



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

PROPUESTA DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

CASTILLO DE LOCUBÍN

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 05.28 Montes Orientales
 - 3.1.1. Marco geológico
 - 3.1.2. Límites y geometría del acuífero
 - 3.1.3. Descripción hidrogeológica
 - 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 05.70 Gracia – Ventisquero
 - 3.2.1. Marco geológico
 - 3.2.2. Límites y geometría del acuífero
 - 3.2.3. Descripción hidrogeológica
 - 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 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 Castillo de Locubín se usan la siguientes captaciones:

- Manantial de San Juan, con nº IGME 1939-3-0003
- Manantial de Castillo de Locubín, con nº IGME 1839-7-0029
- Manantial La Tosquilla, con nº IGME 1839-3-0032
- Manantial Las Hierbezuelas, con nº IGME 1839-7-0009

Los manantiales de San Juan y Castillo de Locubín drenan recursos de la masa de agua 05.70 Gracia – Ventisquero, el de Las Hierbezuelas lo hace de la masa de agua 05.28 Montes Orientales, mientras que el de La Tosquilla drena un pequeño acuífero aislado.

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 05.28 Montes Orientales

3.1.1. 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, conglo-merados, arenas y calizas lacustres, cuya potencia podría llegar a los 100 m.
- Cuaternario. Corresponde a abanicos aluviales, fondos de valle y depósitos aluviales.

3.1.2. 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 existe la posibilidad de 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 substrato impermeable. Aunque presenta carácter fundamentalmente 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 substrato 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 substrato 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 Pliocuaternario, 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 monoclinal 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 parcialmente solapado por el Pliocuaternario de la unidad de La Rábita.



3.1.3. 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.

3.1.4. 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 Trias, 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.

3.1.5. 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 Rábita y Alcalá la Real-Santa Ana.

La evolución piezométrica se conoce, en algunos sectores de la unidad, gracias al control periódico que desde 1994 realiza CHG en el sondeo El Chaparral (1940/1/24) (Subunidad de Frailes-Montillana) y en 7 piezómetros de la Subunidad de Alcalá la Real. Además está la

exhaustiva recopilación de información piezométrica de los sondeos los Llanos 1840/4/75 y 1840/4/77, realizada por el IGME (ITGE, 1999).

