



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

PROPUESTA DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

CAMBIL

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 05.20 Almadén – Carluca
 - 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 05.28 Montes Orientales
 - 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.

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 Cambil se usan las siguientes captaciones:

- Manantial del Cortijo Villanueva, con nº IGME 1938-8-0003
- Sondeo de abastecimiento a Arbuniel, con nº IGME 1939-4-0008+
- Sondeo de abastecimiento a Cambil, con nº IGME 1939-8-0012

El manantial y el sondeo de Cambil explotan recursos de la masa de agua 05.20 Almadén – Carluca, mientras que el sondeo de Arbuniel lo hace de la masa de agua 05.28 Montes Orientales.

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 05.20 Almadén – Carluca

3.1.1. Marco geológico

La Masa de agua de Almacén – Carluca (05.20) se asocia a los tramos carbonatados de edad jurásica aflorantes en la alineación montañosa Almadén-Atalaya, los cuales se asignan a las unidades intermedias del dominio subbético (ITGE, 1993).

Las unidades litoestratigráficas que aparecen son de muro a techo las siguientes (DGOH, 1995; IGME, 1981; ITGE, 1983):

- Triásico: materiales arcillo-margosos, que forman la base impermeable de la unidad.
- Lías inferior: dolomías grises oscuras que no afloran en toda su potencia por estar cepilladas por una falla inversa que las pone en contacto con las margas del cretácico. Su potencia no sobrepasa los 40 m.
- Lías inferior-medio: está formado por calizas grises micríticas en estratos de hasta 2 m en la base que, hacia el techo, van disminuyendo de potencia. A techo el color es más oscuro y presentan un intenso diaclasado. Su potencia es próxima a 250 m.
- Domeriense superior-Toarciense: se trata de una alternancia de margas y margocalizas que a techo tienen un nivel de calizas nodulosas en facies de “falsa brecha”. La potencia del conjunto es de unos 50 m.
- Dogger: calizas grises micríticas permeables en bancos de unos 20 cm. En ocasiones de aspecto masivo, en las que se intercalan pequeños niveles de margas gris-verdosas, y niveles de sílex hacia la parte central. Debido a razones tectónicas no afloran en su totalidad, siendo su mayor potencia vista próxima a 100 m.
- Malm: margas, margocalizas y calizas de unos 200 m de potencia.
- Cretácico: margocalizas, margas y calizas. También lo forman niveles de margas y areniscas con intercalaciones de turbiditas terrígenas.
- Terciario: formado en su mayoría por margas y calcarenitas con olistolitos de edad cretácica.
- Cuaternario: principalmente derrubios de ladera, conos de deyección y glaciés.



3.1.2. Descripción hidrogeológica

Se trata de una masa de agua carbonatada permeable por fisuración y karstificación (DGOH, 1995).

La potencia del acuífero es difícil de estimar dadas las condiciones de afloramiento de los materiales que lo constituyen, pero en principio se puede considerar entre 500 y 1000 m (equivalente al sector Cárceles-Carluca) (DGOH, 1995).

Los acuíferos de la unidad están constituidos por materiales calcáreos y dolomíticos. Hacia el techo tienen intercalaciones margosas, que en ocasiones pueden ser importantes. En el extremo SE hay un afloramiento de calizas y dolomías del Subbético Interno que probablemente constituyen un bloque alóctono, desligado del resto del acuífero, enclavado en materiales de baja permeabilidad del Terciario (DGOH, 1995).

3.1.3. Límites y geometría del acuífero

La unidad está formada por un manto de cabalgamiento de materiales jurásicos de la Unidad Intermedia sobre litologías, eminentemente margosas, del Prebético. El frente de cabalgamiento se sitúa al norte de la unidad, sin embargo, por el sur, este y oeste, los afloramientos permeables están delimitados por fallas de gravedad que ponen en contacto el jurásico con margas y arcillas del Terciario o, en el caso de la zona oriental, con las litologías de margas y areniscas cretácicas del Prebético (ventana tectónica).

Todos los límites del acuífero son cerrados. El norte está definido por un cabalgamiento que pone en contacto los materiales carbonatados del jurásico, que constituyen el acuífero, con arcillas y margas del Mioceno o, en algunos puntos, con calizas brechoides y margas del Cretácico superior (DGOH, 1995 y 1999). Los límites este, oeste y sur están formados por fallas de gravedad que ponen en contacto el Jurásico con margas y arcillas del Terciario o, en el caso del límite oriental, con margas, areniscas y calizas cretácicas del Prebético Interno (DGOH, 1995 y 1999). No obstante en el suroeste de la unidad existe una abertura que podría permitir la comunicación del acuífero carbonatado con el río Guadalbullón. Esa comunicación hidráulica se realizaría a través de litologías terciarias, pues las calizas jurásicas tienen continuidad hidrogeológica en esa zona, compuestas por calcarenitas y margas miocenas de unos 150 m de espesor (DGOH, 1999).

3.1.4. Hidroquímica del sector

Las aguas de la unidad son de composición bicarbonatada cálcica o cálcico magnésica, con salinidades del orden de 350-400 mg/l.



La conductividad presenta valores generalmente entre 250-400 $\mu\text{mhos/cm}$, mientras que el índice SAR es bajo (CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA, 1999; ITGE, 1999a). 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.

Para abastecimiento las aguas presentan, en general, buena calidad química.

3.1.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría

Sólo se dispone de datos de un ensayo de bombeo realizado por el ITGE en 1995 en el sondeo 1938/8/12, destinado a abastecimiento a Cambil. Se realizaron cuatro bombeos con sus recuperaciones, obteniéndose valores de transmisividad entre 185 y 720 $\text{m}^2/\text{día}$ (ITGE, 1995).

