



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

PROPUESTA DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

BÉDMAR Y GARCÍEZ

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 05.14 Bédmar – Jódar
 - 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 05.21 Sierra Mágina
 - 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 Y ZONACIÓN DE UN POSIBLE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

- 5.1. Introducción
- 5.2. Zona de restricciones absolutas
- 5.3. Zona de máximas restricciones
- 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 actividades restringidas

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 Torres (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.

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 Alcalá la Real se usan las siguientes captaciones:

- Manantial Sistillo I, con nº IGME 2038-2-0005, que capta recursos de la masa de agua 05.21 Sierra Mágina.
- Sondeo Cueva Negra II, con nº IGME 2037-6-0027 (en el inventario IGME aparece en la hoja 2038, pero se encuentra en realidad en la hoja superior), que capta recursos de la masa de agua 05.14 Bédmar – Jódar.

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 05.14 Bédmar – Jódar

3.1.1. Marco geológico

La masa de agua 05.14 Bédmar – Jódar está conformada por sedimentos pertenecientes al dominio estratigráfico del “Prebético de Jaén”, en el borde septentrional de los afloramientos de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, en contacto con los materiales de la Depresión del Guadalquivir (IGME, 1988).

Las unidades litoestratigráficas que aparecen son las siguientes (ITGE, 1992 a y b):

- Triásico. Se trata de una alternancia de materiales arcillosos rojizos, limolitas y yesos en bancos masivos.
- Cretácico inferior. Los niveles inferiores consisten en una alternancia de areniscas calcáreas y margas verdosas. Los niveles superiores son una alternancia de margas y arcillas verdes y amarillentas con calizas bioclásticas y calizas amarillentas. Su potencia es superior a los 200 metros.
- Cretácico superior. Corresponde a una potente serie formada fundamentalmente por calizas grises, beige y blancas, bioclásticas u oolíticas que en los afloramientos de la Cueva del Aire y de la Serrezuela de Bedmar aparecen casi totalmente dolomitizadas. Tiene unos 600 metros de potencia.
- Cretácico superior. Corresponde a una potente serie formada fundamentalmente por calizas grises, beige y blancas, bioclásticas u oolíticas que en los afloramientos de la Cueva del Aire y de la Serrezuela de Bedmar aparecen casi totalmente dolomitizadas. Tiene unos 600 metros de potencia.
- Cuaternario. Se trata de conglomerados, gravas y arcillas que conforman los depósitos de origen coluvial y aluvial existentes en la zona de escasa potencia.

3.1.2. Descripción hidrogeológica

La masa de agua Bedmar – Jódar tiene una superficie de materiales permeables próxima a 17 km² (IGME, 1983) con potencias del orden de 600 metros, de materiales carbonatados cretácicos y miocenos. El conjunto reposa sobre las margas del Cretácico inferior y a su vez está solapado por margas del Mioceno.

Sobre la base de la geometría de la unidad, se pueden diferenciar dos subunidades:

- Subunidad de Bedmar – Jódar s.e: Su superficie de afloramientos permeables es próxima a 14 km². Los materiales acuíferos que la constituyen son calizas y dolomías del Cretácico superior y localmente calizas algales miocenas. El sustrato impermeable está constituido por margoareniscas del Cretácico inferior.
- Subunidad de la Golondrina: Tiene una superficie de afloramientos permeables de unos 3 km². Los materiales acuíferos que la constituyen son los mismos que los de la subunidad de Bedmar-Jódar s.e. y también su sustrato, a excepción de las calizas miocenas que no aparecen en este afloramiento. Los límites septentrional y meridional corresponden a límites abiertos, en contacto con materiales cuaternarios que presentan cierta permeabilidad.

3.1.3. Límites y geometría del acuífero

La Unidad se sitúa en la comarca de Jódar dentro de la provincia de Jaén, a unos 35 km al este de la capital.

Se trata de una masa de agua carbonatada permeable por fisuración-karstificación, fundamentalmente libre aunque pudiera presentar confinamiento bajo los sedimentos impermeables que la limitan, especialmente en su borde oriental.

La estructura de los materiales cretácicos de la Cueva del Aire, consiste en un anticlinal asimétrico de dirección NE-SO, vergente al oeste, en cuyo núcleo llegan a aflorar las margas de base. Se encuentra totalmente rodeado por los materiales impermeables de techo (IGME, 1988). En la Golondrina, la estructura es un anticlinal tumbado de dirección ENE-OSO y vergencia norte, el flanco septentrional es prácticamente vertical, mientras que el meridional tiene un buzamiento aproximado de 30-40°. Está rodeada en su mayor parte por materiales arcillosos terciarios en contacto discordante, excepto en su extremo suroeste, en el que los materiales calizos cretácicos aparecen en contacto mecánico con las arcillas y yesos triásicos (DGOH, 1995).