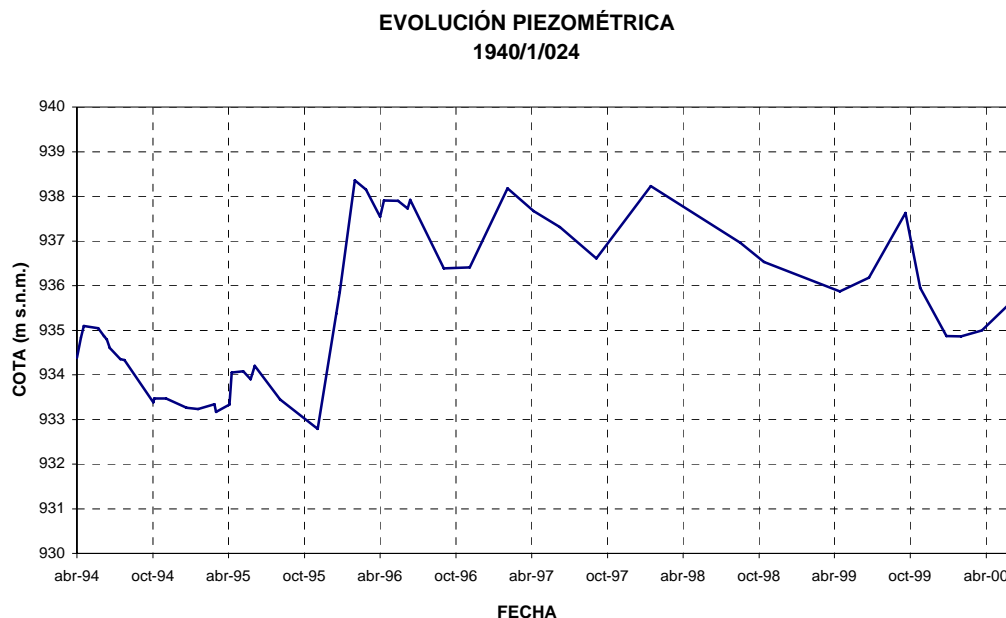


Gráfico 1: Evolución piezométrica del sondeo 1940/1/24

El gráfico 1 muestra la evolución piezométrica del sondeo 1940/1/24 (representativo de la Subunidad Frailes-Montillana), en el período abril de 1994 – abril de 1999. Puede observarse la rápida respuesta del acuífero a las precipitaciones, con un ascenso significativo de nivel como consecuencia del incremento de las precipitaciones del otoño de 1995 que supuso el final de la sequía; también se observan oscilaciones estacionales de nivel de 2-3 m.

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en los acuíferos que componen la unidad, ya que no se conoce el coeficiente de almacenamiento ni la estructura en detalle.

3.1.6. 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 Rábida 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 (1840/4/074), 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 Guadalcoacán.
- 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 hm³/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 hm³/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 Rábita	0,25 hm ³ /año
Otros dispersos	0,05 hm ³ /año
Total	1,8 hm³/año

Extracciones por bombeo para regadío 1,7 hm³/año

TOTAL SALIDAS 42 hm³/año

3.2. Masa de agua 05.70 Gracia – Ventisquero

3.2.1. Marco geológico

La masa de agua 05.70 Gracia – Ventisquero está conformada por materiales pertenecientes al Subbético, y más concretamente en el Subbético Externo, los más antiguos pertenecen al Triásico, y los más modernos al Cuaternario.

Las unidades litoestratigráficas que aparecen son las siguientes (IGME, 1991 y 1992; MOLINA CÁMARA, 1987):

- Triásico: Esta formado por arcillas multicolores con predominancia del rojo y el verde típicas de las facies Keuper, con intercalaciones de limos, areniscas, yesos y rocas carbonatadas. La potencia es superior a los 300 metros. Pueden aparecer englobando bloques de calizas y dolomías de facies Muschelkalk, ofitas y yesos con una potencia de hasta 150 m.



- Jurásico: La serie de materiales de edad jurásica comienza con unos niveles de carnioles sobre los que se disponen paquetes de dolomías y calizas de color gris o gris oscuro y aspecto masivo, aunque a veces aparecen estratificadas en gruesos bancos (Formación Gavilán). Esta formación presenta espesores entre 100 m en el sector de Cerro Marroquí, 200 m en el de Cornicabra-Noguerones y 250 m en el sector de Ventisquero. La serie continúa con una formación compuesta esencialmente por calizas, calizas con sílex y calizas margosas (Formación Veleta). Su espesor es muy reducido, alcanzando un máximo de 55 m en Noguerones y de 15 en el Ventisquero donde. A techo se sitúa la Formación Ammonítico Rosso, con una potencia de en torno a los 40 metros en el sector de Gracia-Morenita, 30 metros en La Cornicabra y 60 m en el Ventisquero.

- Cretácico: Consiste en una alternancia monótona de calizas margosas y margas en bancos de 20 a 40 cm de potencia y color gris oscuro en las que son frecuentes las estructuras slumps y pliegues intraformacionales (Formación Carretero). La potencia oscila entre 600 m en la parte occidental de la unidad y 900 m en la oriental. Se le atribuye una edad Berriasiense superior-Barremiense. A techo se sitúa la Formación Carbonero, que aflora con poca extensión en una estrecha franja al sur de las sierras de Cornicabra y Ventisquero, y que está constituida por una serie de carácter turbidítico con un tramo inferior de 18 m de margas azules con intercalaciones de conglomerados y calcarenitas sobre el que se disponen 40 m de arcillas pizarrosas, margas arcillosas, arcillas negras y radiolaritas. Por último, se encuentra un tramo superior de 85 m de potencia formado por una alternancia de margas y areniscas, localmente conglomerados.

