



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



Instituto Geológico  
y Minero de España

## PROPUESTA DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

# HUELMA

CORREO

granada@igme.es

Urb. Alcázar del Genil, 4  
Edif. Zulema. Bajo.  
18006-Granada  
Tel. : 958 18 31 43/46  
Fax : 958 122 990



## **ÍNDICE**

### **1. INTRODUCCIÓN**

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

### **3. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA**

- 3.1. Masa de agua 05.21 Sierra Mágina
  - 3.1.1. Marco geológico
  - 3.1.2. Descripción hidrogeológica
  - 3.1.3. Límites y geometría del acuífero
  - 3.1.4. Hidroquímica del sector
  - 3.1.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría
  - 3.1.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico
- 3.2. Masa de agua 05.41 Larva – Guadahortuna
  - 3.2.1. Marco geológico
  - 3.2.2. Descripción hidrogeológica
  - 3.2.3. Límites y geometría del acuífero
  - 3.2.4. Hidroquímica del sector
  - 3.2.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría
  - 3.2.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

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

- 4.1. Inventario de focos contaminantes
- 4.2. Vulnerabilidad frente a la contaminación
- 4.3. Sistema de vigilancia

### **5. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN**

- 5.1. Introducción
- 5.2. Zona de restricciones absolutas
- 5.3. Zona de restricciones máximas
- 5.4. Zona de restricciones moderadas
- 5.5. Protección de la cantidad
- 5.6. Poligonal envolvente

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



## **BILIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

ANEXO I: Tabla de ordenación de actividades

ANEXO II: Ficha de inventario de los puntos de abastecimiento



## 1. INTRODUCCIÓN

La realización de este estudio se enmarca en el Convenio de asistencia técnica suscrito entre la Excm. Diputación de Jaén y el Instituto Geológico y Minero de España.

La dirección técnica y supervisión de este estudio ha sido llevada a cabo por D. Juan Antonio Luque Espinar (IGME), siendo G&V Aplicaciones Ambientales S.L. la empresa redactora en colaboración con los geólogos D. José Luis García García y D. Manuel Hódar Correa.

En el año 2000, el IGME propuso un perímetro de protección para las captaciones de abastecimiento de Huelma. No obstante, en este documento se revisan los trabajos realizados con anterioridad con objeto de definir unos nuevos límites de acuerdo con la nueva información generada en este periodo.

El perímetro de protección de captaciones de agua para abastecimiento público es una figura contemplada en la Directiva Marco del Agua (D.M.A.) (2000/60/CE), elaborada por la Unión Europea en 2000 y que está prevista en la legislación española sobre aguas:

- Art. 42, 56 y 97 c del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Art. 172 y 173 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (R.D.P.H.), aprobado por R.D. 849/1986, de 11 de abril.
- Art. 82 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (R.A.P.A.P.H.), aprobado por R.D. 927/1988, de 29 de julio
- Art. 7 y 13 de Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

El perímetro de protección aparece también recogido en el artículo 6 de la Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. En este artículo se confirma la importancia del perímetro de protección como herramienta útil para evitar la entrada en los acuíferos de sustancias contaminantes que alteren la calidad de las aguas.

La planificación hidrológica en España contempla los perímetros de protección de captaciones de abastecimiento en el Plan Hidrológico Nacional (P.H.N.), así como en los Planes Hidrológicos de cuenca, aprobados mediante R.D. 1664/1998, de 24 de julio.

Según el artículo 173.3 del R.D.P.H., estos perímetros "tienen por finalidad la protección de captaciones de agua para el abastecimiento a poblaciones o zonas de especial interés ecológico, paisajístico, cultural o económico".



La legislación estatal prevé dos posibilidades a la hora de la determinación del perímetro, ya sea a través de los planes hidrológicos (artículo 42 del texto refundido de la Ley de Aguas) o, en su ausencia, o para completar sus determinaciones, por el Organismo de cuenca (artículo 56.3 del texto refundido de la Ley de Aguas y artículo 173 del R.D.P.H.). El procedimiento se iniciará (artículo 173.3 del R.D.P.H.):

- De oficio en las áreas de actuación del Organismo de cuenca.
- A solicitud de la autoridad medioambiental.
- A solicitud de la autoridad municipal.
- A solicitud de cualquier otra autoridad sobre la que recaigan competencias sobre la materia.

Las actividades que pueden ser restringidas o prohibidas en el área definida por el perímetro de protección están indicadas en el artículo 173.6 del R.D.P.H. Sin embargo, el alcance e importancia de estas limitaciones llegaría a impedir prácticamente el desarrollo de cualquier actividad si se aplicase a toda la extensión del perímetro, por lo que el artículo 173.5 del R.D.P.H. señala respecto a las actividades que podrán imponerse condicionamientos en el ámbito del perímetro a ciertas actividades o instalaciones que puedan afectar a la cantidad o la calidad de las aguas subterráneas. Dichas actividades o instalaciones se relacionarán en el documento de delimitación del perímetro. El sistema más frecuentemente empleado consiste en dividir el perímetro en diversas zonas alrededor de la captación, graduadas de mayor a menor importancia en cuanto a las restricciones de actividad impuestas sobre ellas.



## 2. SITUACIÓN ACTUAL DEL ABASTECIMIENTO

Actualmente para abastecimiento a Huelma se usan las siguientes captaciones:

- Sondeo Tosquilla, con nº IGME 2038-5-0017
- Sondeos de Gualijares, con nº IGME 2038-6-0016 y 18
- Sondeo de Cortijo Cújar, con nº IGME 2038-7-0027

Las tres primeras captaciones explotan recursos de la masa de agua 05.21 Sierra Mágina, mientras que la última lo hace de la masa de agua 05.41 Guadahortuna – Larva.

Para más información, se remite al lector a las memorias municipales de la 2ª Fase del Plan de Control de recursos y gestión de captaciones de aguas subterráneas para abastecimientos urbanos de la provincia de Jaén.



### 3. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

#### 3.1. Masa de agua 05.21 Sierra Mágina

##### 3.1.1. Marco geológico

El acuífero está constituido por dos potentes series carbonatadas del Jurásico pertenecientes a dos dominios litoestratigráficos diferentes (Subbético Externo de Sierra Mágina y Unidades Intermedias) superpuestos tectónicamente (ITGE, 1996).

Las unidades litoestratigráficas que aparecen son de muro a techo las siguientes (ITGE, 1996):

- Triásico inferior y medio: son los materiales más antiguos, con fácies Keuper, y consisten en arcillas, limolitas y yesos (ITGE, 1993).
- Subbético Externo de Sierra Mágina (ITGE, 1996):
  - Triásico superior, Lías inferior y medio: formado por dolomías, calizas brechificadas y brechas tectónicas. Pueden alcanzar una potencia de 500-800 m.
  - Jurásico medio y superior: lo forman calizas nodulosas oolíticas y con sílex, con intercalaciones margosas. Llegan a presentar espesores de hasta 200 m.
- Unidades Intermedias (ITGE, 1996):
  - Triásico superior, Lías y Dogger: dolomías, dolomías brechoides, calizas tableadas y calizas bioclásticas y oolíticas. Tiene una potencia de 600-1000 m.
  - Oxfordiense: margas y arcillas radiolaríticas con intercalaciones de calizas nodulosas. Es una delgada serie de 15 a 40 m de espesor.
  - Malm (Kimmeridgiense y Portlandiense): calizas tableadas negras con juntas e intercalaciones margosas. Tiene una potencia de 200-300 m.
- Cretácico y Oligoceno: margas grises y arcillas rojas con yesos. También se detecta la presencia de olistolitos y brechas calcáreas (ITGE, 1996).
- Mioceno inferior: está formado por paquetes de calcarenitas. No presentan una gran potencia en el seno de la unidad, pero hay datos (DGOH, 1999) que revelan una potencia de 300 m en las cercanías de los municipios de Carchel y Carchelejo, al sur de la unidad, y fuera de la poligonal.