3.1.4. Hidroquímica del sector

Las aguas subterráneas de la unidad presentan facies bicarbonatadas cálcicas, cálcicas-magnésicas o magnésico-cálcicas acordes con el tipo de materiales que constituyen el acuífero, la mineralización es ligera y la dureza media.

3.1.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría

En el sondeo nº 2038/2/22 realizado por el SGOP en 1991 se obtuvo, tras un bombeo de 23 horas de duración con un caudal de 109 l/s, una transmisividad de 6.640 m²/día, mientras que en el sondeo nº 2038/2/24, también realizado por el SGOP, se obtuvo una transmisividad de 6,3 m²/día tras 22 horas de bombeo con un caudal de 2,2 l/s (DGOH, 1993). Por otra parte, en algunos sondeos efectuados por el antiguo INC en las inmediaciones de Jódar se obtuvieron caudales específicos comprendidos entre 30 y 50 l/s/m (IGME, 1983). Por último, un informe del SGOP (DGOH, 1991) cita una transmisividad de 1.000 m²/día obtenida en ensayos de bombeos sin que se especifique el punto en el que se realizó.

La evolución piezométrica en la subunidad de Bedmar-Jódar s.e. se conoce, fundamentalmente, gracias al control periódico que desde 1984 realiza el IGME en el sondeo nº 2037/6/17, aunque existen datos puntuales en otros sondeos desde 1963 (2037/6/1). A partir de 1995, la CHG controla los puntos nº 2038/2/23 y 34.

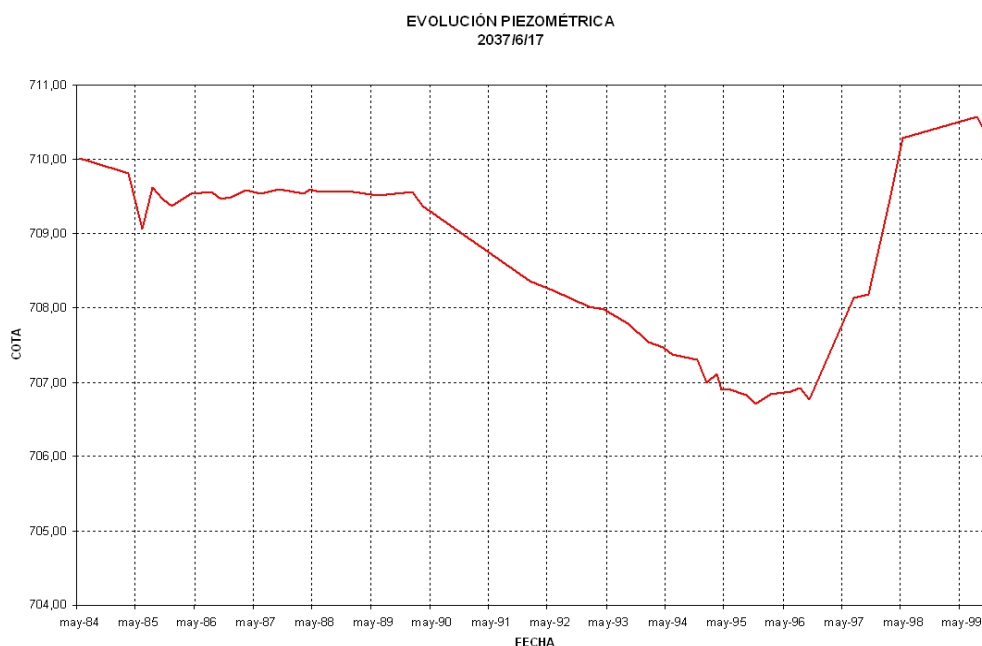


Figura 1. Evolución piezométrica de la UH 05.14

Entre los años 1963 y 1985 se registraron descensos en los niveles de unos 10 m en el sector de Jódar. En el gráfico de evolución de niveles (Fig. 1), correspondiente al piezómetro nº 2037/6/17 controlado por el IGME, se observa un descenso de niveles del orden de 1 metro hasta 1985 y una estabilización hasta 1989, a partir de aquí, y coincidente con la sequía de los años noventa, se observa un descenso de niveles continuado hasta el año 1996 que puede cifrarse en unos 3 metros. Posteriormente, y debido a las abundantes lluvias de finales de los



noventa se observa una espectacular recuperación incluso por encima de los niveles registrados en 1984.