El Cretácico culmina con la conocida Formación Capas Rojas, que aflora principalmente al noreste de Castillo de Locubín. La litología es muy homogénea y consiste en calizas margosas y margas de color rojo o blanco, estratificadas en bancos de entre 20 y 40 cm con una potencia total del orden de 200 a 600 metros. Se le atribuye una edad Senonense-Eoceno medio.

- Cuaternario:
 - Travertinos: En el Río Grande, al norte de la Sierra de la Morenita aparece un afloramiento de travertino con entidad cartográfica, del que no existen estudios específicos (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002; IGME, 1991).
 - Aluviales y terrazas fluviales: Los depósitos aluviales aparecen ligados a los ríos Grande y San Juan. Las litologías consisten en gravas, arenas y limos con potencias que no suelen superar los 10 metros.



- Glacis y derrubios de ladera: Tienen muy escasa representación en el área de estudio, apareciendo preferentemente en la zona sur, al pie de los relieves fuertes, y consisten en conglomerados y gravas con matriz limo-arcillosa de escaso espesor.

3.2.2. Descripción hidrogeológica

Los materiales permeables que conforman esta unidad son las calizas y dolomías de la Formación Gavilán, y en menor medida las calizas nodulosas y calizas con sílex de las Formaciones Veleta y Ammonítico Rosso Superior que en conjunto presentan espesores comprendidos entre 140 y 325 metros.

Se distinguen tres subunidades, denominadas Ventisquero, Cornicabra-Noguerones y Gracia-Morenita.

- Subunidad de Ventisquero (IGME – CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, 1996): Situada al este de la masa de agua, ocupa una extensión de 20,6 km², de los que 11,6 km² corresponden a afloramientos permeables de rocas carbonatadas jurásicas y el resto son materiales cretácicos superpuestos. El conjunto de materiales carbonatados presenta un espesor de 300-325 metros. Los 9 km² localizados en el centro del acuífero se encuentran semiconfinados bajo las calizas, margocalizas y margas del Cretácico inferior cuya permeabilidad varía entre media y baja. Sobre estos materiales cretácicos aparece un pequeño klippe de materiales triásicos y jurásicos en el Cerro Altomiro. Todos los límites del acuífero son de carácter cerrado a excepción del sector sureste en el que se superpone al acuífero contiguo de Cornicabra-Noguerones y por el que parece probable que exista una transferencia de recursos desde este último hacia el acuífero de Ventisquero.
- Subunidad de Cornicabra – Noguerones (IGME – CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, 1996): Ocupa una extensión de 11,3 km², de los que 9,5 km² corresponden a materiales carbonatados permeables y 1,8 km² a margocalizas cretácicas de carácter impermeable que recubren a los anteriores en el sector occidental del acuífero. El espesor de materiales permeables oscila entre 280 y 290 metros. Al igual que en el caso del acuífero de Ventisquero, todos los límites son cerrados excepto el que pone en contacto ambos acuíferos, que es de carácter abierto. Desde el punto de vista hidrogeológico, el acuífero tiene dos sectores perfectamente diferenciados. La divisoria entre ambos se produce mediante un estrechamiento de los materiales permeables a causa de la elevación de la base impermeable triásica por efecto de un anticlinal.
- Subunidad de Gracia – Morenita (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002): Al igual que en los acuíferos anteriormente descritos, los materiales permeables que lo conforman son las calizas y



dolomías jurásicas (Formación Gavilán, y en menor medida las calizas nodulosas de la Formación Ammonítico Rosso Superior), que en conjunto presentan espesores comprendidos entre 140 y 290 metros. La superficie de afloramientos permeables es de 19,1 km², mientras que el acuífero ocupa una extensión total aproximada de 28 km². El resto de afloramientos corresponden a materiales margocalcáreos cretácicos y a materiales triásicos superpuestos tectónicamente a la serie jurásica, ambos de baja permeabilidad.