No se dispone de datos precisos sobre la piezometría de la unidad, pues son escasos los sondeos que actualmente la explotan. Los datos conocidos se refieren fundamentalmente a la cota de las principales surgencias.

3.1.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

La alimentación se produce exclusivamente por infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables. Las descargas se producen principalmente a través de los manantiales, ya que los bombeos son escasos en la actualidad. Debido a la escasez de sondeos no se puede establecer un flujo subterráneo a partir de isopiezas, conociéndose fundamentalmente a partir de la cota de las principales surgencias.

Los manantiales más importantes por el volumen drenado son 1938/8/3 (Villanueva), 2038/1/25 (Fuente del Zar) y 2038/1/22 (Fuenmayor). El primero está situado en el límite sur, a 937 m de altitud, y los otros dos, están situados junto al borde noreste, a cota 1.180 y 1.240 m respectivamente. El 1938/8/3 tiene un caudal medio de 105 l/s, con máximos de 900 l/s (año 1997) y mínimos de algo menos de 20 l/s. De idéntica forma ocurre con los otros dos, que se miden conjuntamente; el caudal medio es de unos 47 l/s, y el mínimo y máximo, 10 y 360 l/s respectivamente (ITGE, 1993).

En todos los puntos controlados, junto con las importantes oscilaciones, se observa una disminución del caudal de drenaje desde 1983 hasta 1995 que, en principio, únicamente se puede atribuir a la disminución de la recarga por efecto de la sequía, ya que las extracciones por bombeo son poco importantes. Desde 1996 a la actualidad se recuperan los caudales, teniendo su máximo en el invierno 1996/1997.



Entradas:

Infiltración de agua de lluvia: 5,3 a 6,2 hm³/año

Salidas:

Calculadas a partir de los caudales medios de los principales manantiales, muy variables y siempre sobre la base de datos de aforos comprendidos entre 1983 y 1996. El resto correspondería a drenaje a cauces.

Manantiales	4,7 a 5,1 hm ³ /año
Descargas a través de los ríos	0,6 a 1,1 hm ³ /año
Total	5,3 a 6,2 hm ³ /año

Para años medios del período 1955/56 a 1984/85 las entradas por infiltración a esta unidad podrían alcanzar los 10-12 hm³/año, que podrían considerarse representativas de los recursos medios, aunque no se dispone de datos de aforos para su contraste. En cualquier caso, del análisis de los caudales drenados por manantiales se deduce que dicho caudal es, en secuencias climáticas secas, del orden de un 45-50 % del correspondiente a secuencias climáticas medias, valor coherente con los recursos indicados.

3.2. Masa de agua 05.28 Montes Orientales

3.2.1. Marco geológico

Los materiales que constituyen la Masa de agua 05.28 Montes Orientales se asignan a la Zona Subbética en los dominios del Subbético Externo y Medio. Engloba además en su extremo oriental materiales acuíferos neógenos.

Las unidades litoestratigráficas que aparecen de muro a techo son las siguientes (IGME, varias fechas):

- Triásico: Está constituido básicamente por arcillas versicolores y yeso entre los que aparecen enclaves de ofitas, materiales carbonatados y niveles de areniscas.
- Lías inferior y medio: Formado por dolomías masivas y calizas tableadas que en conjunto pueden alcanzar espesores de hasta 1.200 m, aunque los espesores más frecuentes son de 400 m.



- Lías superior-Dogger: Sobre las calizas y dolomías de la base del Jurásico se sitúa una serie constituida por margocalizas, margas y calizas tableadas, con niveles de rocas volcánicas cuyo espesor puede superar los 1.500 m.
- Malm: Se caracteriza por la presencia de un nivel inferior margoso de hasta 150 m de potencia y un nivel superior permeable constituido por calizas nodulosas y calizas con sílex, con una potencia de 15-30 m.
- Mioceno: Corresponde a una serie margo-arenosa con un especial desarrollo de niveles calcareníticos y areniscosos en el sector occidental, en esta zona tiene una potencia media de 50-60 m y constituye el acuífero de Alcalá la Real-Santa Ana.
- Plioceno: Formado por niveles detríticos de diversa naturaleza, margas, conglomerados, arenas y calizas lacustres, cuya potencia podría llegar a los 100 m.
- Cuaternario. Corresponde a abanicos aluviales, piedemontes, fondos de valle y depósitos aluviales.

3.2.2. Descripción hidrogeológica

Se trata fundamentalmente de una masa de agua constituida por acuíferos carbonatados permeables por fisuración-karstificación y de carácter libre, aunque aparecen sectores confinados bajo sedimentos de baja permeabilidad cretácicos y jurásicos asociados a los núcleos sinclinales. Los acuíferos de La Camuña y Alcalá la Real – Santa Ana son acuíferos mixtos, permeables por porosidad y fisuración-karstificación, constituidos por areniscas y calcarenitas bioclásticas. Se distinguen tres formaciones permeables con características de acuífero, las dolomías y calizas del Lías inferior, las calizas tableadas, nodulosas y oolíticas del Dogger-Malm y las calcarenitas miocenas.