3.1.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

La alimentación se produce exclusivamente a través de la infiltración directa de las precipitaciones.

Actualmente las salidas se originan mediante bombeos en los sondeos existentes con excepción de unos 5-7 l/s que se drenan por los manantiales del nordeste, fundamentalmente la Fuente de Garcéz (2037/6/12) y El Pradillo (2037/7/5), estando los demás secos.

Antes de comenzar las extracciones por bombeos, los recursos eran drenados fundamentalmente por el manantial de Carratraca (2038/2/9) y Mahoma (2038/2/11) al suroeste, y Fuente de Garcéz (2037/6/12) y fuentes públicas de Jódar, al noreste, debiendo marcar cada grupo la posición del nivel piezométrico en su respectivo sector a 680 y 640 metros de cota.

La Subunidad de la Golondrina no presenta salidas visibles, tampoco se conoce la posición del nivel piezométrico al no existir sondeos; se supone que podría drenar sus recursos de forma oculta hacia la Subunidad de Bedmar-Jódar s.e. o bien hacia los materiales cuaternarios que recubren parte de sus bordes.

Los principales datos del balance que se ofrece a continuación proceden de IGME (1983 y 1988), que son los que definen con mayor rigor y profundidad las componentes del mismo. Ambos informes son de la década de los 80 y necesitan una actualización especialmente en lo que se refiere a las entradas ya que la explotación por bombeos parece mantenerse más o menos semejante.

Entradas:

Subunidad de Bedmar-Jódar s.e.	
- Infiltración de agua de lluvia (80% de Llu)	1,7 hm ³ /año
Subunidad de La Golondrina.	
- Infiltración de agua de lluvia (80% de Llu)	0,5 hm ³ /año
TOTAL	2,2 hm ³ /año

Salidas:



Subunidad de Bedmar-Jódar s.e.	
- Extracciones por bombeos	1,44 hm ³ /año
- Drenaje manantiales del nordeste	0,26 hm ³ /año
Subunidad de La Golondrina.	
- Ocultas	0,5 hm ³ /año
TOTAL	2,2 hm ³ /año

3.2. Masa de agua 05.21 Sierra Mágina

3.2.1. 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):

- o Triásico inferior y medio: son los materiales más antiguos, con fácies Keuper, y consisten en arcillas, limolitas y yesos (ITGE, 1993).
- o 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.
- o 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.
- o Cretácico y Oligoceno: margas grises y arcillas rojas con yesos. También se detecta la presencia de olistolitos y brechas calcáreas (ITGE, 1996).



- o 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.
- o 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).

3.2.2. Descripción hidrogeológica

Para la descripción hidrogeológica se distinguen fundamentalmente dos unidades:

- **Subunidad Mágina:** Su superficie de afloramientos permeables es de 60 km² 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 km² 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).

3.2.3. 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).

3.2.4. 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).

3.2.5. 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.

3.2.6. 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 ³ /año
Infiltración de agua de lluvia sector Suroriental:	
Subsector SW-1 (Gargantón Alto)	5,3 hm ³ /año
Subsector SW-2 (Mata Begid)	2,6 hm ³ /año
Subsector SW-3 (Tosquilla-Guadalijar-Gargantón Bajo)	1,5 hm ³ /año
TOTAL	13,5 hm³/año

Salidas:

Manantiales y galerías	11,4 hm ³ /año
Sondeos	0,6 hm ³ /año
Descargas subterráneas ocultas	1,5 hm ³ /año
TOTAL	13,5 hm³/año

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 hm³/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 ³ /año
Lateral de la Subunidad Mágina	1,6 a 0,4 hm ³ /año

TOTAL	9,2 hm ³ /año
-------	--------------------------

Salidas:

Drenaje por manantiales	9,2 hm ³ /año
-------------------------	--------------------------

TOTAL	9,2 hm ³ /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 hm³/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 hm³/año, mientras que en años secos no superarían los 21-22 hm³/año.



4. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO FRENTE A LA CONTAMINACIÓN

4.1. Inventario de focos contaminantes

El municipio de Bédmar y Garciez presenta una muy importante actividad agrícola, y en menor medida ganadera e industrial.

La actividad agrícola, desarrollada a lo largo de todo el término municipal, corresponde al cultivo casi exclusivo del olivo, con más de 7.200 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.

