zona saturada, hasta el punto de extracción del agua subterránea.



En los cálculos intervienen la velocidad, tipo de materiales existentes y espesor atravesado, utilizando varias tablas de apoyo, que relacionan el tipo de materiales y su poder de depuración, tanto en la zona no saturada, como en la saturada.

El poder depurador total, sobre la totalidad del transporte  $M_x$ , viene dado por la expresión:

$$M_x = M_r + M_a$$

donde,

$M_r$  poder depurador en el trayecto vertical, en zona no saturada

$M_a$  poder depurador en el trayecto horizontal en el acuífero

Cuando  $M_x \geq 1$ , la depuración es completa. A continuación se indica la forma de realizar el cálculo del poder depurador en ambos trayectos.

#### **Depuración en la zona no saturada**

El poder depurador en el trayecto vertical se denomina  $M_r$  y viene dado por la expresión:

$$M_r = \sum_{i=1}^n h_i \cdot Ir_i$$

donde,

$Ir$  índice de depuración en la zona no saturada ( $Ir = 1/H$ )

$Ir_i$  índice de depuración del material  $i$  en la zona no saturada

$H$  espesor vertical total de la zona no saturada ( $H = 1/Ir$ )

$h_i$  espesor del material  $i$

$n$  materiales diferentes que constituyen la zona no saturada

Cuando  $M_r \geq 1$ , la depuración en la zona no saturada es completa y según Rehse no sería necesario delimitar la zona de restricciones máximas.

Cuando  $M_r < 1$ , la depuración en las capas superiores no es completa y el agua contaminada puede alcanzar la zona saturada.

#### **Depuración en el acuífero**

El poder depurador en el trayecto horizontal, dentro del acuífero se denomina  $M_a$ , y viene dado por la expresión:

$$M_a = Ia \cdot L$$



donde,

Ia índice de depuración de la zona saturada ( $Ia = 1/L$ )  
L longitud atravesada de zona saturada ( $L = 1/Ia$ )

Si  $M_x = 1$ , existe una depuración completa antes de llegar el agua a la captación, y el poder depurador en el acuífero viene dado por la expresión:

$$M_a = 1 - M_r$$

La distancia que como mínimo es necesario recorrer para alcanzar una depuración total sería:

$$L = \frac{M_a}{Ia}$$

Según Rehse, L corresponde al límite del perímetro de protección próximo (Zona II o de Restricciones Máximas). Si no existiera recubrimiento ( $H = O$ ) toda la depuración tendría que realizarse en el trayecto horizontal a través del acuífero, con  $M_a = 1$  y  $L = 1/Ia$ .

#### 4.1. INVENTARIO DE FOCOS CONTAMINANTES (3)

En el área de Fornes los focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas se asocian a la ganadería sin estabular que pueda existir sobre los afloramientos de Almijara-Las Guájaras.

#### 4.2. VULNERABILIDAD FRENTE A LA CONTAMINACIÓN

El acuífero de esta subunidad es muy vulnerable a la contaminación debido a su carácter carbonatado y al gran desarrollo que tienen los fenómenos kársticos. Respecto a los materiales miopliocenos la vulnerabilidad es media, puesto que presentan una menor permeabilidad.

#### 4.3. SISTEMA DE VIGILANCIA

Sobre los afloramientos carbonatados no hay prácticamente actividad potencialmente contaminante alguna por lo que en principio no haría falta sistema de vigilancia alguno. No obstante, por seguridad se analizarán cada seis meses, además de los mayoritarios, la posible presencia de metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas. Por seguridad, se aconseja que se hagan también estas dos analíticas en los Manantiales del Nacimiento Gordo.



Asimismo, en caso de ocurrir cualquier accidente o se produzca cualquier actividad circunstancial potencialmente contaminante en las proximidades de la captación se deberá realizar un seguimiento de la analítica del agua, antes de introducirla en la red, de aquellos parámetros que en cada momento se juzgue necesarios y con la periodicidad que aconsejan las circunstancias.