A continuación se realiza una breve descripción de cada una de las subunidades y acuíferos que constituyen esta unidad:

- Subunidad Frailes–Boleta (IGME, 1986): Este acuífero, con una extensión aproximada de 25 km², se sitúa al norte de la localidad de Frailes y está constituido por materiales jurásicos y cretácicos pertenecientes a las series de transición entre el Subbético Medio y Externo. Los materiales permeables están formados por dolomías y calizas del Lías inferior, con potencias del orden de 300 m, cuyos afloramientos ocupan una extensión de unos 2,2 km². Sobre estos materiales, se dispone una serie margocalcárea, de carácter semipermeable, que abarca del Lías medio al Cretácico. Los límites norte y noreste corresponden a materiales impermeables triásicos, que lo desconectan del acuífero de



Fresnedilla-Pico Madera, y además constituyen su substrato. Al sureste, limita con el acuífero de Frailes-Montillana, y al este, con el de Charilla, límites que vienen definidos por la presencia de arcillas triásicas. Al noroeste, limita con el acuífero de Gracia-Morenila; este límite no está bien definido y con posible comunicación hidráulica entre ambos.

- Subunidad Frailes–Montillana (DGOH, 1999): Se sitúa entre las localidades de Noalejo y de Montillana, constituyendo los relieves montañosos de las sierras de Montillana y los Andanillos, que ocupan una superficie de 35 km². El acuífero principal está constituido por dolomías y calizas tableadas liásicas, que con un espesor conjunto de unos 300 m, afloran en una extensión de 15,5 km². La subunidad está asociada a una estructura anticlinal con cierre periclinal hacia el noreste y que cabalga sobre margas cretácicas al suroeste. El substrato impermeable del acuífero está constituido fundamentalmente por arcillas y yesos del Trías, y por margas cretácicas en la zona suroriental. Estas últimas constituyen además su límite septentrional. El límite meridional debe estar constituido por materiales del Trías. Al noreste los materiales acuíferos se hunden bajo las margas y margocalizas cretácicas, pudiendo continuar en profundidad hasta los afloramientos de la Subunidad de Alta Coloma.
- Subunidad Sierra del Trigo-Puerto Arenas (DGOH, 1999): Se localiza en la zona nororiental de la unidad y se extiende desde el cerro del Maceral, situado al oeste de Noalejo, hasta el entorno de Puerto Arenas. Ocupa una superficie de 40 km², mientras que sus afloramientos permeables ocupan una extensión de 18 km². Presenta dos niveles acuíferos, el principal está constituido por calizas y dolomías del Lías con un espesor de 100-200 m, y un nivel superior de 30-40 m constituido por calizas nodulosas del Malm. El substrato impermeable está constituido por arcillas y yesos del Trías; su límite meridional corresponde a los afloramientos de arcillas y yesos del Trías y materiales margosos sobre los que cabalgan estas estructuras. El límite septentrional corresponde a los afloramientos margosos del manto de Cambil.
- Subunidad Fresnedilla - Pico Madera (DGOH, 1999): Corresponde a los relieves montañosos de la Sierra del Trigo que ocupan una superficie de 40 km²; en ella se localizan dos niveles acuíferos, el principal constituido fundamentalmente por calizas y dolomías del Lías, con espesores de 100-200 m y el otro, asociado a calizas nodulosas y con sílex del Malm que presenta espesores de 40-80 m; los afloramientos permeables del acuífero principal ocupan una superficie de 5 km². Sus límites oriental y occidental corresponden a sendos núcleos anticlinales donde afloran materiales arcillosos del Trías. En el borde norte, el acuífero se ve soterrado bajo una potente serie margosa del Cretácico inferior, mientras que en su parte meridional el límite está constituido por la serie margosa cretácica sobre la que cabalga.



- Subunidad de Alta Coloma (DGOH, 1999 e ITGE, 1996a): Está constituida por calizas y dolomías liásicas que, con potencias superiores a 300 m, se extienden desde Montillana y Noalejo hasta Arbuniel y Montejicar y afloran en los núcleos anticlinales de una serie muy replegada en dirección NE-SO. La superficie de los afloramientos permeables es de unos 35 km² sin embargo la superficie total del acuífero es bastante más elevada, ya que hay amplias zonas donde existe un recubrimiento de materiales de baja permeabilidad poco potente. Hacia el sur y oeste, los materiales acuíferos están recubiertos por la potente serie margosa jurásico-cretácica suprayacente que constituye su límite en dichos sectores. Su sustrato impermeable y límites septentrional y oriental están constituidos por arcillas y yesos del Trías
- Subunidad Alcalá la Real – Santa Ana (ITGE, 1999): Esta subunidad se sitúa entre los núcleos de Alcalá la Real y Santa Ana, está constituida por calcarenitas, arenas y conglomerados miocenos que ocupan una superficie de 6,6 km². Se trata de un afloramiento tabular con espesores entre 36 y 97 m (50-60 metros de espesor medio) que se dispone, horizontalmente o buzando ligeramente al suroeste, sobre una formación margosa del Mioceno que constituye sus límites y sustrato impermeable. Aunque presenta carácter libre, en su zona suroriental existen algunos sectores confinados o semiconfinados, debido a la existencia de cambios laterales de facies.
- Subunidad de La Camuña (ITGE-DPJ, 1997): Corresponde a un acuífero libre del Mioceno superior que se extiende al sur de Castillo de Locubín, ocupando una superficie de 5,5 km². Está constituido por calcarenitas y arenas del Mioceno superior, que presentan espesores comprendidos entre 150 y 250 m. Estos materiales se disponen sobre una formación margosa del Mioceno, que constituye los límites y sustrato impermeable. En el límite occidental, en contacto con los materiales permeables, se desarrolla un extenso glacis, formado por gravas y arcillas.
- Subunidad de Charilla (ITGE-DPJ, 1997): Se localiza al norte de la localidad de Santa Ana, en las inmediaciones de la pedanía de Charilla. Tiene una extensión próxima a 6 km², en la que afloran materiales calcáreos y margocalcáreos jurásicos pertenecientes a las series de transición entre el Subbético Medio y Externo. Está formada por calizas y dolomías del Lías inferior que, con una potencia mínima de 70 m, afloran en una superficie de 1 km². Sobre estos materiales se disponen materiales margocalcáreos del Jurásico medio y superior. El sustrato impermeable corresponde a materiales arcillosos del Trías que constituyen además, sus límites septentrional, oriental y occidental. Hacia el suroeste, los materiales acuíferos se encuentran solapados por materiales margosos miocenos.
- Subunidad de Vadillo (ITGE-DPJ, 1997): Corresponde a un pequeño afloramiento jurásico, constituido por una estructura sinclinal, de dirección NE-SO y 3,5 km² de superficie. Se sitúa al este de la localidad de Castillo de Locubín, en torno al río Guadalcotón que lo