- Cuaternario: principalmente gravas, cantos y bloques calcáreos con matriz limo-arcillosa, en general de aspecto caótico y que a veces presentan un intenso encostramiento y cementación carbonatada. Se trata de sedimentos postectónicos de tipo coluvial, y, aluviales ligados esencialmente al río Jandulilla (ITGE, 1996).

### 3.1.2. Descripción hidrogeológica

Para la descripción hidrogeológica se distinguen fundamentalmente dos unidades:

- **Subunidad Mágina:** Su superficie de afloramientos permeables es de 60 km<sup>2</sup> y su espesor medio del orden de 700 m aunque presenta variaciones significativas de unos sectores a otros, desde 500-800 m en la zona de Sierra Mágina-la Serrezuela- Peñalisa, a unos de 600-1000 m en la Sierra de la Cruz. Los límites hidráulicos del acuífero se consideran cerrados en la mayor parte del mismo, y vienen impuestos por el cabalgamiento del Subbético Externo de Mágina y/o por contactos mecánicos con materiales triásicos, cretácicos o terciarios impermeables. Tan sólo en la mitad oriental del límite septentrional se considera la existencia de un flujo hacia la Subunidad Cárceles-Carluco (ITGE, 1996).
- **Subunidad Cárceles-Carluco:** Su superficie de afloramientos es de 37 km<sup>2</sup> y su espesor medio de 500-1000 m. El límite septentrional es impermeable, constituido por una serie de margas, calizas y areniscas del Cretácico inferior. Los límites este y oeste vienen marcados por estos mismos materiales. El basamento impermeable no llega a aflorar en ningún punto, pero cabe suponer que está formado por materiales arcillosos, margo-arcillosos y yesíferos del Triásico aunque, dado el carácter alóctono de las Unidades Intermedias podrían, incluso, estar apoyadas sobre formaciones del Cretácico o del Terciario (CHG, 1995).

### 3.1.3. Límites y geometría del acuífero

La Masa de agua de Sierra Mágina (05.21) se sitúa en la provincia de Jaén a unos 30 km al este de la capital.

En cuanto a la estructura geológica de la zona, ésta se puede dividir en dos sectores:

- Subunidad Mágina: En la zona de Sierra Mágina-la Serrezuela-Peñalisa, las dolomías, calizas brechificadas y brechas tectónicas del Trías superior-Lías inferior y medio constituyen el núcleo de un cabalgamiento en cuyos bordes aparecen los términos superiores del Jurásico, en posición invertida: calizas nodulosas oolíticas y con sílex, con intercalaciones margosas, con espesores (muy laminados tectónicamente) de hasta 200 m. En la zona de Sierra de la Cruz, las dolomías brechoides, calizas tableadas, calizas bioclásticas y oolíticas aparecen en posición invertida sobre



materiales permeables o semipermeables más modernos de la vecina Subunidad de Cárceles-Carluca (ITGE, 1996).

- Subunidad Cárceles-Carluco: Está constituida por un conjunto de anticlinales y sinclinales, con orientación ENE-OSO y E-O, ocasionalmente volcados y vergentes al norte (CHG, 1995).

#### 3.1.4. Hidroquímica del sector

En la Subunidad de Cárceles-Carluco, las aguas son de facies bicarbonatadas cálcicas o cálcico magnésicas, a excepción de los puntos de agua situados en el borde suroeste, donde el contacto con materiales triásicos, de matriz yesífera, hace que las facies sean sulfatada cálcicas (ITGE, 1993).

La Subunidad de Sierra Mágina presenta una facies fuertemente bicarbonatada, generalmente cálcica. La proporción de magnesio aumenta hacia el este (ITGE, 1996).

La conductividad presenta valores generalmente entre 200-300  $\mu\text{mhos/cm}$  en la Subunidad de Sierra Mágina. Sin embargo, los máximos se dan en la subunidad Cárceles-Carluco, llegando a valores medios de 400-500  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Utilizando la clasificación de la calidad del agua para usos agrícolas, las muestras mayoritariamente pertenecen a la clase C2-S1, por lo que son aguas de salinidad media, aptas para la mayoría de cultivos. En la Subunidad Cárceles-Carluco las aguas se incrementan en sales, sobre todo en épocas de sequía, llegando a la clase C3-S1 (aguas moderadamente salinas, pudiendo no ser apropiadas para riego).

Para abastecimiento las aguas presentan, en general, buena calidad química para el consumo humano.

#### 3.1.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría

Para el sector de Sierra Mágina se dispone de siete ensayos de bombeo repartidos entre tres sondeos. Tres realizados en el punto 2038/6/15, dos en el 2038/5/17 y otros dos en el 2038/6/16. Todos ellos fueron realizados por el IGME, excepto uno que lo realizó el S.G.O.P.U. En el sondeo 2038/6/15 se obtuvo una transmisividad entre 34 y 55  $\text{m}^2/\text{día}$ , en el 2038/5/17 entre 11 y 28  $\text{m}^2/\text{día}$  y en el 2038/6/16 entre 100 y 165  $\text{m}^2/\text{día}$  (ITGE, 1996).

Hay datos de porosidad eficaz en el punto 2038/6/16, variando, según los métodos y puntos de observación considerados, entre 0,5 y 3 %. En el mismo ensayo se calculó una porosidad



eficaz de aproximadamente el 1%, como valor más representativo del conjunto del acuífero (ITGE, 1996).

No se dispone de datos de parámetros hidráulicos de la Subunidad de Cárceles-Carluco, si bien se puede suponer que serán de igual orden de magnitud que los datos de Sierra Mágina.

La piezometría de la Subunidad de Sierra Mágina es complicada. Aunque no existe una red de sondeos en el seno de la subunidad, por las cotas de los manantiales se pueden establecer unas direcciones de flujo. Hay dos zonas bien diferenciadas, que están separadas por la importante fractura que se sitúa al este de la Cumbre de Sierra Mágina, con dirección NNO-SSE. Las dos zonas se han denominado zona suroccidental y zona nororiental.

La zona suroccidental (sector SW-3 en ITGE, 1996) es drenada por el manantial de El Gargantón nº 2038/6/9 (caudal medio aproximado de 300 l/s) a cota 1.120 y la parte oeste (sector SW-2 en ITGE, 1996) por el manantial de Mata Begid nº 2038/5/7 (caudal medio aproximado de 125 l/s) situado a cota 1.010 (ITGE, sin fecha).

El sector nororiental podría estar fragmentado varios compartimentos de posible funcionamiento independiente, separados por fracturas y por el límite de cabalgamiento Subbético Externo / Unidades Intermedias. El principal manantial es el Manantial del Parque nº 2038/6/7 (caudal medio aproximado de 30 l/s), situado a 875 m (ITGE, 1996).

En la zona nororiental, el flujo es principalmente hacia el sureste. Las cotas piezométricas varían entre los 1010 y los 1130 m. En el sector suroccidental, las direcciones varían entre suroeste a noreste, pero normalmente con componente sur. Las cotas piezométricas son algo más bajas, variado entre 875 y 1070 m (ITGE, 1996)

La subunidad de Cárceles-Carluco es menos conocida, al no existir ninguna perforación en su interior. El flujo parece dirigirse hacia el norte y noreste, hacia el nacimiento del río Bedmar (manantiales de Sistillo nºs 2038/2/4 y 2038/2/5, a 700 y 680 m respectivamente). El manantial Sistillo I nº2038/2/5 presenta caudales medios de 287 l/s (con máximos de 2800 l/s) bastante superiores al manantial Sistillo II nº 2038/2/4.

### 3.1.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

La alimentación se produce por infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables. Las descargas se producen a través de los manantiales, mediante extracciones por bombeo y un probable drenaje subterráneo al río Jandulilla y a materiales miocenos.

El balance hídrico disponible procede de distintos estudios para cada subunidad, que contemplan también diferentes periodos de estudio. No obstante, son ambos de un período



de años hidrológicos suficiente (más de 35 en ambos casos), por lo que pueden considerarse comparables.