Todos los límites son cerrados por contacto con los materiales triásicos, a excepción del suroriental en el que existe continuidad con los carbonatos jurásicos del Acuífero Frailes-Boleta con el que podría existir intercambio hídrico. El sustrato impermeable está constituido por los materiales margo-arcillosos triásicos.

Del estudio de la geometría del acuífero se deduce que gran parte de su zona saturada se encuentra en situación de confinamiento, ya sea debido a la superposición tectónica de los materiales triásicos o, en mayor medida, a la de las margas cretácicas suprayacentes.

3.2.3. Límites y geometría del acuífero

La masa de agua se sitúa en la margen izquierda del Guadalquivir y más concretamente en la cabecera de las cuencas de los ríos Víboras y San Juan, al sur de la provincia de Jaén y a unos 20 km al sur de la capital.

Se trata de una masa de agua carbonatada permeable por fisuración y karstificación. Tiene una superficie total de afloramientos permeables de 40 km². Todos los límites son cerrados por contacto con los materiales triásicos, a excepción del suroriental en el que existe continuidad con los carbonatos jurásicos del Acuífero Frailes-Boleta, perteneciente a la Masa de agua 05.28 "Montes Orientales. Sector Norte" con el que podría existir intercambio hídrico. El sustrato impermeable debe estar constituido por los materiales margo-arcillosos triásicos, si bien no hay sondeos que lo alcancen por lo que no se dispone de datos contrastados sobre la profundidad a la que se encuentra (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002).

Las unidades de Ventisquero y de Cornicabra-Noguerones corresponden a sendas estructuras sinformes de dirección ENE-OSO, constituidas por materiales jurásicos pertenecientes al Subbético Externo. El acuífero de Ventisquero se encuentra colgado, en sus bordes septentrional y oriental sobre el impermeable de base, mientras que en el meridional se superpone a materiales cretácicos, y en el occidental es cabalgado por el conjunto triásico. En su límite suroccidental es cabalgado también por la unidad de Cornicabra-Noguerones (ITGE-DIPUTACIÓN DE JAÉN, 1997).

En la unidad de Gracia-Morenita, los cerros de la Morenita, Gracia y el Marroquí presentan estructuras sinclinales con flancos invertidos que en el caso del Cerro Marroquí tienen longitudes del orden de 3 km. Tanto el Cerro Marroquí como el de Gracia forman una



estructura de sinclinal tumbado con la charnela situada al sur, de manera que la mayor parte de los afloramientos que se observan están invertidos, los materiales margosos cretácicos se encuentran bajo los paquetes de carbonatos jurásicos aflorando en las zonas más elevadas (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002; SANZ DE GALDEANO, 1973).

3.2.4. Hidroquímica del sector

Las aguas subterráneas de la unidad son, en general, de mineralización entre ligera y notable. Los valores de la conductividad están comprendidos entre 236 y 1.405 $\mu\text{mhos/cm}$ con un promedio de 604 $\mu\text{mhos/cm}$.

Presentan composiciones bicarbonatadas o sulfatadas cálcicas o cálcico-magnésicas. En cuanto a la diferenciación por subunidades, las muestras procedentes de los manantiales de la Subunidad de Ventisquero presentan facies sulfatadas-bicarbonatadas cálcico-magnésicas y más raramente cálcicas y las de la de Cornicabra-Noguerones, bicarbonatadas o bicarbonatadas-sulfatadas cálcico-magnésicas y en algún caso cálcicas.