atraviesa de sur a norte. Está constituido por calizas y dolomías del Lías inferior, con una potencia mínima de 70 m, sobre las que se disponen materiales margocalcáreos del Lías superior y calizas con sílex del Dogger, que ocupan el núcleo del sinclinal. El afloramiento jurásico se presenta colgado respecto al Trías, que constituye el substrato y los límites impermeables. Al suroeste, los materiales acuíferos se ven solapados por materiales margosos miocenos.

- Subunidad de San Pedro – La Rábita (IGME, 1986): Ambos conjuntos se sitúan al oeste de Alcalá la Real, en las inmediaciones de la localidad de La Rábita. El acuífero de la Sierra de San Pedro está constituido por un tramo calizo-dolomítico del Lías inferior de unos 100 m de potencia y unos 5 km² de extensión, perteneciente a una unidad geológica de carácter alóctono cuya serie estratigráfica es típica del Subbético Medio. El acuífero de la Rábita está constituido por un afloramiento detrítico de edad Pliocuaternalio, que alcanza una potencia de 10-15 m y una extensión de unos 4 km². La disposición interna de la Sierra de San Pedro consiste en una sucesión monoclinial buzante hacia el norte, por lo que en esta dirección el tramo permeable queda confinado bajo las margas y margocalizas de su propia serie. Esta misma disposición se observa en el borde oriental del acuífero, mientras que en el meridional queda limitado por un extenso afloramiento de margas y arcillas triásicas. En su extremo suroccidental está solapado por el Pliocuaternalio de La Rábita.

3.2.3. Límites y geometría del acuífero

Los materiales carbonatados que constituyen la mayor parte de la unidad se disponen según dos franjas paralelas con orientación NE-SO, separadas por un frente de cabalgamiento y niveles margocalizos cretácicos.

En el sector noroccidental, los materiales calcáreos liásicos cabalgan sobre margas y margocalizas cretácicas y jurásicas, actuando las arcillas y yesos triásicos como nivel de despegue. Los materiales calcáreos, sobre todo en las sierras del Trigo y Montillana, aparecen asociados a pliegues afectados por una intensa fracturación y cabalgamientos que llegan a invertir la serie en muchos sectores.

Los materiales del sector suroccidental corresponden a varios pliegues anticlinales y sinclinales sucesivos, de dirección NE-SO, de tal modo que los afloramientos calcáreos aparecen en los ejes anticlinales y aunque se encuentran conectados en profundidad, en superficie se encuentran separados por materiales margocalizos jurásicos que constituyen los núcleos sinclinales.

En el borde suroccidental este conjunto de materiales cabalga hacia el sur sobre depósitos terciarios; en el extremo suroriental, los materiales acuíferos se encuentran soterrados bajo materiales pliocenos detríticos constituidos por conglomerados y arcillas.



3.2.4. Hidroquímica del sector

Las aguas de la unidad presentan una composición bicarbonatada cálcica y cálcico-magnésica, son de mineralización media-alta y aptas para el consumo humano. Puntualmente en zonas de descarga relacionadas con materiales salinos del Triás, se localizan aguas con un contenido elevado en sulfatos, que puede impedir su utilización directa para abastecimiento urbano al superarse los límites marcados por la Reglamentación española, tal es el caso del manantial de Arbuniel (1939/4/2) en la Subunidad de Alta Coloma.

3.2.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría

Existe muy poca información referente a los parámetros hidráulicos de la unidad, pues los únicos datos sobre materiales carbonatados corresponden a las subunidades de Alta Coloma, Charilla, San Pedro-La Rábida y Alcalá la Real-Santa Ana, con los siguientes valores de transmisividad:

- Alta Coloma:
 - En un sondeo destinado a abastecimiento de Campillo de Arenas (Bco. de Cagasebo, 1939/7/32), que capta calizas Jurasicas de la subunidad de Alta Coloma, en un bombeo realizado en Agosto de 1995, de 200 minutos de duración se obtuvo un valor de transmisividad de 3.000 m²/día (ITGE, 1995b).
 - En el sondeo de abastecimiento Domingo Pérez (1939/8/6) se realizó un bombeo en Febrero de 1995, de 24 horas de duración se obtuvo un valor de transmisividad de 1.100 m²/día (ITGE, 1995a).
 - En el sondeo de abastecimiento a Montejícar (2039/5/16), que capta unas calizas y dolomías liásicas, en un bombeo realizado en 1982, se obtuvo una transmisividad de 1.500 m²/día (IGME, 1982).
 - En el sondeo Cabezo de Utrera (2039/5/25) de abastecimiento a Montejícar, entre 900 y 2.200 m²/día (IGME, 1987-88).
 - En el sondeo de abastecimiento a Arbuniel (1939/4/15), que capta calizas tableadas del Jurásico medio, en un bombeo realizado en Julio de 1995, de 15 horas de duración se obtuvo un valor de transmisividad de 1-2 m²/día (ITGE, 1996b).
 - En el nuevo sondeo de abastecimiento a Campotéjar (realizado a finales de 2006 por los autores de este informe), se obtuvo una transmisividad de 2.000 m²/día.