- **Subunidad de Mágina (ITGE, 1996)**

Como balance global de la subunidad, para el período de control foronómico 1982-83 a 1994-95, que puede considerarse seco, se obtiene:

Entradas:

Infiltración de agua de lluvia sector nororiental	4,1 hm <sup>3</sup> /año
Infiltración de agua de lluvia sector Suroriental:	
Subsector SW-1 (Gargantón Alto)	5,3 hm <sup>3</sup> /año
Subsector SW-2 (Mata Begid)	2,6 hm <sup>3</sup> /año
Subsector SW-3 (Tosquilla-Guadalijar-Gargantón Bajo)	1,5 hm <sup>3</sup> /año
<b>TOTAL</b>	<b>13,5 hm<sup>3</sup>/año</b>

Salidas:

Manantiales y galerías	11,4 hm <sup>3</sup> /año
Sondeos	0,6 hm <sup>3</sup> /año
Descargas subterráneas ocultas	1,5 hm <sup>3</sup> /año
<b>TOTAL</b>	<b>13,5 hm<sup>3</sup>/año</b>

Si se calculan las entradas para un año medio del período 1960-95, se puede observar que son bastante mayores, del orden de 19,5 hm<sup>3</sup>/año, que podrían considerarse representativas de los recursos medios de esta subunidad. No están disponibles las salidas para este periodo.

- **Subunidad de Cárceles-Carluco (CHG, 1995)**

Entradas:

Para una secuencia climática seca (período 1980-94 con control foronómico), las entradas deducidas para esta subunidad, por proporción de su superficie permeable respecto al total de la Unidad de Almadén-Carluca, en la que se incluía hasta la fecha, se tendría:



Infiltración de agua de lluvia	7,6 a 8,8 hm <sup>3</sup> /año
Lateral de la Subunidad Mágina	1,6 a 0,4 hm <sup>3</sup> /año
TOTAL	9,2 hm <sup>3</sup> /año

Salidas:

Drenaje por manantiales	9,2 hm <sup>3</sup> /año
TOTAL	9,2 hm <sup>3</sup> /año

Para años medios no se dispone de aforos de manantiales, pero las entradas por infiltración se elevarían con igual criterio a unos 14,5-17,5 hm<sup>3</sup>/año (período 1942-85), que pueden considerarse representativas de los recursos medios de esta subunidad.

En definitiva, para el conjunto de la Unidad los recursos medios serían, por consiguiente, de unos 34-37 hm<sup>3</sup>/año, mientras que en años secos no superarían los 21-22 hm<sup>3</sup>/año.

### **3.2. Masa de agua 05.41 Larva – Guadahortuna**

#### 3.2.1. Marco geológico

Los materiales que constituyen la Masa de agua de Larva – Guadahortuna, se asignan a la Zona Subbética en el dominio Subbético Medio (IGME, 1988b), si bien otros autores atribuyen esta zona a las denominadas “Unidades Intermedias”.

A grandes rasgos, dentro de la Unidad se pueden diferenciar tres sectores o franjas de orientación claramente bética (S-SE), ubicadas en el dominio Subbético medio:

- Un sector norte (Cabra de Santo Cristo – Larva), en el que están presentes afloramientos de materiales mesozoicos y neógenos, que conforman una zona de gran complejidad estructural.
- Un sector sur (Torrecardela – Pedro Martínez), en el que aparecen casi exclusivamente sedimentos paleógenos y aquitanienses conformando un extenso sinclinorio.
- Un sector central (Guadahortuna), situado entre los dos anteriores, que se encuentra ocupado por materiales recientes (Mioceno superior – Cuaternario) que ocultan la historia previa de esta zona.



Estratigráficamente se diferencian dentro de esta unidad diversos materiales que se pueden esquematizar del siguiente modo:

- Triásico: Pertenecen a él los materiales más antiguos de la Unidad, aflorando de forma amplia y discontinua en la mitad septentrional de la misma, alcanzando potencias superiores a los 700 metros. Están representados por una alternancia de limolitas, arcillas versicolores y areniscas rojas y verdosas con esporádicos niveles yesíferos y/o dolomíticos y de forma más dispersa rocas volcánicas (ofitas).
- Jurásico: Está representado en la unidad por una serie carbonatada que enlaza con los materiales anteriores a través de unos niveles de dolomías carniolares de edad finitriásica. Sobre estos materiales, se desarrolla una potente serie dolomítica de aspecto brechoide que hacia techo cambia paulatinamente a un carácter más calizo, lo que trae consigo un mayor desarrollo de la estratificación (calizas tableadas y calizas con sílex). Su potencia total alcanza en algunos puntos los 300 metros y su techo puede datarse como Lías inferior – medio (Pliensbachiense).  
Como continuación de la serie jurásica y hacia techo, aparece una serie comprimida que comprende calizas nodulosas, calizas oolíticas, calizas con sílex, margas, margocalizas y calizas margosas pertenecientes al Lías medio – superior – Dogger y Malm, con más de 200 metros de potencia. Son frecuentes las intercalaciones de rocas volcánicas en esta serie jurásica (ofitas).
- Cretácico: Se distinguen dos tramos, ambos de carácter margoso. El tramo inferior, está formado por una alternancia de margas, margocalizas y localmente areniscas con una potencia regional superior a los 500 metros, si bien en la unidad, tan solo aparecen retazos de escasas decenas de metros de espesor.  
El tramo superior está representado por una sucesión de margocalizas de tonos rosados y blancos cuya potencia no supera la docena de metros.
- Terciario: Junto con los materiales triásicos, son los que mayor extensión ocupan en la unidad. Se pueden diferenciar una serie de facies distintas que aparecen de forma discontinua y de difícil diferenciación, ya que con gran frecuencia presentan formas resedimentadas, generalmente mesozoicas y eocenas.  
En concordancia y sin solución de continuidad sobre el Cretácico superior, sigue desarrollándose la misma sucesión de margas blanquecinas con teñidos rojizos que hacia el techo intercalan niveles de calcarenitas que llegan hasta el Oligoceno. Aparecen al norte, oeste y sur de la Sierra de Santerga, en contacto mecánico con el Trías y las rocas carbonatadas del Lías y recubiertas a su vez por materiales postorogénicos. Al sur de unidad aflora ampliamente en las inmediaciones de Torrecardela, constituyendo una potente serie turbidítica "Formación Cañada".



En los alrededores de Cabra de Santo Cristo y sur de Larva y Solera, las calcarenitas se sitúan concordantemente sobre las margas blanquecinas o sobre materiales más inferiores por medio de una discordancia angular erosiva. Petrográficamente están constituidas por calcarenitas, calizas bioclásticas y episodios de margas, arenas y conglomerados, con frecuentes cambios de facies tanto lateral como verticalmente. Su potencia puede superar los 100 metros y su edad abarca desde el Oligoceno superior al Burdigaliense inferior.

- Neógeno: Está representado por series miocenas y pliocenas esencialmente detríticas.
  - El Mioceno está constituido por margas más o menos arenosas que incluyen niveles de areniscas y conglomerados, esta serie puede alcanzar potencias próximas a los 400 metros.
  - El Plioceno se encuentra bien representado en el sector central de Unidad, en la zona topográficamente deprimida por cuyo eje discurre el Río Guadahortuna. Esta formado por un nivel de colmatación que recubre el relieve previo muy accidentado constituido por conglomerados de tonos rojizos o pardos de cementación irregular, asimilables a los que constituyen la Formación Guadix.
- Cuaternario reciente: Los materiales pertenecientes a esta edad, están constituidos por toda una gama de sedimentos continentales que comprende desde brechas cementadas de ladera, hasta pequeños conos de deyección y materiales de fondo de valle. La naturaleza de todos ellos es conglomerática con diferente grado de cementación. Especial interés presentan los depósitos aluviales ligados a la dinámica fluvial actual.