En cuanto a las aguas de la Subunidad de Gracia-Morenita, estas presentan composiciones sulfatadas cálcicas (Nacimiento del Río San Juan (1839/8/3)), bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas (sondeos Víboras II y IV (1839/4/22 y 1839/4/31)) y bicarbonatadas cálcicas (sondeos Víboras V y VI (1839/4/32 y 1839/4/33)). Además, se observa una evolución del agua del acuífero desde composiciones bicarbonatadas hacia sulfatadas (hacia el norte) que depende del tiempo de residencia del agua en el acuífero (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002).

Se trata de aguas que varían entre los tipos C_2S_1 y C_3S_1 presentando riesgo de alcalinización bajo y de salinización del suelo de medio a alto para su uso en regadío.

En general, las aguas procedentes de la unidad se clasificarían como aptas para consumo humano (IGME-JUNTA DE ANDALUCÍA, 1998).

3.2.5. Parámetros hidrodinámicos y piezometría

Los parámetros hidráulicos de que se dispone son los obtenidos en diversos ensayos de bombeo realizados en el acuífero Gracia-Morenita y que corresponden a los ensayos de bombeo realizados en los sondeos Víboras II al VI (1839/4/22, 1839/4/30, 1839/4/31, 1839/4/32 y 1839/4/33) (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002).

Los valores de la transmisividad calculados en los diversos ensayos de bombeos, oscilaron entre 100 y 1500 $\text{m}^2/\text{día}$, mientras que la k aparente es del orden de 1,5 m/día y 6-7,5 m/día respectivamente. El coeficiente de almacenamiento hallado se encuentra en torno a $3,2\text{-}4,2 \times 10^{-5}$ en la zona confinada y $1,5 \times 10^{-2}$ en la zona libre (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002).



Los niveles piezométricos vienen impuestos en los tres acuíferos por las cotas de las surgencias principales. Estas son de entre 930 y 980 m para el acuífero de Ventisquero, de entre 970 y 1.020 m para el de Cornicabra-Noguerones y de 645 m (Nacimiento del Río San Juan (1839/8/3)) para el caso del acuífero de Gracia-Morenita, que puede considerarse como el único manantial claramente relacionado con este último y que drena la totalidad de sus recursos.

Los únicos puntos de observación piezométrica de que se dispone son los sondeos Víboras II, IV, V y VI (1839/4/22, 1839/4/31, 1839/4/32 y 1839/4/33) situados al norte del Cerro de la Morenita, en los que el nivel piezométrico se encuentra entre 651 y 660 metros lo que implica gradientes del orden del 0,2 % en dirección suroeste en la subunidad de Gracia-Morenita.

3.2.6. Funcionamiento hidrogeológico y balance hidráulico

La alimentación del conjunto de la masa de agua se produce por infiltración del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables, aunque en el caso de la Subunidad de Gracia-Morenita también por percolación de la escorrentía superficial a través de los cauces del Río Grande y del Arroyo de los Cabañeros, percolación desde las margocalizas cretácicas suprayacentes y mediante aportes laterales desde el Acuífero Frailes-Boleta (incluido en la Masa de agua 05.28 Montes Orientales. Sector Norte) (GONZÁLEZ RAMÓN, 2002).

Las salidas naturales se producen principalmente por manantiales son los del Chorro (1939/1/22), Vadillo (1939/1/18), Chorrillo (1939/1/19) y Estanquillo (1939/1/20) para el acuífero de Ventisquero, los de Papel Alta y Baja (1939/5/1 - 1939/5/2) para Cornicabra-Noguerones y el Nacimiento del Río San Juan (1839/8/3) para Gracia-Morenita.

En cuanto a las relaciones con las unidades hidrogeológicas colindantes, solo se contempla la existencia de continuidad entre el acuífero de Gracia-Morenita y con los carbonatos jurásicos del acuífero Frailes-Boleta (Masa de agua 05.28 "Montes Orientales. Sector Norte") con el que podría existir intercambio hídrico.