- Charilla:
 - En el sondeo de abastecimiento a Charilla (1840/4/58), 5.600 m²/día (IGME, 1986).



- San Pedro-La Rábita:
 - En el sondeo 1839/6/21 se obtuvo una transmisividad para las calizas y dolomías de $7.500 \text{ m}^2/\text{día}$ (IGME, 1986).
- Alcalá la Real- Santa Ana:
 - La información sobre los parámetros hidráulicos de la Subunidad detrítica de Alcalá la Real-Santa Ana, es la obtenida en los sondeos de abastecimiento a Alcalá La Real y Santa Ana (1840/4/75) y (1840/4/77), en un bombeo de 6.840 minutos:
 - Transmisividad: $2.200\text{-}2.400 \text{ m}^2/\text{día}$ (ITGE, 1999)
 - Coeficiente de almacenamiento: 2×10^{-3} (ITGE, 1999)
 - En el sondeo 1840/3/024 se realizó un bombeo en junio de 1993 con una duración de 1.450 minutos y 180 minutos de recuperación, obteniéndose un valor de transmisividad situado entre 1.751 y $3.065 \text{ m}^2/\text{día}$ (ITGE, 1993).

3.2.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

La alimentación de la unidad se produce exclusivamente por infiltración de las precipitaciones sobre los afloramientos permeables y de forma diferida mediante percolación desde los materiales calco-margosos que recubren buena parte de las subunidades carbonatadas. Esto debe ser especialmente importante en el acuífero de Alta Coloma, ya que el volumen de recursos drenado por el manantial de Arbuniel (1939/4/2), única salida natural de este acuífero, es notablemente superior a la suma de las infiltraciones calculadas a partir de los afloramientos de alta permeabilidad del acuífero.

Las descargas se realizan fundamentalmente a través de manantiales en los contactos con los materiales impermeables que las limitan, con excepción de algunos acuíferos como Alcalá la Real-Santa Ana o San Pedro – La Rábita donde la explotación por bombeos es importante. A continuación se indica el funcionamiento específico y piezometría de las distintas subunidades que la integran:

- Frailes-Boleta (IGME, 1986): El acuífero drena fundamentalmente hacia el sur, a través del manantial de El Lavadero (1940/1/13), cuya cota (980 m) representa su nivel piezométrico general. El nivel permeable del Jurásico superior, representa un acuífero colgado que drena a cotas superiores a través de diversos.
- Frailes-Montillana (DGOH, 1999): La unidad drena fundamentalmente en dirección oeste, hacia el río Frailes, a través de los manantiales de Haza Redonda (1940/1/14), con un



caudal medio de 110 l/s, y Puerta Alta (1940/2/6), con un caudal de 24 l/s. El nivel piezométrico del acuífero viene impuesto por la cota de estas dos surgencias situadas a 960 m.

- Sierra del Trigo-Puerto Arenas (DGOH, 1999): Este acuífero drena hacia el noreste, al cauce del río Guadalbullón, a través del manantial de Puerto Arenas (1939/4/1), situado a 720 m. existe un pequeño sector acuífero que drena en el sector de Navalcán (nacimiento del río Villarejo), situado a unos 4 km al oeste de Noalejo. El nivel piezométrico de la subunidad viene impuesto por la cota de las descargas en Puerto Arenas.
- Alta Coloma (DGOH, 1999): El drenaje de la subunidad se produce hacia el noreste, a través del manantial de Arbuniel (1939/4/2), con un caudal medio de 456 l/s. El nivel piezométrico del acuífero viene impuesto por la cota de este manantial (940 m). En condiciones no influenciadas, la dirección y sentido preferenciales de flujo es hacia el norte. El gradiente hidráulico, calculado a partir de la cota de nivel cortada por el sondeo de abastecimiento a Campillo de Arenas (1939/7/32), y de la cota de surgencia de manantial de Arbuniel, es del orden del 0,2 %.
- Fresnedilla – Pico Madera (DGOH, 1999): El drenaje del acuífero se produce principalmente hacia el norte en la cabecera del arroyo de Carboneros manantiales de Cortijo Tercero y El Nacimiento (1939/6/2), situados a una cota de 1035 m. El sector meridional drena a una cota de 1020 m, hacia el Río Luchena y Hoya del Salobral, a través de los manantiales de El Engarbo (1940/2/25).
- Alcalá la Real – Santa Ana (ITGE, 1999; REYES LUCAS, 2000): El nivel piezométrico de la unidad viene impuesto por los principales manantiales de descarga situados en su extremo meridional, como son Fuente del Rey (1840/4/13) y Fuente Gallardo (1840/4/21), situadas a una cota de 920 m. El sector noroccidental del acuífero drena a través del manantial de Fuente Corredera (1840/4/74), situado a una cota de 960 m.
- La Camuña (ITGE-DPJ, 1997): Las descargas se producen fundamentalmente hacia el norte, a través de los manantiales de El Caño (1839/7/6) y Lavadero Público (1839/7/5), situados a una cota de 760 m, y mediante extracciones del sondeo Puerto del Castillo (1839/8/21) de abastecimiento a Castillo de Locubín, que presenta idéntica cota. Además deben producirse descargas difusas hacia el glacis que recubre sus bordes.
- Charilla (ITGE-DPJ, 1997): Esta subunidad drena fundamentalmente hacia el suroeste, con una piezometría impuesta por el manantial de Charilla (1840/4/18), situado a una cota de 918-925 m.