### 3.2.2. Descripción hidrogeológica

La complejidad estructural de los materiales que conforman la unidad, unido a la variabilidad de los materiales acuíferos presentes en la misma, individualiza una serie afloramientos acuíferos con un funcionamiento hidrogeológico independiente de los demás. Con estas premisas, y describiendo ampliamente sólo los acuíferos explotados en este municipio, los acuíferos presentes en la unidad se pueden agrupar de acuerdo a su composición litológica en:

- **Acuíferos carbonatados jurásicos:**

- Subunidad de Larva – Solera -DIPUTACIÓN DE JAÉN – ITGE, 1997): Se localiza en la transversal definida por los núcleos de población de Larva y Solera. Está constituida por materiales carbonatados jurásicos y calcareníticos miocenos que afloran en las sierras del Buitre, Larva, Cújar, Solera, Sazadilla, Los Chotos y Morrón, constituyendo el acuífero de Larva – Solera de 35 km<sup>2</sup> de extensión aproximada.



En esta subunidad se pueden diferenciar tres acuíferos con un funcionamiento independiente:

- Acuífero de Cabra de Santo Cristo -ITGE, 1990a): Esta constituido por dolomías de edad Triásico – Lías inferior y medio que afloran en las sierras del Buitre y de los Cangilones, muy próximas a la localidad de Cabra de Santo Cristo. El conjunto se encuentra colgado sobre materiales impermeables de edad triásica, si bien algunos sectores de su borde oriental y septentrional se encuentran fracturados, lo que puede facilitar un cierto grado de enraizamiento.
- Acuífero de Chotos – Sazadilla – Los Nacimientos -DIPUTACIÓN DE JAÉN – ITGE, 1997): Comprende los relieves carbonatados y depósitos calcareníticos que afloran en la transversal entre Solera y la Estación de Cabra de Santo Cristo. La extensión de estos afloramientos es de unos 9 km<sup>2</sup> para los materiales dolomíticos y de unos 20 km<sup>2</sup> para las calcarenitas.

- Acuífero de Larva (DIPUTACIÓN DE JAÉN – ITGE, 1997): Se sitúa en el sector nororiental de la Unidad y se encuentra completamente desconectado de los acuíferos anteriormente descritos. Está constituido por materiales dolomíticos jurásicos y calcareníticos oligocenos que afloran en la Sierra de Larva.

Los materiales dolomíticos presentan potencias del orden de 300 m y ocupan una extensión aproximada de 0,5 km<sup>2</sup>, mientras que las areniscas bioclásticas, afloran en la zona de los Picones y en la ladera oriental del la Sierra de Larva, con espesores entre 100 y 120 metros, ocupando entre ambos afloramientos una extensión de unos 3,5 km<sup>2</sup>.

Este acuífero se encuentra muy compartimentado y en él se pueden diferenciar al menos tres sectores con funcionamiento hidráulico independiente -ITGE, 1996):

El Sector Oriental, corresponde a los afloramientos calcareníticos miocenos localizados en la zona oriental de la Sierra de Larva, los cuales ocupan una extensión aproximada de 204 hm<sup>2</sup>.

El Sector Central, está constituido por conglomerados, areniscas y margas del Mioceno, que afloran en la Sierra de Larva, ocupando una superficie de 88 hm<sup>2</sup>.

El Sector Occidental, que ocupa la mitad occidental de la Sierra de Larva, está constituido por materiales calizo-dolomíticos jurásicos que ocupan su zona occidental, y por materiales calcareníticos miocenos que ocupan su zona oriental, separadas ambas por una falla de dirección NO-SE.

- Subunidad de Gante – Santerga (IGME, 1983): Al sur de la subunidad anteriormente descrita, cerca del núcleo urbano de Guadahortuna se localiza la subunidad de Gante – Santerga.

Está constituido por afloramientos de calizas y dolomías jurasicas que configuran una estructura anticlinal de dirección este – oeste, extendiéndose desde la Sierra de Santerga al oeste hasta el Cortijo de Gante al este. La potencia media del conjunto

carbonatado es de 300 metros, con una superficie de afloramientos permeables de unos 9 km<sup>2</sup>. En la subunidad se diferencia tres acuíferos diferentes:

- Acuífero de los Gallardos: Está constituido por un pequeño afloramiento de calizas beiges del Lías medio – superior en el borde occidental de la subunidad. Éstas, presentan unos 100 metros de potencia y una extensión inferior a 1 km<sup>2</sup>.
- Acuífero de Santerga: está constituido por dolomías y calizas del Lías inferior – medio, muy fracturas y bastante karstificadas, que constituyen parte del núcleo de una estructura anticlinal. Afloran en una extensión aproximada de unos 5 km<sup>2</sup>, aunque la potencia del acuífero es muy escasa.
- Acuífero de La Serreta – Gante – Cabeza Montosa: Está constituido por calizas oolíticas del Dogger – Malm, con alto grado de karstificación en superficie. El área de afloramiento de estos materiales es de aproximadamente 4 km<sup>2</sup>, para el primer sector y de unos 2 km<sup>2</sup> para el segundo. La potencia de los materiales acuíferos es normalmente superior a los 200 metros.

- **Acuíferos calcareníticos oligocenos:**

- Subunidad calcarenítica de los Altos de Torrecardela (DIPUTACIÓN DE GRANADA, 1995): Este acuífero está constituido por calcarenitas, areniscas bioclásticas y margas de edad Eoceno medio – Aquitaniense, que afloran en una extensión de unos 60 km<sup>2</sup>. En conjunto constituyen una serie de relieves alomados entre las depresiones de Guadahortuna y Moreda – Huélago.

Los afloramientos permeables de esta formación, unos 47 km<sup>2</sup>, constituyen un acuífero de moderada potencialidad, limitado por la presencia de numerosas intercalaciones margosas y por el juego de fracturación que induce a pensar en una fuerte compartimentación del mismo.

- **Acuíferos detríticos:**

- Subunidad plio-cuaternaria de la Depresión de Guadahortuna (IGME, 1982): El acuífero está conformado por conglomerados más o menos cementados y lentejones de arenas que constituyen el tramo superior del Plioceno – Cuaternario. Presenta una gran heterogeneidad en su permeabilidad y en conjunto es de baja a media. La superficie de afloramientos permeables es de 161 km<sup>2</sup>.

Este tramo superior permeable ha sido erosionado en los cauces de ríos y arroyos, dando lugar a una alta compartimentación del acuífero en sectores de escasa entidad.

- Subunidad del aluvial del Río Guadahortuna (IGME, 1982): Está constituido por niveles de gravas finas y arenas en una matriz limosa, con una permeabilidad media – baja en su conjunto, debida a porosidad intergranular.

El aluvial del Río Guadahortuna ocupa una superficie de 14 km<sup>2</sup>, con una cuenca de recepción de unos 225 km<sup>2</sup>. La potencia del aluvial varia entre los 15 y 7 metros, aumentando hacia aguas abajo.

### 3.2.3. Límites y geometría del acuífero

La Masa de agua 05.41 “Larva - Guadahortuna” se ubica al sureste de Sierra Mágina, entra las provincias de Jaén y Granada, en el extremo suroriental de la Comarca de los Montes Orientales.

Desde el punto de vista geográfico, comprende un sector norte de topografía muy irregular con alineaciones montañosas muy interrumpidas, con cotas superiores a los 1.200 metros, de dirección aproximada este – oeste. La unidad se encuentra limitada al sur por una región de una altitud media elevada (superior a los 1.000 metros), con un relieve más monótono de formas suaves y alomadas (sector de Torre Cardela – Pedro Martínez). Entre ambos sectores, se localiza una zona deprimida, respecto a ambos, que configura una gran altiplanicie profundamente disectada por el Río Guadahortuna, sobre todo en el sector oriental.

Los principales acuíferos están constituidos por los niveles carbonatados jurásicos principalmente, y menor importancia tienen los tramos calcareníticos paleógenos y Tortonense, así como los niveles detrítico pliocuaternarios y cuaternarios recientes.

Entre los niveles carbonatados jurásicos destacan las dolomías y calizas del Lías inferior que aparecen como acuíferos colgados, libres o confinados según el sector de que se trate. Deben su elevada permeabilidad a procesos de fracturación y/o karstificación. Las calizas del Dogger y Malm, tienen igualmente un comportamiento acuífero, pero debido a la presencia de niveles margosos, la permeabilidad del conjunto es inferior al tramo inferior liásico.

### 3.2.4. Hidroquímica del sector

Las aguas de la Unidad presentan una gran variabilidad en cuanto a su calidad química en función del acuífero del que procedan.