El balance hídrico de la Masa de agua Gracia-Ventisquero se ha realizado tomando los balances de los tres acuíferos de los documentos GONZÁLEZ RAMÓN (2002) e ITGE-CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1996). La superficie permeable total considerada ha sido de 40,2 km² (11,6 km² del acuífero de Ventisquero, 9,5 km² de Cornicabra-Noguerones y 19,1 km² de Gracia-Morenita). Se aplica una tasa de infiltración de 410 l/m²/año (valor que resulta de aplicar el 40 % de la precipitación media) para Gracia-Morenita y del 60% de la lluvia útil para los otros dos acuíferos.

Entradas:



Infiltración del agua de lluvia	
Subunidad Ventisquero	6 hm ³ /año
Subunidad Cornicabra-Noguerones	3 hm ³ /año
Subunidad Gracia-Morenita	8 hm ³ /año
Percolación desde materiales semipermeables Cretácicos	
Subunidad Gracia-Morenita	0,5 hm ³ /año
Percolación por escorrentía superficial y aportes del acuífero Frailes-Boleta	
Subunidad Gracia-Morenita	2 hm ³ /año
TOTAL	20 hm³/año

Salidas:

Drenaje por manantiales	
Subunidad Ventisquero	7 hm ³ /año
Subunidad Cornicabra-Noguerones	2,5 hm ³ /año
Subunidad Gracia-Morenita	10,5 hm ³ /año
TOTAL	20 hm³/año

4. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO FRENTE A LA CONTAMINACIÓN

4.1. Inventario de focos contaminantes

No ha sido posible disponer de un inventario completo de focos potenciales de contaminación en Castillo de Locubín, por lo que se remite al lector a la 2ª fase de plan de control de recursos y gestión de captaciones de aguas subterráneas para abastecimientos urbanas de la provincia de Jaén.

No obstante, se ha localizado una estación de servicio dentro de la zona de restricciones máximas de la captación 1839-7-0029, la cual deberá ser especialmente vigilada en el sistema de vigilancia de esta captación.

4.2. Vulnerabilidad frente a la contaminación

Los afloramientos acuíferos de elevada permeabilidad de ambas masas presentan un riesgo potencialmente 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

Dada la presencia de actividades potencialmente contaminantes, especialmente en la captación 1839-7-029, 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
1839-7-0001	Constituyentes mayoritarios, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
1839-7-0005	Constituyentes mayoritarios, hidrocarburos, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual



Nº IGME	Determinaciones	Frecuencia
1839-7-0006	Constituyentes mayoritarios, hidrocarburos, metales pesados, especies nitrogenadas, fungicidas, pesticidas y herbicidas	Anual
1839-8-0021	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 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 han seguido dos criterios:

- Para las captaciones 1839-3-0003 y 1839-7-0029 se ha utilizado una hoja de cálculo propuesta en ITGE (1998) que simplifica las superficies protegidas de un elipsoide a un trapecio.
- Para las captaciones 1839-3-0032 y 1839-7-0009 se ha usado un criterio exclusivamente hidrogeológico, pues en ellos la aplicación del método de Whysling no ofrece resultados realistas.

Para las captaciones 1839-3-0003 y 1839-7-0029, en la hoja de cálculo se han considerado los siguientes datos de partida:

- Manantial de San Juan (1839-3-0003):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de drenaje (l/seg)	Q_i	183930003	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	27	Norma explotación
Espesor total zonas transmisivas	b	300	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	200	Cálculo
Porosidad	m	1,5	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,015	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,015	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	225	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	418879	
Latitud captación (UTM)	m	4155411	

- Manantial Castillo de Locubin (1839-7-0029):