- Vadillo (ITGE-DPJ, 1997): La piezometría del acuífero viene impuesta por los manantiales de Vadillo (1839/8/12) y Vadillo Alto (1839/8/11), situados a una cota de 680-700 m, en el cauce del río Guadalquivir.
- San Pedro – La Rábida: Una de las características hidrogeológicas de esta subunidad es la inexistencia de surgencias significativas, constituyendo los puntos de agua de interés una serie de pozos de excavación poco profundos existentes en el acuífero de La Rábida y más concretamente en el paraje denominado La Laguna. En este lugar se da la circunstancia que en años de elevada precipitación los pozos son surgentes y se forma una pequeña zona pantanosa. En el acuífero de San Pedro el punto de agua más significativo es el sondeo de abastecimiento a Sabariego y la Rábida (1839/6/46), ambas pedanías de Alcalá la Real.

Los datos aportados en los balances que se exponen a continuación provienen mayoritariamente de IGME (1986) revisado en ITGE-DPJ (1997), que trata en conjunto todos los acuíferos implicados en la unidad. En líneas generales, los balances reflejan los problemas de una deficiente información, especialmente en lo que respecta al control de surgencias por manantiales o ríos relacionados con los acuíferos, ya que muy pocas de ellas han estado incluidas en las redes de control.

Entradas:

Infiltración de agua de lluvia sobre afloramientos permeables:

Subunidad Frailes-Boleta	0,6 hm ³ /año
Subunidad Frailes-Montillana	5,5 hm ³ /año
Subunidad Sierra del Trigo-Puerta Arenas	5,5 hm ³ /año
Subunidad Alta Coloma	8,0 hm ³ /año
Subunidad Fresnedilla-Pico Madera	1,6 hm ³ /año
Subunidad Alcalá la Real-Santa Ana	1,3 hm ³ /año
Subunidad La Camuña	1,4 hm ³ /año
Subunidad Charilla	0,3 hm ³ /año
Subunidad Vadillo	0,7 hm ³ /año
Subunidad San Pedro-La Rábida	2,0 hm ³ /año
Total	26,9 hm³/año

Infiltración diferida desde materiales semipermeables suprayacentes:



Subunidad Frailes-Boleta	2,2 hm ³ /año
Subunidad Frailes-Montillana	0,3 hm ³ /año
Subunidad Sierra del Trigo-Puerto Arenas	0,2 hm ³ /año
Subunidad de Alta Coloma	2,8 hm ³ /año
Subunidad Fresnedilla-Pico Madera	3,4 hm ³ /año
Subunidad de Charilla	0,4 hm ³ /año
Total	9,3 hm ³ /año

Otras entradas desconocidas 5,8 hm³/año

TOTAL ENTRADAS 42 hm³/año

Salidas:

Salidas por manantiales:

Subunidad Frailes-Boleta	2,8 hm ³ /año
Subunidad Frailes-Montillana	4,5 hm ³ /año
Subunidad Sierra del Trigo-Puerto Arenas	0,1 hm ³ /año
Subunidad Alta Coloma	15,7 hm ³ /año
Subunidad Fresnedilla-Pico Madera	4,0 hm ³ /año
Subunidad Alcalá la Real-Santa Ana	0,8 hm ³ /año
Subunidad La Camuña	0,7 hm ³ /año
Subunidad de Charilla	0,65 hm ³ /año
Subunidad Vadillo	0,7 hm ³ /año
Total	29,9 hm ³ /año

Salidas ocultas a cauces y salidas difusas:

Subunidad Frailes-Montillana	0,6 hm ³ /año
Subunidad Sierra del Trigo-Puerto Arenas	5,6 hm ³ /año
Subunidad Fresnedilla-Pico Madera	1,0 hm ³ /año
Subunidad La Camuña	0,6 hm ³ /año
Subunidad de San Pedro-La Rábita	0,75 hm ³ /año
Total	8,55 hm ³ /año

Extracciones por bombeo para abastecimiento:



Subunidad Frailes-Montillana	0,7 hm ³ /año
Subunidad Alta Coloma	0,3 hm ³ /año
Subunidad Alcalá la Real-Santa Ana	0,4 hm ³ /año
Subunidad La Camuña	0,1 hm ³ /año
Subunidad San Pedro-La Rábida	0,25 hm ³ /año
Otros dispersos	0,05 hm ³ /año
Total	1,8 hm³/año
Extracciones por bombeo para regadío	1,7 hm ³ /año
TOTAL SALIDAS	42 hm³/año



4. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO FRENTE A LA CONTAMINACIÓN

4.1. Inventario de focos contaminantes

En el municipio de Cambil se encuentran un número relativamente elevado de focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas, especialmente teniendo en cuenta la relativamente escasa población del municipio, en torno a 3.000 habitantes.

La actividad industrial del municipio es importante, relacionada especialmente con el olivar, pues existen cuatro almazaras en Cambil y una en la pedanía de Arbuniel, donde además existe una zona de balsas de alpechín. En lo que se refiere a otras actividades industriales, sólo destacan tres talleres de automóviles y una estación de servicio. La potencialidad de la afección de estas actividades es variable según su ubicación, sin que parezca probable una afección sobre las captaciones de abastecimiento.