- El acuífero de Larva (ITGE, 1996), presenta una gran variabilidad en la conductividad de sus aguas, con valores comprendidos entre 255  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (2138/1/5) y 5790  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (2038/4/27), lo que parece indicar la existencia de diferentes de sectores acuíferos claramente diferenciados.



En el Sector Oriental las aguas presentan una mineralización media baja, con una conductividad de 255  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el Sector Central, la elevada salinidad de los dos únicos sondeos que captan el sector (conductividades de 5.790  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el sondeo 2038/4/27 y 4.920  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el sondeo 2038/4/1), hace pensar en la existencia de una elevada influencia de materiales salinos del Trías. Y en el Sector Occidental presenta mineralizaciones intermedias.

- En el acuífero de Chotos –Cortijo Hidalgo, sus aguas son de facies bicarbonatada cálcica y de bajos contenidos en sales.
- De las aguas del acuífero Gante – Santerga, solo se dispone de un análisis realizado en el manantial de Gante (2039/3/21), se obtiene en él una facies sulfatada – bicarbonatada cálcico – magnésica, con un residuo seco de 660 mg/l. Los contenidos en sulfatos y magnesio pueden ser debidos a contaminación en profundidad por materiales triásicos.
- Las aguas procedentes del acuífero calcarenítico de los Altos de Torrecardela presentan unas concentraciones en nitratos superiores al máximo admisible exigido en la Reglamentación Técnico-Sanitaria para abastecimiento y control de las aguas potables de consumo público (R.D. 1138/1990 de 14 de septiembre) (IGME, 2000 a y b).
- Las aguas del aluvial del Río Guadahortuna, son de facies bicarbonatadas cálcicas con salinidad total comprendida entre 50 y 1.000mg/l (IGME, 1982). Desde el punto de vista de su uso para consumo humano son de buena calidad químicamente, si bien en la analítica no se determino su contenido en nitratos.

### 3.2.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría

Son muy escasos los datos referentes a parámetros hidráulicos de que se disponen. Las transmisividades más bajas se obtienen, como es de esperar, en el acuífero calcarenítico de los Altos de Torrecardela, con valores que oscilan entre  $2,3 \times 10^{-4}$  a  $4,6 \times 10^{-4}$   $\text{m}^2/\text{s}$  (ITGE, 1992b).

IGME (2000 a y b) presentan los siguientes parámetros para este acuífero:

- Transmisividad :  $6 \times 10^{-4}$   $\text{m}^2/\text{s}$
- Coeficiente de almacenamiento: 0,001
- Porosidad eficaz: 0,001
- Gradiente hidráulico: 0,5%



Un ensayo de bombeo realizado en el sondeo de abastecimiento a Alamedilla (2039/3/28), ubicado en el acuífero Serreta – Gante, arroja unos valores de transmisividad del orden a  $0,042 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Los valores de transmisividad para el acuífero carbonatado de Chotos – Cortijo Hidalgo, calculados en el abastecimiento a Cabra de Santo Cristo (ITGE, 1991), son del orden de  $0,1$  a  $0,14 \text{ m}^2/\text{s}$ . En el bombeo de ensayo realizado sobre el sondeo 2039/3/23, se calculan valores de transmisividad del orden de  $0,115 \text{ m}^2/\text{s}$  y un coeficiente de almacenamiento de  $2 \times 10^{-2}$  - ITGE, 1995).

La evolución piezométrica de la masa de agua sólo es conocida en algunos de sus sectores:

- **Acuífero de Larva:**
  - Sector oriental: El nivel piezométrico en este sector se sitúa a una cota de  $751 \text{ m}$  correspondiente al único punto acuífero existente (sondeo 2138/1/5).
  - Sector central: El nivel piezométrico se encuentra a una cota del orden de  $650 \text{ m}$  ( $646 \text{ m}$  en el sondeo 2038/4/27 y  $654 \text{ m}$  en el sondeo 2038/4/1).
  - Sector occidental: Atendiendo a los niveles piezométricos existentes se podrían considerar a su vez dos subsectores separados por una falla de dirección NO-SE, uno occidental jurásico, correspondiente a los materiales jurásicos y paleógenos asociados, con el nivel situado a una cota entre  $720$  y  $725 \text{ m}$  y otro oriental calcarenítico, con el nivel situado a una cota de  $710 \text{ m}$ .
- Subunidad aluvial del río Guadahortuna: La evolución muestra una tendencia al descenso de los niveles entre  $1,25$  y  $2,65$  metros, siendo más evidente este descenso hacia la zona de cabecera del río.

### 3.2.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

- **Subunidad de Larva – Solera:**
  - Acuífero de Cabra de Santo Cristo (ITGE, 1990a): el acuífero se encuentra dividido en dos sectores. La alimentación de la formación permeable se realiza exclusivamente a partir de la infiltración directa de las precipitaciones, y sus salidas se realizan por manantiales.
  - Acuífero de Chotos – Sazadilla – Los Nacimientos (ITGE, 1990b): La alimentación procede en su totalidad de la infiltración directa de la lluvia, y se calcula que tiene unos recursos renovables de  $2,4 \text{ hm}^3/\text{año}$ , sí bien, las surgencias visibles representan unos



caudales anuales algo inferiores, lo que hace suponer que parte de estos recursos son transferidos de forma oculta hacia los depósitos pliocuaternarios de borde.

- Acuífero de Larva (ITGE, 1996):

- Sector oriental: Su alimentación se produce exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables. Considerando la precipitación media anual de la zona de 500 mm (DITPUTACIÓN DE JAÉN – ITGE, 1997) y aplicando un porcentaje de infiltración del 30 % para este tipo de materiales (porcentaje habitual para esta zona y tipo de material), la alimentación y los recursos del sector se estiman en 0,31 hm<sup>3</sup>/año.

La descarga se produce de forma subterránea hacia los materiales semipermeables de la Depresión de Larva y en mucha menor medida por bombeo en el sondeo 2138/1/5 (0,002 hm<sup>3</sup>/año).

- Sector central: La alimentación de este sector se produce exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables.

Considerando las características litológicas de este sector, se cree apropiado aplicar un porcentaje de infiltración del 20% sobre la precipitación media anual de la zona (500 mm), la alimentación del sector por este concepto, y, por tanto, sus recursos se estiman en 0,09 hm<sup>3</sup>/año.

La descarga del sector se realiza de forma subterránea hacia la Depresión de Larva y por el bombeo de los sondeos 2038/4/27 y 2038/4/1 (0,04 hm<sup>3</sup>/año).

- Sector occidental: Atendiendo a los niveles piezométricos existentes se podrían considerar a su vez dos subsectores separados por una falla de dirección NO-SE, uno occidental jurásico y otro oriental calcarenítico. La relación entre ambos subsectores estaría marcada por la descarga subterránea del sector occidental jurásico sobre el oriental calcarenítico, con flujos de oeste a este.

La alimentación del subsector jurásico se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 50% de la precipitación media sobre sus afloramientos (187 hm<sup>2</sup>) en 0,47 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas del subsector corresponderían por un lado a los bombeos de los sondeos que lo explotan (sondeos 2038/4/14, 2038/4/24, 2038/4/13, 2038/4/26, 2038/4/17 y 2038/8/5), estimados en 0,12 hm<sup>3</sup>/año y al drenaje hacia el subsector calcarenítico, que se estima en 0,35 hm<sup>3</sup>/año.

La alimentación del subsector calcarenítico procede por una parte del drenaje subterráneo del subsector jurásico (0,35 hm<sup>3</sup>) y, por otra, de la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos (112 km<sup>2</sup>) en los que aplicando una infiltración del 30 % de la precipitación media, se obtiene una alimentación de 0,17 hm<sup>3</sup>/año. En este subsector no existen actualmente extracciones por bombeo.

- **Subunidad de Gante – Santerga:**

La alimentación de este sistema acuífero de Gante – Santerga, procede exclusivamente del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables, ya que se encuentra aislado de otros sistemas acuíferos.