	Abreviatura	Datos	Procedencia
Caudal de bombeo (l/seg)	Q_i	183970029	Ficha IGME
Transmisividad ($m^2/día$)	T	12	Norma de explotación
Espesor total zonas transmisivas	b	2.000	Estimación propia
Permeabilidad (m/día)	K	50	Cálculo
Porosidad	m	40	Estimación propia
Coefficiente almacenamiento	S	0,015	Estimación propia
Gradiente Hidráulico	i	0,002	Cálculo propio
Dirección de flujo respecto al Norte	grados	300	Estimación propia
Incertidumbre dirección flujo	grados	20	
Longitud captación (UTM)	m	416712	
Latitud captación (UTM)	m	4153397	

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

Castillo de Locubín	1839-3-0003	1839-7-0029
X ₀ o radio de llamada (m)	62	8
B o ancho de llamada (m)	389	52
B` o ancho de llamada a la altura de la captación (m)	194	26
V _e o velocidad eficaz (m/día)	2	27

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 sin embargo, 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.

Castillo de Locubín	1839-3-0003	1839-7-0029
S _i aguas arriba (m)	17	41
S _i aguas abajo (m)	15	8

En las captaciones 1839-3-0003 y 1839-7-0029 se tomará el polígono teórico, si bien ligeramente modificado para adaptarlo a las condiciones reales del entorno de los manantiales.

En las captaciones 1839-3-0032 y 1839-7-0009, se adoptará un polígono de unos 20 m de radio con centro en los manantiales, también modificados donde sea necesario 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 el sondeo o manantial (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.

Castillo de Locubín	1839-3-0003	1839-7-0029
S_{II} aguas arriba (m)	186	1.376
S_{II} aguas abajo (m)	57	8

A efectos prácticos, en las captaciones 1839-3-0003 y 1839-7-0029 se adoptarán los polígonos teóricos salvo que éstos superen los límites establecidos en las poligonales envolventes de las captaciones. En las captaciones 1839-3-0032 y 1839-7-0009 las zonas de restricciones máximas coincidirán con la poligonal envolvente de las captaciones. En el Anexo I se incluye la relación de actividades y limitaciones que se deben imponer.

5.4. Zona de restricciones moderadas

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

Castillo de Locubín	1839-3-0003	1839-7-0029
S_{III} aguas arriba (m)	3.157	38.896
S_{III} aguas abajo (m)	62	8

Al igual que en caso de la zona de restricciones máximas, a efectos prácticos se adoptarán los polígonos teóricos salvo que éstos superen los límites establecidos en la poligonal envolvente de la captación; de hecho, en la captación 1839-7-0029 esta zona coincidirá íntegramente con la poligonal envolvente. 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.

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

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

Donde:

Castillo de Locubín	1839-3-0003	1839-7-0029
T: Transmsividad (m ² /día)	300	2.000
t: Tiempo de bombeo (días)	120	120
S: Coeficiente de almacenamiento	0,015	0,002

Con los datos indicados, se obtiene un radio de influencia de 2.324 m en la captación 1839-3-0003 y de 16.432 m en la captación 1839-7-0029. No obstante, para garantizar la cantidad y calidad del abastecimiento, en todas las captaciones la zona de protección de la cantidad coincidirá con la poligonal envolvente de las captaciones.

5.6. Poligonal envolvente

Esta poligonal engloba las zonas delimitadas anteriormente. Las coordenadas de los vértices de las mismas son los siguientes:

- Manantial de San Juan (1939-3-0003):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	418846	4155690	670
2	419183	4155811	750
3	419812	4156611	800
4	420413	4156832	870
5	421854	4158279	990
6	423507	4157879	1.100



Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
7	4247390	4157178	1.160
8	422996	4156409	1.060
9	422427	4155692	1.110
10	421430	4154925	760
11	420846	4154439	720
12	420370	4153674	720
13	419286	4154640	705
14	418510	4155044	740