La actividad ganadera del municipio es también importante, con 25.000 cabezas de ganado aviar 2.828 de ganado ovino y 2.205 de ganado porcino. La ubicación de las explotaciones hace que la afección potencial sobre las aguas subterráneas y de abastecimiento sea prácticamente insignificante excepto la identificada con el número 3; esta granja avícola se sitúa a 150 m de sondeo de abastecimiento a Arbuniel justo en el límite de los materiales carbonatados permeables, por lo que la afección sobre esta captación puede llegar a ser muy importante.

La actividad agrícola en este municipio es intensa, dedicada casi exclusivamente al cultivo del olivar, que suma 5.329 *ha* entre secano y regadío. 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, no se considera que ésta pueda llegar a ser significativa, pues se encuentran en áreas donde los cultivos son escasos.

Las aguas residuales de Cambil se vierten al río Cambil tras haber sido depuradas, mientras que las de Arbuniel se vierten si depurar cerca del río Arbuniel. En ambos casos la afección potencial sobre las captaciones de abastecimiento será insignificante, mientras que sobre las aguas subterráneas en general será también insignificante en el caso de Cambil y media – alta en el caso de Arbuniel.

En cuanto a los residuos sólidos urbanos, existen en el municipio un vertedero y tres escombreras, sin que haya sido posible determinar su estado. La afección potencial del vertedero y las escombreras sobre las aguas subterráneas debe ser poco significativa, e insignificante sobre las captaciones de abastecimiento.



Los cementerios de Cambil y Arbuniel se sitúan sobre materiales permeables, de manera que la afección potencial de ambos sobre las aguas subterráneas puede llegar a ser alta, no siendo sin embargo significativa esta afección sobre las captaciones de abastecimiento.

4.2. Vulnerabilidad frente a la contaminación

Los afloramientos permeables de la masa de agua 05.20 Almadén presentan un alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas debido, sobre todo, a la elevada permeabilidad de los materiales que la conforman. Los cultivos de olivar situados al norte del manantial del Cortijo de Villanueva (1938/8/3) pueden suponer un foco potencial de contaminación (ITGE, 1999b).

Los afloramientos acuíferos de elevada permeabilidad de la masa de agua 05.28 Montes Orientales presentan un riesgo potencialmente alto o muy alto de contaminación en relación con las características propias de sus materiales carbonatados, mientras que los materiales semipermeables que recubren el acuífero, presentan un riesgo moderado de contaminación.

4.3. Sistema de vigilancia

Las captaciones de abastecimiento a Cambil (1938-8-0003 y 0012) no tienen focos de contaminación ni otras captaciones inventariadas por el IGME dentro de su poligonal envolvente por lo que sólo se considerarán como puntos de control las propias captaciones de abastecimiento. En ellas, se realizará un análisis completo químico y bacteriológico anualmente.

En la captación de abastecimiento a Arbuniel (1939-4-0008), dada la presencia de actividades potencialmente contaminantes, 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 la captación de abastecimiento. Para ello, se controlará el manantial de Arbuniel (1839-4-0012), donde se realizará anualmente una analítica completa de los constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas.

Asimismo, en caso de producirse una situación especial que provoque un vertido potencialmente contaminante en las proximidades cualquiera de las captaciones, 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 la captación de Cambil:

- Manantial del Cortijo Villanueva (1938-8-0003):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	Q_i	200	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	265	Ficha IGME
Espesor total zonas transmisivas	b	100	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	2,65	Cálculo
Porosidad	m	0,001	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,001	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,00125	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 de abastecimiento a Arbuniel (1939-4-0008):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	Q_i	4	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	2000	Ensayo de bombeo de Campotéjar
Espesor total zonas transmisivas	b	300	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	6,67	Cálculo
Porosidad	m	0,001	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,001	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,00125	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	0	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	452647	
Latitud captación (UTM)	m	4164186	

- Sondeo de abastecimiento a Cambil (1939-8-0012):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	Q_i	12	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	265	Ficha IGME
Espesor total zonas transmisivas	b	100	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	2,65	Cálculo
Porosidad	m	0,001	Estimación propia

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Coeficiente almacenamiento	S	0,001	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,00125	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	90	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	451042	
Latitud captación (UTM)	m	4173646	

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

Cambil	1938-8-0003	1939-4-0008	1939-8-0012
X ₀ o radio de llamada (m)	8.302	22	498
B o ancho de llamada (m)	52.166	138	3.130
B` o ancho de llamada a la altura de la captación (m)	26.083	69	1.565
V _e o velocidad eficaz (m/día)	3	8	3

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 boca del sondeo y sus proximidades.

Cambil	1938-8-0003	1939-4-0008	1939-8-0012
S _i aguas arriba (m)	236	25	59
S _i aguas abajo (m)	359	14	57

En el caso de las captaciones 1938-8-0003 y 1939-8-0012, debido al gran tamaño de los polígonos teóricos, poco coherentes con las características reales de los acuíferos y poco prácticos para la protección que en ellos se pretende realizar, esta zona tendrá un radio de 20 m con centro en la captación. 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.

Cambil	1938-8-0003	1939-4-0008	1939-8-0012
S_{II} aguas arriba (m)	1.743	486	524
S_{II} aguas abajo (m)	1.556	22	304

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.

Cambil	1938-8-0003	1939-4-0008	1939-8-0012
S_{III} aguas arriba (m)	12.423	12.273	6.111
S_{III} aguas abajo (m)	8.302	22	498

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 del Cortijo Villanueva (1938-8-0003):

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 (265 m²/día).
- t: Tiempo de bombeo (generalmente 120 días).
- S: Coeficiente de almacenamiento (0,001).