Los recursos hídricos subterráneos son del orden de 1,2 hm<sup>3</sup>/año (DITPUTACIÓN DE JAÉN – ITGE, 1997), desglosados del siguiente modo en 0,1 hm<sup>3</sup>/año correspondientes al sector de Los Gallardos, 0,8 hm<sup>3</sup>/año al de la Serreta – Gante y unos 0,3 hm<sup>3</sup>/año a Cabeza Montosa. Las salidas se producen de forma natural a través de manantiales y por flujo subterráneo hacia los materiales pliocuaternarios de borde, a excepción de la producida en el sondeo de regulación de Gante (2039/3/28).

- **Subunidad calcarenítica de los Altos de Torrecardela (ITGE, 1992a):**

Son escasos los datos de que se disponen con relación al funcionamiento de este acuífero. Al estar aislado, cabe pensar que su alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los materiales calcareníticos.

Los recursos de este acuífero, con una superficie próxima a los 47 km<sup>2</sup>, para una precipitación anual de 400 mm, con una infiltración del orden al 10 –20 %, supondrían 2,8 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas se producen de forma natural a través de pequeños manantiales y por bombeos tanto para riego de olivar y frutal como para abastecimiento a núcleos de población como Torrecardela y El Gobernador.

- **Subunidad pliocuaternaria de la depresión de Guadahortuna:**

Son pocos los datos de que se disponen de esta subunidad, debido a la ausencia en ella de puntos de agua significativos. En general, se trata de un acuífero de permeabilidad media a baja con una gran heterogeneidad en su distribución espacial.

La alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los materiales permeables, por infiltración de la escorrentía superficial de los materiales impermeables que la rodean y flujos subterráneos ocultos desde otras subunidades, entre las que cabe citar, las calcarenitas de Torrecardela y los acuíferos carbonatados de la Serreta – Gante y Cabeza Montosa. Las principales salidas se localizan al sur de la estación de Cabra de Santo Cristo, en el Arroyo de los Ciruelos a una cota de 940 metros (IGME, 1981). También son importantes las salidas por bombeos para riego.

- **Subunidad aluvial del río Guadahortuna (CHG, 1995):**

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la lluvia sobre el propio aluvial, por infiltración de la escorrentía sobre los materiales de borde, por recarga del propio Río



Guadahortuna y por flujos ocultos desde otros acuíferos próximos entre los que destaca el de Serreta – Gante.

En función de los datos de que se disponen se ha realizado un balance global aproximado, para esta unidad, como suma de los balances de cada una de las subunidades que la componen. Este balance determina un volumen de agua de entrada en la Unidad de 12,90 hm<sup>3</sup>/año, que se corresponde con el mismo volumen de salidas, si bien en la unidad existe un volumen adicional de 3,50 hm<sup>3</sup>/año que se encuentra en circulación entre subunidades.

- **Subunidad de Larva – Solera (DIPUTACIÓN DE JAÉN – ITGE, 1997):**

Entradas:

	hm <sup>3</sup> /año
Infiltración del agua de lluvia	3,00
TOTAL	3,00

Salidas:

Bombeos	0,40
Descargas naturales	1,90
Flujo subterráneo a otras formaciones permeables	0,70
TOTAL	3,00

- **Subunidad de Gante – Santerga (DIPUTACIÓN DE GRANADA, 1995):**

Entradas:

	hm <sup>3</sup> /año
Infiltración de agua de lluvia	1,30
TOTAL	1,30

Salidas:

Bombeos	0,20
Descargas naturales	0,30



Flujo subterráneo a otras formaciones permeables	0,80
TOTAL	1,30

- **Subunidad de los Altos de Torrecardela (ITGE, 1992a):**

Entradas:

	hm <sup>3</sup> /año
Infiltración de agua de lluvia	3,00
TOTAL	3,00

Salidas:

Bombeos	1,00
Descargas naturales	0,20
Flujo subterráneo a otras formaciones permeables	1,80
TOTAL	3,00

- **Subunidad pliocuaternaria de la Depresión de Guadahortuna:**

Entradas:

	hm <sup>3</sup> /año
Infiltración de agua de lluvia	2,80
Aportes subterráneos desde otras subunidades	2,40
TOTAL	2,80

Salidas:

Bombeos	2,20
Descargas naturales	2,00
Flujo subterráneo a otras formaciones permeables	1,00



TOTAL 2,80

- **Subunidad Aluvial del Río Guadahortuna (DIPUTACIÓN DE GRANADA, 1995):**

Entradas:

	hm <sup>3</sup> /año
Infiltración de agua de lluvia	0,40
Aportes subterráneos desde otras subunidades	1,50
Infiltración por escorrentía superficial	2,00
TOTAL	3,90

Salidas:

Bombes	3,50
Descargas naturales	0,40
TOTAL	3,90



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

### **4.1. Inventario de focos contaminantes**

El municipio de Huelma presenta una muy importante actividad agrícola, ganadera e industrial.

La actividad ganadera corresponde fundamentalmente a la explotación de ganado aviar, con 12 granjas situadas a lo largo de todo el término municipal donde se encuentran más de 150.000 cabezas de este tipo de ganado. Estas explotaciones se sitúan sobre terrenos de diversa permeabilidad, por lo que se considera que la afección potencial sobre las aguas subterráneas será variable según la situación específica de cada una de ellas, si bien en ningún caso se estima significativa la afección potencial sobre las captaciones de abastecimiento. El resto de la cabaña ganadera de este municipio, fundamentalmente ganado ovino y caprino, se encuentra diseminado a lo largo del término municipal, siendo por tanto bajas las posibilidades de afección a las aguas subterráneas o de abastecimiento.

La actividad industrial es muy importante y variada, destacando la existencia de cinco almazaras con sus correspondientes balsas de alpechín y dos industrias cárnicas. Estas actividades se encuentran fundamentalmente en el núcleo urbano o en sus proximidades sobre terrenos de nula o baja permeabilidad, por lo que la afección potencial sobre las aguas subterráneas será poco significativa, mientras que sobre las captaciones de abastecimiento, debido a su ubicación será insignificante.

La actividad agrícola, desarrollada a lo largo de todo el término municipal, corresponde al cultivo casi exclusivo del olivo, con más de 10.000 ha cultivadas. La afección potencial de estas actividades sobre la calidad de los recursos subterráneos es de carácter difuso, derivada de las labores de abonado y tratamientos fitosanitarios. En cuanto a la afección potencial sobre las captaciones de abastecimiento, esta afección no parece que pueda llegar a ser significativa debido a la escasa presencia de zonas cultivadas en las proximidades de las captaciones.

Para más información sobre focos potenciales de contaminación, se remite al lector a las memorias municipales de la 2ª Fase del Plan de Control de recursos y gestión de captaciones de aguas subterráneas para abastecimientos urbanos de la provincia de Jaén.

### **4.2. Vulnerabilidad frente a la contaminación**

Los afloramientos permeables de la masa de agua 05.21 Sierra Mágina presentan un alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.



Para la masa de agua 05.41 Larva – Guadahortuna, en el Mapa de vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación en Andalucía, que se recoge en el Atlas Hidrogeológico de Andalucía (ITGE – JUNTA DE ANDALUCÍA, 1998), representa como “zonas de vulnerabilidad alta”, las áreas ocupadas por afloramientos carbonatados jurásicos, debido a la alta velocidad de circulación de las aguas, a su escasa capacidad de retención de contaminantes y autodepuración limitada. El resto de la superficie de la Unidad está representada como “zona de vulnerabilidad baja”.

### 4.3. Sistema de vigilancia

A pesar de la inexistencia de actividades potencialmente contaminantes en las poligonales envolventes propuestas, se propone llevar a cabo un seguimiento de la eficiencia del perímetro de protección delimitado que garantice el mantenimiento de la calidad del agua en las captaciones de abastecimiento. Para ello, se han seleccionado una serie de puntos de agua en los que llevar a cabo un muestreo de aguas subterráneas, con la realización de análisis periódicos de parámetros de interés, acordes con el tipo de contaminación potencial que se podría generar.