## 5. DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN

Para la delimitación del perímetro de protección se ha utilizado el criterio del tiempo de tránsito según el método de Wyssling, en el que se distinguen tres áreas de restricciones de uso crecientes con la proximidad a la captación, denominadas:

- Zona I o de restricciones absolutas (tiempo de tránsito 1 día)
- Zona II o de restricciones máximas (tiempo de tránsito 60 días)
- Zona III o de restricciones moderadas (tiempo de tránsito de 10 años)

La resolución del método precisa conocer las siguientes variables:

$i$  = gradiente hidráulico  
 $Q$  = caudal de bombeo ( $m^3/s$ )  
 $k$  = permeabilidad horizontal (m/s)  
 $m_e$  = porosidad eficaz  
 $b$  = espesor del acuífero (m)

A partir de estos datos se calcula el radio de influencia o de la llamada zona ( $X_0$ ), la anchura del frente de llamada ( $B$ ), el ancho de llamada a la altura de la captación ( $B'$ ) y la velocidad efectiva ( $V_e$ ) según las expresiones siguientes:

$$X_0 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot i \cdot k}; \quad B = \frac{Q}{k \cdot b \cdot i}; \quad B' = \frac{B}{2}; \quad V_e = \frac{K \cdot i}{m_e}$$

La distancia desde la captación a un punto con un tiempo de tránsito  $t$  (en días) viene dada por la expresión:

$$S = \frac{\pm l + \sqrt{l \cdot (l + 8 \cdot X_0)}}{2}$$

Donde  $l$  es el producto de la velocidad efectiva por el tiempo de tránsito. El signo positivo inicial se utiliza para calcular la distancia aguas arriba de la captación y el signo negativo para calcular la distancia aguas abajo de la captación.

Para el cálculo de las distintas zonas de protección de la captación para abastecimiento a Arenas del Rey, se consideran como datos de partida:



<b>Fornes (Arenas del Rey)</b>	
Espesor del acuífero (m)	100
Porosidad eficaz	0,05
Permeabilidad horizontal (m/día)	1
Caudal de bombeo (L/s)	3
Caudal de bombeo (m <sup>3</sup> /día)	259
Gradiente hidráulico	0,05

No se dispone de información de los materiales donde se localizan los manantiales, por lo que los valores utilizados son aproximados de acuerdo con las granulometrías existentes. Según la metodología propuesta se realiza una zonación dentro del perímetro de protección de la captación objeto de estudio en tres zonas con restricciones de uso tanto mayores cuanto más próximas a las captaciones.

#### 5.1. ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS

Se considera como el círculo cuyo centro es el sondeo a proteger y cuyo radio ( $s_I$ ) es la distancia que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en un día.

Esta zona tendrá forma circular u oval, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas, sin embargo, se puede representar como un círculo por simplicidad, cumpliendo igualmente el objetivo que se persigue, proteger la boca del sondeo y sus proximidades.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para  $s_I$ .

<b>Fornes</b>	
$s_I$ aguas arriba (m)	5
$s_I$ aguas abajo (m)	-3

Se propone que esta zona quede delimitada mediante una circunferencia de 5 m de radio y centrada en la captación. En ella se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación, para lo que se recomienda la construcción de una caseta que proteja el sondeo, que se valle la zona definida y se instale un drenaje perimetral.

#### 5.2. ZONA DE MÁXIMAS RESTRICCIONES

Se considera como el espacio ( $s_{II}$ ) que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 60 días. Queda delimitada entre la zona de protección inmediata y la isocrona de 60 días.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para  $s_{II}$ .



Fornes	
s <sub>II</sub> aguas arriba (m)	105
s <sub>II</sub> aguas abajo (m)	17

Según el método de Rehse, en el caso más desfavorable para el tipo de materiales presentes en la zona, serían necesarios como mucho 300 m de recorrido en la zona saturada para conseguir la autodepuración. Por seguridad, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante ambos métodos, se propone que esta zona quede delimitada por una circunferencia de 300 m de radio para cada captación y centrada en la misma. En la tabla 1 se incluye una relación de actividades y las limitaciones que se les debe imponer.

### 5.3. ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS

Limita el área comprendida entre la zona de protección próxima II y la isocrona de 10 años (radio s<sub>III</sub>). Cuando el límite de la zona de alimentación del sondeo esté a una distancia menor que la citada isocrona.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para s<sub>III</sub>.

Fornes	
s <sub>III</sub> aguas arriba (m)	5.500
s <sub>III</sub> aguas abajo (m)	1.800

Debido a que los valores estimados son muy elevados, se opta por delimitar esta zona mediante criterios hidrogeológicos y coincidirá con la poligonal envolvente (figura 3). En la tabla 1 se incluye la relación de actividades a prohibir, condicionar o permitir en esta zona.