La actividad industrial relativamente escasa, destacando la existencia de dos almazaras con sus correspondientes balsas de alpechín, una industria de conservas vegetales y un pequeño polígono industrial. Estas actividades se encuentran fundamentalmente en el núcleo urbano o en sus proximidades sobre terrenos detríticos o principalmente impermeables, por lo que la afección potencial sobre las aguas subterráneas no parece que pueda llegar a ser significativa, mientras que sobre las captaciones de abastecimiento, debido a su ubicación, será insignificante.

La actividad ganadera, de menor importancia que las anteriores, corresponde fundamentalmente a la explotación de ganado ovino, con unas 2.100 cabezas de este tipo de ganado. La cabaña ganadera de este municipio se encuentra diseminada a lo largo del término municipal, siendo por tanto bajas las posibilidades de afección a las aguas subterráneas o de abastecimiento.

No existen focos potenciales de contaminación en ninguna de las poligonales envolventes propuestas.

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 carbonatados permeables de ambas unidades están considerados como muy vulnerables a la contaminación debido a su elevada permeabilidad por fisuración-karstificación y escasa presencia de suelo.



4.3. Sistema de vigilancia

A pesar de la no existencia de actividades potencialmente contaminantes en las poligonales envolventes de las captaciones, 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
2037-6-0015	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
2038-2-0008	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
20382-0016	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 Bédmar y Garcéz:

- Manantial Sistillo I (2038-2-0005):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal (l/seg)	Q_i	40	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	1000	Descripción hidrogeológica
Espesor total zonas transmisivas	b	300	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	3,33	Cálculo
Porosidad	m	0,01	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,02	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,01	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	90	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	449421	
Latitud captación (UTM)	m	4173549	

- Sondeo Cueva Negra II (2037-6-0027) (En el inventario IGME aparece en la hoja 2038, pero se encuentra en realidad en la hoja superior):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	Q_i	25	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	100	Descripción hidrogeológica
Espesor total zonas transmisivas	b	60	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	1,667	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	225	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	464441	
Latitud captación (UTM)	m	4187980	

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

Bédmar y Garcéz	2038-2-0005	2037-6-0027
X ₀ o radio de llamada (m)	55	344
B o ancho de llamada (m)	346	2.160
B` o ancho de llamada a la altura de la captación (m)	173	1.080
V _e o velocidad eficaz (m/día)	3	2

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.

Bédmar y Garcéz	2038-2-0005	2037-6-0027
S _i aguas arriba (m)	21	35
S _i aguas abajo (m)	17	35

En ambas captaciones se adoptarán los polígonos teóricos aunque ligeramente modificados para adaptarlos 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.

Bédmar y Garcéz	2038-2-0005	2037-6-0027
S _{II} aguas arriba (m)	263	298
S _{II} aguas abajo (m)	54	187

A efectos prácticos, se adoptará el polígono teórico salvo que éste supere los límites establecidos en la poligonal envolvente de la captación. 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.

Bédmar y Garcéz	2038-2-0005	2037-6-0027
S _{III} aguas arriba (m)	5.103	3.232
S _{III} aguas abajo (m)	55	344

Al igual que en caso de la zona de restricciones máximas, a efectos prácticos se adoptará el polígono teórico salvo que éste supere los límites establecidos en la poligonal envolvente de la captación. 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.

- Manantial Sistillo I (2038-2-0005):

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

$$R = 1,5 \left(\frac{Tt}{S} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

- T: Transmisividad (1.000 m²/día).
- t: Tiempo de bombeo (generalmente 120 días).
- S: Coeficiente de almacenamiento (0,02).

Con los datos indicados, se obtiene un radio de influencia de 3.674 m. Sin embargo, y con el objetivo de ofrecer una mejor protección, el polígono de protección de la cantidad coincidirá con la poligonal envolvente de la captación.

- Sondeo Cueva Negra II (2037-6-0027)

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 (100 m²/día).
- Q: Caudal (2.160 m³/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, un sondeo equivalente situado a 200 m de distancia provocará un descenso del 12,05 % en la columna de agua, mientras que uno situado a 500 m provocará un descenso del 6,81 %. Finalmente, por seguridad se hará coincidir este polígono con la poligonal envolvente de la captación.