A continuación se especifican los puntos de control propuestos, parámetros a determinar y frecuencia de análisis:

Nº IGME	Determinaciones	Frecuencia
2038-5-0023	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
2038-6-0001	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
2038-6-0002	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
2038-7-0034	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual

Asimismo, en caso de producirse una situación especial que provoque un vertido potencialmente contaminante en las proximidades de la captación, se llevará a cabo una campaña de seguimiento de la calidad del agua, con el análisis de los parámetros que en cada momento se juzgue necesario determinar y con la periodicidad que aconsejen las circunstancias.

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

### 5.1. Introducción

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 de 1 día).
- Zona II o de restricciones máximas (tiempo de tránsito de 50 días).
- Zona III o de restricciones moderadas (tiempo de tránsito de 4 años).

A aplicación de este método precisa el conocimiento una serie de variables como son:

- $i$ : Gradiente hidráulico.
- $Q$ : Caudal de bombeo ( $m^3/s$ ).
- $k$ : Permeabilidad horizontal ( $m/s$ ).
- $m_c$ : Porosidad eficaz.
- $b$ : Espesor del acuífero.

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:

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

Mientras que la distancia desde la captación a un punto con un tiempo de tránsito  $t$  (en días, se puede calcular siguiendo la siguiente expresión:

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

Siendo  $l$  el producto de la velocidad efectiva ( $V_e$ ) por el tiempo de tránsito. El signo positivo inicial se usa para calcular la distancia aguas arriba de la captación, mientras que el signo negativo se usa para calcular la distancia aguas debajo de la captación.

Para el cálculo de los perímetros de protección de las captaciones de este municipio se ha utilizado la hoja de cálculo propuesta en ITGE (1998), que simplifica las superficies protegidas

de un elipsoide a un trapecio. En esta hoja de cálculo se han considerado los siguientes datos de partida en las captaciones de Huelma:

- Sondeo Tosquilla (2038-5-0017):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	$Q_l$	12	Ficha IGME
Transmisividad ( $m^2/día$ )	T	100	Descripción hidrogeológica
Espesor total zonas transmisivas	b	500	Ficha IGME
Permeabilidad (m/día)	K	0,2	Cálculo
Porosidad	m	0,01	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,01	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,01	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	220	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	458923	
Latitud captación (UTM)	m	4171552	

- Sondeos de Gualijares (2038-6-0016 y 18):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	$Q_l$	16	Ficha IGME
Transmisividad ( $m^2/día$ )	T	100	Descripción hidrogeológica
Espesor total zonas transmisivas	b	500	Ficha IGME
Permeabilidad (m/día)	K	0,2	Cálculo
Porosidad	m	0,01	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,01	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,01	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	200	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	462021	
Latitud captación (UTM)	m	4172025	

- Sondeo Cortijo de Cújar (2038-7-0027):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	$Q_l$	16	Ficha IGME
Transmisividad ( $m^2/día$ )	T	100	Descripción hidrogeológica
Espesor total zonas transmisivas	b	100	Ficha IGME
Permeabilidad (m/día)	K	1	Cálculo
Porosidad	m	0,02	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,02	Estimación propia

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Gradiente Hidráulico	i	0,01	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	180	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	471433	
Latitud captación (UTM)	m	4169023	

Con estos valores, los parámetros de partida para definir las zonas de protección de acuerdo con el método de Wyssling son los siguientes:

Huelma	2038-5-0017	2038-6-0016/18	2038-7-0027
X <sub>0</sub> o radio de llamada (m)	165	220	220
B o ancho de llamada (m)	1037	1382	1382
B` o ancho de llamada a la altura de la captación (m)	518	691	691
V <sub>e</sub> o velocidad eficaz (m/día)	0	0	1

Según la metodología propuesta, se realiza una zonación dentro del perímetro de protección de la captación objeto de estudio en tres zonas, con restricciones mayores de uso cuanto más próximas a las captaciones.

## 5.2. Zona de restricciones absolutas

Se considera como el círculo cuyo centro es la captación 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 una forma circular u oval dependiendo de las condiciones hidrodinámicas, aunque se puede representar como un círculo por simplicidad, cumpliendo igualmente el objetivo que se persigue, que es proteger la captación y sus proximidades.

Huelma	2038-5-0017	2038-6-0016/18	2038-7-0027
S <sub>I</sub> aguas arriba (m)	8	9	15
S <sub>I</sub> aguas abajo (m)	9	11	15

En todos los casos se adoptará el polígono teórico, si bien ligeramente modificado para adaptarlo a las condiciones reales del terreno. En esta zona 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 la captación (en el caso de que no exista), que se valle la zona definida y se instale un drenaje perimetral.

### 5.3. Zona de restricciones máximas

Se considera la zona de restricciones máximas como el espacio ( $s_{II}$ ) que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 50. Queda por tanto delimitada entre la zona de protección inmediata y la isocrona de 50 días.

Huelma	2038-5-0017	2038-6-0016/18	2038-7-0027
$S_{II}$ aguas arriba (m)	64	73	122
$S_{II}$ aguas abajo (m)	51	60	89

A efectos prácticos, se adoptarán los polígonos teóricos salvo que éstos superen los límites establecidos en la poligonal envolvente de las captaciones. En el Anexo I se incluye la relación de actividades y limitaciones que se deben imponer.

### 5.4. Zona de restricciones moderadas

Limita el área comprendida entre la zona de protección próxima II y la isocrona de 4 años (radio  $s_{III}$ ). Cuando el límite de zona de alimentación del sondeo esté a una distancia menor que la citada isocrona, el límite de la zona lejana coincidirá con la zona de alimentación.

Huelma	2038-5-0017	2038-6-0016/18	2038-7-0027
$S_{III}$ aguas arriba (m)	528	573	1.127
$S_{III}$ aguas abajo (m)	165	220	220

Al igual que en caso de la zona de restricciones máximas, a efectos prácticos se adoptarán los polígonos teóricos salvo que éstos superen los límites establecidos en la poligonal envolvente de las captaciones. También en el Anexo I se incluye la relación de actividades y limitaciones que se deben imponer.

### 5.5. Protección de la cantidad

Se delimita un único perímetro de protección de la cantidad para cada captación, con el apoyo de criterios hidrogeológicos, en función del grado de afección que podrían producir determinadas captaciones en los alrededores.

- Sondeo Tosquilla (2038-5-0017):

Para la protección de la cantidad en sondeos de abastecimiento se calcula el descenso en el nivel piezométrico que podrían provocar sondeos de semejantes características a las de los sondeos a proteger, situados a determinadas distancias. Para los cálculos de descensos se utiliza la fórmula de Jacob:

$$D = \frac{0,183}{T} Q \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Donde:

- D: Descenso del nivel piezométrico.
- T: Transmisividad (1.037 m<sup>2</sup>/día).
- Q: Caudal (346 m<sup>3</sup>/día).
- t: Tiempo de bombeo (generalmente 120 días).
- r: Distancia al sondeo de captación (de 50 a 1.000 m).
- S: Coeficiente de almacenamiento (0,01).

Con estos datos de partida, se obtiene que el descenso provocado por un sondeo que explote 12 l/s durante 120 días continuados provocará un descenso de 5,7 m encontrándose a 50 m de distancia. No obstante, teniendo en cuenta las características del acuífero y para garantizar el abastecimiento, se recomienda que la zona de protección de la cantidad ocupe toda la poligonal envolvente de la captación.

- Sondeos de Gualijares (2038-6-0016 y 18):

Para este sondeo se usa la misma ecuación que en el caso del sondeo Tosquilla pero usando los siguientes datos de partida:

- D: Descenso del nivel piezométrico.
- T: Transmisividad (100 m<sup>2</sup>/día).
- Q: Caudal (1.382 m<sup>3</sup>/día).
- t: Tiempo de bombeo (generalmente 120 días).
- r: Distancia al sondeo de captación (de 50 a 1.000 m).
- S: Coeficiente de almacenamiento (0,01).

Con estos datos de partida, se obtiene que el descenso provocado por un sondeo situado a 200 m de la captación que explote 16 l/s durante 120 días continuados provocará un descenso de 4,6 m, lo que constituye el 11 % del espesor saturado. Sin embargo, al igual

que en el caso del sondeo Tosquilla, se recomienda que la zona de protección de la cantidad ocupe toda la poligonal envolvente de la captación.