### 5.4. ZONA DE PROTECCIÓN DE LA CANTIDAD

Para la protección de la cantidad de los manantiales de abastecimiento se definirá un perímetro en función del radio de influencia R:

$$R = 1,5 (T t / S)^{1/2}$$

donde

T = transmisividad: 100 m<sup>2</sup>/día

t = tiempo de bombeo, generalmente se aplicará un tiempo de 120 días

S = coeficiente de almacenamiento: 0,05

Como ya se ha dicho anteriormente, no se dispone de estimaciones de T ni de S, por lo que se han empleado unos los valores aproximados de acuerdo con los materiales existentes en el sector. Así, con los datos indicados se obtiene un radio de influencia de 735 m alrededor de los manantiales de abastecimiento a Fornes. Por tanto, para mayor seguridad, el perímetro incluirá una zona circular de protección con 1.000 m de radio.



Tabla 1

DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES	Z. DE RESTRICCIONES MÁXIMAS			Z. DE RESTRICCIONES BAJAS		
	Prohibido	Condicional	Permitido	Prohibido	Condicional	Permitido
<b>ACTIVIDADES AGRÍCOLAS</b>						
Uso de fertilizantes	*				*	
Uso de herbicidas	*				*	
Uso de pesticidas	*			*		
Almacenamiento de estiércol	*				*	
Vertido de restos de animales	*				*	
Ganadería intensiva	*			*		
Ganadería extensiva		*				*
Almacenamiento de materias fermentables para alimentación del ganado	*				*	
Abrevaderos-refugios de ganado		*				*
Silos	*				*	
<b>ACTIVIDADES URBANAS</b>						
Vertidos superficiales de aguas residuales urbanas sobre el terreno	*			*		
Vertidos de aguas residuales urbanas en pozos negros, balsas o fosas sépticas	*			*		
Vertidos de aguas residuales urbanas en cauces públicos	*			*		
Vertidos de residuos sólidos urbanos	*			*		
Cementerios	*			*		
<b>ACTIVIDAD INDUSTRIAL</b>						
Asentamientos industriales	*			*		
Vertidos de residuos líquidos industriales	*				*	
Vertidos de residuos sólidos industriales	*			*		
Almacenamiento de hidrocarburos	*			*		
Depósitos de productos radiactivos	*			*		
Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	*			*		
Conducciones de líquido industrial	*			*		
Conducciones de hidrocarburos	*			*		
Apertura y explotación de canteras	*				*	
Relleno de canteras o excavaciones	*			*		
<b>OTRAS</b>						
Campings	*				*	
Ejecución de nuevas perforaciones o pozos no destinados para abastecimiento	*				*	



## 5.5. POLIGONAL ENVOLVENTE

Las coordenadas de los vértices y límites de la poligonal que se propone son los siguientes:

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>A</b>	424.900	4089.500	900
<b>B</b>	426.000	4087.460	1.060
<b>C</b>	425.500	4084.100	1.183
<b>D</b>	422.500	4083.560	1.226
<b>E</b>	422.800	4088.900	1.000