Con los datos indicados, se obtiene un radio de influencia de 8.549 m, lo que en la práctica significa que la zona de protección de la cantidad ocupará toda la poligonal envolvente de la captación.

- Sondeo de abastecimiento a Arbuniel (1939-4-0008) y sonde de abastecimiento a Cambil (1939-8-0012)::

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:

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

Donde:

- D: Descenso del nivel piezométrico.
- T: Transmisividad (2.000 m²/día en Arbuniel y 265 m²/día en Cambil).
- Q: Caudal (346 m³/día en Arbuniel y 1.037 m³/día en Cambil).
- t: Tiempo de bombeo (generalmente 120 días).
- r: Distancia al sondeo de captación (de 50 a 1.000 m).
- S: Coeficiente de almacenamiento (0,001).

Con estos datos de partida, se obtiene que el descenso provocado por un sondeo que explote 4 l/s en Arbuniel y 12 l/s en Cambil durante 120 días continuados provocará un descenso de 2 mm y 4 cm respectivamente, incluso encontrándose tan solo 50 m de distancia. No obstante, teniendo en cuenta las características de los acuíferos y para garantizar el abastecimiento, se recomienda que en el sondeo de Cambil la zona de protección de la cantidad ocupe toda la poligonal envolvente de la captación, mientras que en Arbuniel se propone que tenga 1 km de radio con centro en 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 1938-8-0003 y 1938-8-0012 y otra para la captación 1939-4-0008. Las coordenadas de los vértices de la misma son los siguientes:

- Manantial del Cortijo Villanueva (1938-8-0003) y sondeo de abastecimiento a Cambil (1939-8-0012)::

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	444620	4174695	700
2	445810	4175371	770
3	446942	4175580	870
4	449286	4174599	1.060
5	450813	4176073	1.140
	452642	4175078	1.470
6	451866	4172825	1.000
7	447358	4172927	980
8	446665	4172319	940
9	445919	4172319	880

- Sondeo de abastecimiento a Arbuniel (1939-4-0008):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	451652	4164042	990
2	452036	4164635	945
3	454511	4164209	1.070
4	454937	4162607	1.180
5	454771	4160788	1.230
6	452327	4159592	1.250
7	451277	4159550	1.200
8	450705	4162441	1.200



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los puntos tratados en el presente documento son el manantial del Cortijo Villanueva (1938-8-0003) y los sondeos de abastecimiento a Arbuniel (1939-4-0008) y a Cambil (1938-8-0012).
- Las captaciones 1938-8-0003 y 1938-8-0012 explotan la masa de agua 05.20 Almadén – Carluca, mientras que la captación 1939-4-0008 explota la masa de agua 05.28 Montes Orientales.
- No existen focos de contaminación que puedan afectar a la calidad de las aguas en las captaciones 1938-8-0003 y 0012, aunque si en la captación 1939-4-0008.
- La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación puede considerarse como muy alta debido a la naturaleza carbonatada de éstos, la karstificación existente 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 unidades contemplan la protección frente a la contaminación de todos los afloramientos permeables de la unidad, por lo que las garantías de protección son mayores.
- Teniendo en cuenta las características de los acuíferos explotados, y para garantizar las condiciones del abastecimiento, algunas de las zonas de protección se han hecho coincidir con la poligonal envolvente.



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 05.20 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.

Bibliografía de la masa de agua 05.28 Montes Orientales

- DGOH (1999). Actualización del inventario de recursos subterráneos en la cuenca alta del Río Guadalbullón y del Río Torres (Jaén).



- IGME (1982). Informe final del sondeo para abastecimiento a Montejícar (Granada).
- IGME (1986). Proyecto de investigación para la mejora del abastecimiento de agua a los núcleos urbanos del sector suroccidental de la provincia de Jaén.
- IGME (1987-88). Proyecto para estudios de asesoramiento técnico en materia de aguas subterráneas a las Administraciones Públicas. Cuenca del Guadalquivir. Investigación hidrogeológica en la Comarca de los Montes Orientales.
- IGME (varias fechas). Mapa geológico de España a escala 1:50.000. Hojas 968 Alcaudete, 969 Valdepeñas de Jaén, 970 Huelma, 990 Alcalá la Real y 991 Iznalloz.
- ITGE (1993). Nota técnica sobre los trabajos de perforación y bombeo de ensayo realizados en el término municipal de Alcalá la Real (Jaén) para abastecimiento con aguas subterráneas a las aldeas de Pilas y Caserías de San Isidro.
- ITGE (1995a). Nota técnica sobre la perforación realizada para abastecimiento con aguas subterráneas a la pedanía de Domingo Pérez (Iznalloz-Granada).
- ITGE (1995b). Nota técnica sobre los trabajos de perforación y bombeo de ensayo realizados para el abastecimiento con aguas subterráneas a la localidad de Campillo de Arenas (Jaén).
- ITGE (1996a). Investigación hidrogeológica como mejora del abastecimiento a Campillo de Arenas (Jaén).
- ITGE (1996b). Nota técnica sobre los trabajos de perforación y bombeo de ensayo realizados para el abastecimiento con aguas subterráneas de la pedanía de Arbuniel (Cambil, Jaén).
- ITGE (1999). Informe de los trabajos previos para la realización de un experiencia de recarga artificial en el acuífero de Los Llanos de Alcalá la Real (Jaén)
- ITGE-DPJ (1997). Atlas hidrogeológico de la provincia de Jaén.
- Reyes Lucas, R. (2000). Modelización y viabilidad de recarga artificial del acuífero de Alcalá la Real-Santa Ana (Proyecto fin de carrera).



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