- Sondeo Cortijo de Cújar (2038-7-0027):

Para este sondeo se usan la misma ecuación que en el caso del sondeo Tosquilla y los mismos datos de partida que en los sondeos de Gualijares.

Con estos datos de partida, se obtiene que el descenso provocado por un sondeo situado a 50 m de la captación que explote 16 l/s durante 120 días continuados provocará un descenso de 7,7 m, lo que constituye el 9,9 % del espesor saturado. No obstante, teniendo en cuenta las características del acuífero y para garantizar el abastecimiento, se recomienda que la zona de protección de la cantidad ocupe toda la poligonal envolvente de la captación.

## 5.6. Poligonal envolvente

Esta poligonal engloba las zonas delimitadas anteriormente; así, al ser en gran parte coincidentes se define una única zona para los sondeos Tosquilla y Gualijares y otro para el sondeo de Cortijo Cújar. Las coordenadas de los vértices de las mismas son las siguientes:

- Sondeo Tosquilla (2038-5-0017) y sondeos de Gualijares (2038-6-0016 y 18):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	462169	4177002	1.800
2	464344	4176034	1.270
3	465897	4175533	920
4	463717	4172209	990
5	459775	4170283	1.100
6	456321	4171400	1.150
7	458170	4175020	1.940
8	461391	4177007	1.770

- Sondeo Cortijo de Cújar (2038-7-0027):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	470716	4170600	1.180
2	472479	4169511	1.110
3	471727	4168775	1.085



<b>Vértice</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>	<b>Cota</b>
4	470657	4168977	1.130
5	469910	4168933	1.180
6	469606	4169503	1.200
7	470003	4170214	1.080



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los puntos tratados en el presente documento son el sondeo Tosquilla (2038-5-0017), los sondeos de Gualijares (2038-6-0016 y 18) y el sondeo Cortijo de Cújar (2038-7-0027)
- Las captaciones 2038-5-0017 y 2038-6-0016/18 explotan la masa de agua 05.21 Sierra Mágina, mientras que la captación 2038-7-0027 explota la masa de agua 05.41 Larva – Guadahortuna.
- A pesar de la importante presencia de actividades potencialmente contaminantes en el municipio de Huelma, no existen focos de contaminación que puedan afectar significativamente a la calidad de las aguas en ninguna de las captaciones.
- La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación puede considerarse como muy alta debido a la naturaleza carbonatada de éstos y al escaso espesor de suelo.
- La delimitación de las distintas zonas de que constan los perímetros de protección se ha basado fundamentalmente en criterios hidrogeológicos, apoyándose en los cálculos realizados siguiendo el método de Wyssling.
- Las normas de explotación de ambas masas contemplan la protección frente a la contaminación de todos los afloramientos permeables de la unidad, por lo que las garantías de protección son mayores.
- Algunas de las zonas de protección han sido modificadas para hacerlas coincidir con la poligonal envolvente de sus captaciones. En el caso de la protección de la cantidad, se persigue preservar los recursos de todo el acuífero donde se localizan las captaciones.



## BIBLIOGRAFÍA

- IGME (2003). Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano. Mitología y aplicación al territorio.
- ITGE (1998). Estudio de la viabilidad de las captaciones de Agua Natural Teixidó S.L. y delimitación de su perímetro de protección. La Massana, Principado de Andorra (inédito).

### Bibliografía de la masa de agua 05.21 Sierra Mágina

- CHG (1995). Normas de gestión de unidades hidrogeológicas. Unidad hidrogeológica 05.20 Almadén-Carluca.
- DGOH. (1999). Actualización del inventario de recursos subterráneos en la cuenca alta del río Guadalbullón y del río Torres.
- ITGE. Archivo y base de datos de inventario de puntos de agua.
- ITGE (1993). Propuesta de norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica (05.21) de Sierra Mágina.
- ITGE. (1996). Reconocimiento y ejecución de sondeos de investigación en el T.M. de Huelma (Jaén).

### Bibliografía de la masa de agua 05.41 Larva – Guadahortuna

- CHG (1995). Plan hidrológico del Guadalquivir.
- DIPUTACIÓN DE GRANADA (1995). Estudio de investigación para los abastecimientos a los núcleos de Huélago, Moreda, laborcillas, Torrecardela, Gobernador, Delgadillo y Guadahortuna en la Comarca de los Montes Orientales. Granada.
- DIPUTACIÓN DE JAÉN - ITGE (1997). Atlas hidrogeológico de la provincia de Jaén.
- IGME (sin fecha). Archivo y bases de datos de puntos de agua.
- IGME (1981). Proyecto de investigación hidrogeológica infraestructural de los sistemas acuíferos del Alto Guadalquivir para la mejora de abastecimientos urbanos. Estación de Cabra y estación de Huesa (Cabra de Santo Cristo, Jaén).



- IGME (1982). Proyecto para la realización de estudios hidrogeológicos espaciales en las provincias de Granada y Jaén. Abastecimiento a Guadahortuna (Granada).
- IGME (1983). Proyecto de investigación hidrogeológica infraestructural de los sistemas acuíferos 30 y 31. Cuenca Alta del Guadalquivir. Unidad 15 "Gante – Santerga". Tomo II.
- IGME (1988a). Memoria y mapa geológico de España, escala 1:50.000. Hoja de Torres nº 20-38 (948).
- IGME (1988b). Memoria y mapa geológico de España, escala 1:50.000. Hoja de Huelma nº 20-39 (970).
- IGME (2000a). Nota técnica hidrogeológica como apoyo a la protección del abastecimiento a Torrecardela (Granada).
- IGME (2000b). Nota técnica hidrogeológica como apoyo a la protección del abastecimiento a El Gobernador (Granada).
- ITGE (1990a). Plan de investigación de las unidades hidrogeológicas localizadas entre los ríos Guadalbullón y Jandulilla (Pegalajar – Cabra de Santo Cristo. Jaén)
- ITGE (1990b). Informe hidrogeológico para mejora del abastecimiento a Solera (Jaén).
- ITGE (1991). Informe técnico sobre la solicitud del perímetro de protección del acuífero de Chotos – Cortijo Hidalgo. Cabra de Santo Cristo (Jaén).
- ITGE (1992a). Investigación hidrogeológica de los Términos Municipales de Torrecardela y Gobernador (Granada).
- ITGE (1992b). Informe técnico sobre la perforación y el bombeo de ensayo que se han realizado para abastecimiento con aguas subterráneas al núcleo urbano de Torrecardela (Granada).
- ITGE (1995). Estudio hidrogeológico para la mejora del abastecimiento a Cabra de Santo Cristo (Jaén).
- ITGE (1996). Proyecto para la mejora de la infraestructura hidrogeológica como apoyo técnico a las diputaciones de Jaén y Granada. Estudio del acuífero de Larva (Jaén) para la mejora de su abastecimiento.
- ITGE – JUNTA DE ANDALUCIA (1998). Atlas hidrogeológico de Andalucía.



## Anexo I: Tabla de actividades restringidas

MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA

INSTITUTO GEOLÓGICO  
Y MINERO DE ESPAÑA



DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES	ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS			ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS		
	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 o refugios de ganado		*				*
Silos	*				*	
<b>Actividades urbanas</b>						
Vertidos superficiales de aguas residuales 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 industrial	*			*		
Vertidos de residuos líquidos industriales	*				*	
Vertidos de residuos sólidos industriales	*			*		
Almacenamiento de hidrocarburos	*			*		
Depósitos de productos radioactivos	*			*		
Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	*			*		
Conducciones de líquido industrial	*			*		
Conducciones de hidrocarburos	*			*		
Apertura y explotación de canteras	*				*	
Relleno de canteras o explotaciones	*			*		
<b>Otras</b>						
Campings	*				*	
Ejecución de nuevas perforaciones o pozos no destinados para abastecimiento	*				*	



## **ANEXO II: Fichas de inventario del punto de abastecimiento**