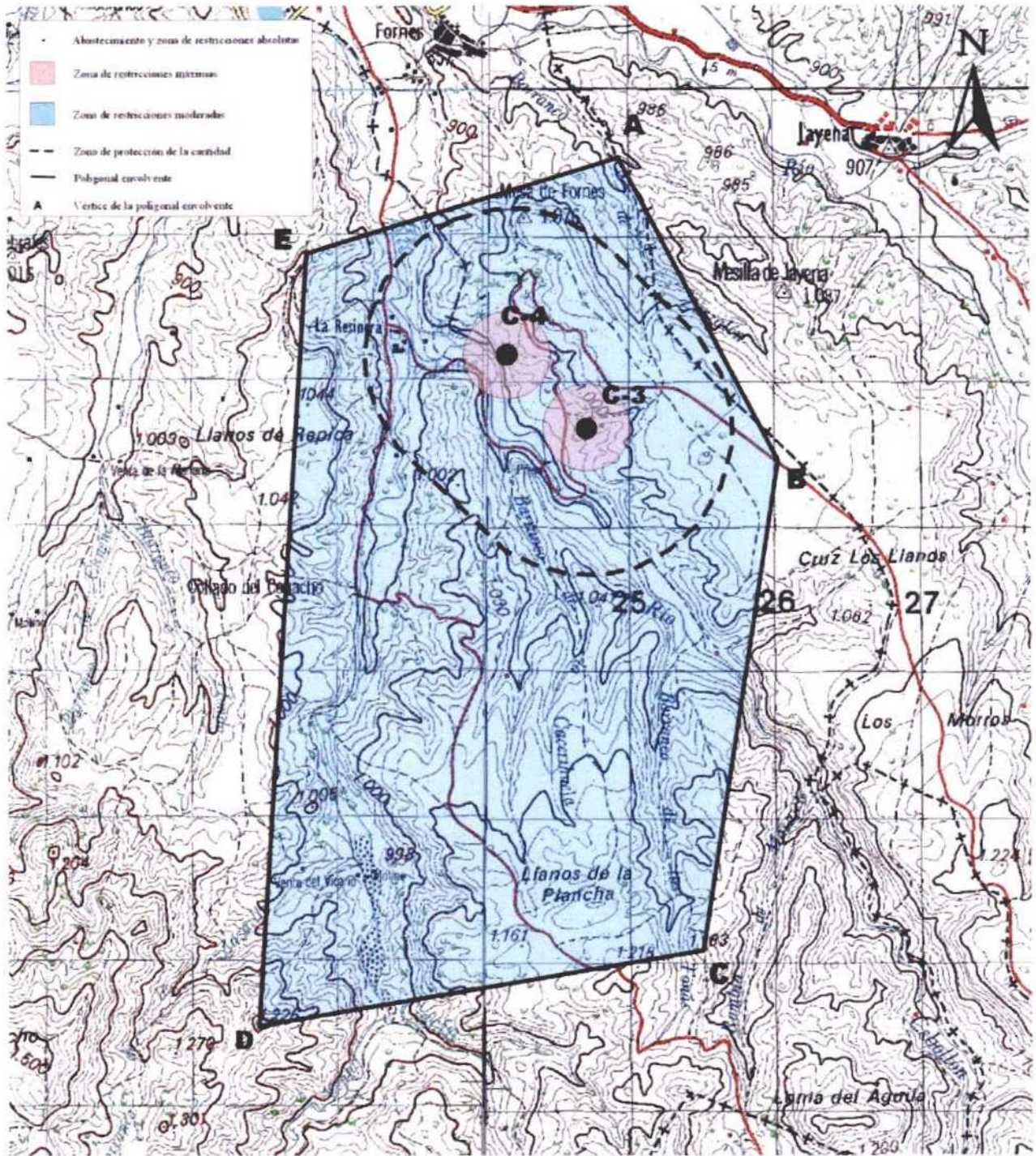


Figura 3. Delimitación de las zonas de protección (cuadrícula correspondiente a la hoja topográfica 1/50.000 de Zafarraya y Dúrcal, nº 1.040 y 1.041)



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

\* Fornes se abastece de los puntos nº ITGE 194310002 y 194310007, relacionados con el drenaje de la subunidad de Sierra Almirajara-Las Guájaras, integrada en la unidad hidrogeológica 05.42 Tejeda-Almirajara-Las Guájaras.

\* Esta subunidad es de carácter carbonatado y los materiales a través de los que surgen el manantial son de edad Pliocuatnario, pertenecientes al relleno de la Depresión de Granada, y compuestos por conglomerados y margas.

\* Ambos manantiales presentan un caudal aproximada de 3 L/s.

\* La composición del agua predominante en la unidad es las bicarbonatada cálcica y la bicarbonatada cálcico-magnésica.

\* Debido al desarrollo de fenómenos kársticos en los carbonatos de la subunidad se debe considerar la misma como muy vulnerable frente a la contaminación.

Fdo: Juan Antonio Luque Espinar  
Oficina de Proyectos del ITGE de Granada



## **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) ITGE-Diputación de Granada. 1988. Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada.
- (2) ITGE. 1991. Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas.
- (3) ITGE-Diputación de Granada. 1995. Plan de control de recursos y gestión de captaciones de aguas subterráneas para abastecimientos urbanos de la provincia de Granada (primera fase).
- (4) ITGE-CHG. 1993. Propuesta de normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la cuenca del Guadalquivir. Tomo III. Unidad hidrogeológica 05.42 Tejeda-Almijara-Las Guájaras.



ANEXOS



ANEXO 1



**Fichas de inventario**



ANEXO 2



**Puntos de agua situados dentro de la poligonal envolvente que el ITGE tiene inventariados**





Puntos de agua que el ITGE tiene inventariados en el interior de la poligonal:

HOJA	OCT	PTO	COOR X	COOR Y	COTA
1843	4	0001	423173	4088654	860,00
1843	4	0003	423092	4088069	940,00
1843	8	0004	423157	4084246	940,00
1843	8	0031	422916	4085293	902,00
1943	1	0002	425132	4087800	1000,00
1943	1	0003	425082	4087726	980,00
1943	1	0004	424977	4087002	900,00
1943	1	0005	425275	4086725	905,00
1943	1	0006	425872	4086371	960,00
1943	1	0007	424186	4088182	900,00
1943	1	0013	424868	4087373	900,00
1943	5	0001	425220	4086101	980,00