- Manantial Castillo de Locubin (1839-7-0029):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	416705	4153471	760
2	417510	4154008	820
3	418326	4154449	870
4	418709	4154459	870
5	419007	4153893	890
6	418901	4153538	900
7	417923	4153049	890
8	417616	4152272	940
9	416849	4151495	1.040
10	416323	4150963	1.000
11	416235	4150613	985
12	415966	4150354	940
13	414911	4150690	910
14	415101	4151286	1.000

- Manantial La Tosquilla (1839-3-0032):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	413742	4161678	980
2	413705	4162145	990
3	413949	4162289	980
4	414015	4162213	985
5	414450	4161983	970
6	414521	4161809	950
7	414347	4161403	930
8	414121	4161353	940
9	413896	4161384	950



- Manantial Las Hierrezuelas (1839-7-0009):

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Cota
1	412804	4152841	870
2	412919	4152913	850
3	413026	4152980	820
4	413369	4153072	740
5	413581	4153012	700
6	413699	4152872	700
7	413653	4152464	720
8	413381	4152397	760
9	413132	4152428	820
10	412907	4152543	920



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los puntos tratados en el presente documento son el manantial de San Juan (1939-3-0003), manantial Castillo de Locubín (1839-7-0029), manantial La Tosquilla (1839-3-0032) y manantial Las Hierrezuelas (1839-7-0009)
- Las captaciones 1939-3-0003 y 1839-7-0029 explotan la masa de agua 05.70 Gracia - Ventisquero, la captación 1839-7-0009 explota la masa de agua 05.28 Montes Orientales y finalmente la captación 1839-3-0032 explota un pequeño acuífero aislado.
- No ha sido posible disponer de un listado completo de focos potenciales de contaminación en este municipio, si bien se ha podido determinar la existencia de actividades potencialmente contaminantes en la poligonal envolvente de la captación 1839-7-0029.
- 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. Este método no se ha utilizado en las captaciones 1839-3-0032 y 1839-7-0009 debido a que, por las reducidas dimensiones de los acuíferos que drenan, los resultados que ofrece no son realistas.
- 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. En el caso de la captación 1839-3-0032 no existe esta protección, por lo que es muy importante el cumplimiento de las medidas establecidas en este documento.
- Debido a las características de los acuíferos explotados, y con el fin de garantizar la cantidad y calidad de los abastecimientos, algunas de las zonas de protección se han hecho coincidir con la poligonal envolvente de las captaciones.
- La zona del nacimiento del río San Juan presenta un alto valor ecológico, por lo que se justifica la ampliación de la zona de protección a la cantidad hasta los límites establecidos.



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 05.28 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 Montejicar (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).

Bibliografía de la masa de agua 05.70 Gracia - Ventisquero

- González Ramón, A. (2002). Contribución al conocimiento hidrogeológico e hidroquímico del acuífero kárstico Gracia-Morenita (provincia de Jaén). Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada. 64 p.
- IGME (1991). Memoria y Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja de Valdepeñas de Jaén nº 19-39 (969).
- IGME (1992). Memoria y Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja de nº Alcaudete 18-39 (968).
- IGME-Junta de Andalucía (1998). Atlas hidrogeológico de Andalucía.
- IGME-Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía (2000). Mejora del conocimiento del acuífero Gracia-Morenita para la evaluación de las posibilidades de recarga artificial como apoyo a los abastecimientos públicos. Informe interno.
- ITGE-Diputación Provincial de Jaén (1997). Atlas hidrogeológico de la provincia de Jaén.
- ITGE-Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía (1996). Reconocimiento hidrogeológico y ejecución de sondeos de investigación en el sector Quiebrajano-Víboras (Jaén).
- Molina Cámara, J.M. (1987). Análisis de facies del Mesozoico en el Subbético Externo (provincia de Córdoba y sur de Jaén). Tesis doctoral. Univ. de Granada.
- Sanz de Galdeano, C. (1973). Geología de la transversal Jaén-Frailes (Provincia de Jaén). Tesis doctoral. Universidad de Granada.



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