5.6. Poligonal envolvente

Esta poligonal engloba las zonas delimitadas anteriormente. Así, al ser en parte coincidentes, se define una única área para las captaciones 2037-6-0027 de Bédmar y Garcéz y 2037-6-



0022, 2037-6-0024, 2037-6-0025 y 2038-3-0012 de Jódar, y otra para la captación 2038-2-0005. Las coordenadas de los vértices de la misma son los siguientes:

- Manantial Sistillo I (2038-2-0005):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	463262	4182751	830
2	464873	4182879	690
3	566505	4177017	940
4	461384	4177027	1.820
5	461458	4182038	1.030

- Sondeo Cueva Negra II (2037-6-0027) de Bédmar y García y sondeos Los Tomillares (2037-6-0022), Jódar IV (2037-6-0024), Jódar III (2037-6-0025) y Jódar V (2038-3-0012) de Jódar:

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	463975	4187081	640
2	463997	4188274	645
3	466092	4189762	660
4	468397	4190898	630
5	469192	4189556	640
6	468826	4189116	685
7	468385	4188011	655
8	468480	4187670	690
9	470628	4186414	720
10	471176	4186108	710
11	471260	4185464	745
12	471015	4184417	710
13	470262	4184107	760
14	468720	4184639	985
15	468122	4184345	810
16	466026	4184470	705
17	464339	4185471	700



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los puntos tratados en el presente documento son el manantial Sistillo I (2038-2-0005) y el sondeo Cueva Negra II (2037-6-0027).
- En la base de datos del IGME, el sondeo Cueva Negra II aparece en la hoja 2037 con la numeración 2038-2-0027, si bien se ha podido comprobar que se encuentra realmente en la hoja superior.
- La captación 2038-2-0005 explota la masa de agua 05.21 Sierra Mágina, mientras que la captación 2037-6-0027 explota la masa de agua 05.14 Bédmar – Jódar.
- No existen focos de contaminación que puedan afectar 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, por lo que las garantías de protección son mayores.
- Algunas de las zonas de protección se han hecho coincidir con la poligonal envolvente de sus 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 (inérito).

Bibliografía de la masa de agua 05.14 Bédmar – Jódar

- DGOH (1991). Estudio de los recursos hidráulicos para la recarga artificial del acuífero Bedmar-Jódar, Jaén.
- DGOH (1993). Sondeos de investigación hidrogeológica para el estudio de las zonas de recarga artificial del acuífero de Bedmar-Jódar (Jaén).
- DGOH (1995). Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección directa a los embalses de regulación y fuentes de abastecimientos a poblaciones de la cuenca del Guadalquivir. Masa de agua 05.14 Bedmar-Jódar.
- DIPUTACIÓN DE JAÉN-ITGE (1997). Atlas hidrogeológico de la provincia de Jaén.
- IGME (1983). "Proyecto de investigación hidrogeológica infraestructural de los sistemas acuíferos 30 y 31. Cuenca Alta del Guadalquivir".
- IGME (1988). "Estado de explotación del acuífero Bedmar-Jódar (Jaén)". Proyecto para estudios de asesoramiento técnico en materia de aguas subterráneas a las administraciones públicas en las cuencas hidrográficas del Guadalquivir (Andalucía).
- ITGE (1992a). "Memoria y mapa geológico de España, escala 1:50.000. Hoja de Baeza nº 20-37 (927)".
- ITGE (1992b). "Memoria y mapa geológico de España, escala 1:50.000. Hoja de Torres nº 20-38 (948)".
- ITGE-Junta de Andalucía (1998). Atlas hidrogeológico de Andalucía.

Bibliografía de la masa de agua 05.20 Almadén – Carluca

- Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (1999). Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. CD-ROM.



- DGOH (1995). Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas en la Cuenca del Guadalquivir. 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.
- IGME (1981). Proyecto de investigación hidrogeológica e infraestructural de los sistemas acuíferos del Alto Guadalquivir para la mejora de abastecimientos urbanos. Belmez de la Moraleda.
- ITGE (1993). Propuesta de normas de explotación de la unidad hidrogeológica nº 05.20 (Almadén-Carluca).
- ITGE. (1995). Nota técnica sobre los trabajos de perforación y bombeo de ensayo realizados para el abastecimiento con aguas subterráneas de la localidad de Cambil (Jaén).
- ITGE (1999a). Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público de Andalucía. Sector de acuíferos de Almadén-Sistillo (Jaén). Fichas de regulación del sector Almadén-Sistillo.
- ITGE (1999b). Tratamiento de información relativa a la hidrogeología de los acuíferos de Almadén, Mancha Real, Guadix y Baza. (Provincias de Jaén y Granada). Focos potenciales de contaminación.



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
Actividades agrícolas						
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	*				*	
Actividades urbanas						
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	*			*		
Actividad industrial						
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	*			*		
Otras						
Campings	*				*	
Ejecución de nuevas perforaciones o pozos no destinados para abastecimiento	*				*	



ANEXO II: Ficha de inventario del punto de abastecimiento

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA

INSTITUTO GEOLÓGICO
Y MINERO DE ESPAÑA

