



INFORME FINAL DEL SONDEO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A
LA LOCALIDAD DE **ALIAGUILLA** CUENCA)
PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

Abril de 2010

Sondeo: Aliaguilla-2

Término municipal: Aliaguilla

Provincia: Cuenca

Sonda/contratista: Rotopercusión /Sondeos EDASU

SITUACIÓN:

Hoja topográfica: N° 665 Mira.

Coordenadas UTM: X: 642816 Y: 4401459

Cota aproximada: 1056m

CARACTERÍSTICAS:

Profundidad: 118 m.

Referencias topográficas: En la carretera Aliaguilla-Garaballa, camino que sale a la izquierda 130 m tras la primera curva pronunciada.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

2. EJECUCIÓN DEL SONDEO

2.1. Situación

2.2. Características específicas de las obras

2.2.1. Consideraciones constructivas

2.2.2. Perfil litológico

2.2.3. Acondicionamiento de las obras

2.2.4. Hidroquímica

2.2.5. Consideraciones hidrogeológicas

2.2.6. Resultados de los ensayos de bombeo

2.3. Resultados obtenidos

3. PROPUESTA DEL PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

3.1. Marco hidrogeológico regional

3.2. Marco hidrogeológico local

3.3. Vulnerabilidad del acuífero

3.3.1. Inventario de focos de contaminación

3.3.2. Estimación de la vulnerabilidad

3.4. Perímetro de protección de la captación

4. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

MAPA GEOLÓGICO

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del convenio de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.) y la Excm. Diputación Provincial de Cuenca, en octubre de 2008 se redactó el “*Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable del municipio de Aliaguilla (Cuenca)*”, en el que se recomendaba, de acuerdo con las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, la perforación de un sondeo de investigación.

1.1. Objetivo

El objetivo era obtener agua de buena calidad y con un caudal suficiente para atender o complementar la demanda máxima de agua, tanto actual como futura, cifrada en **6.25 L/s**. Para ello se recomendó la perforación de un sondeo que explotara las mismas formaciones geológicas triásicas carbonatadas que supuestamente explota el actual sondeo, pero perforando directamente sobre estos materiales para así evitar atravesar los materiales arcilloso-yesíferos responsables del elevado contenido en sulfatos del sondeo actual. El nuevo sondeo se ubica en un alto alejado de las granjas del pueblo con lo que se pretende aislar el sondeo de la contaminación por nitratos también observada en el sondeo antiguo. En la Figura 1 se muestra la ubicación de las dos captaciones antiguas (Sondeo antiguo y Fuente de Torrelahuerta) y del nuevo sondeo.

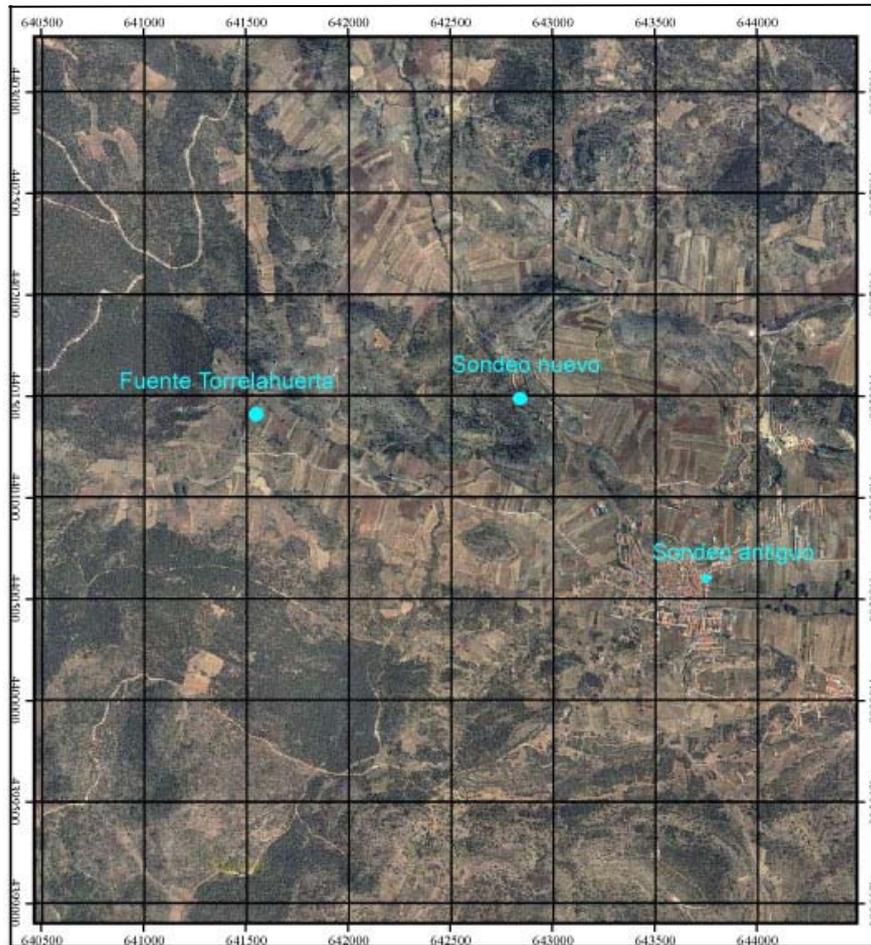


Figura 1. Situación de las captaciones de Aliaguilla

2. EJECUCIÓN DEL SONDEO

2.1. Situación

El sondeo Aliaguilla-2 se ubicó en un alto a 1300 m al NO del antiguo sondeo, el cual se sitúa en el casco urbano de la población.

Esta ubicación corresponde a un punto de la hoja nº 665 de coordenadas UTM

UTM_X: 642816

UTM_Y: 4401459

2.2. Características específicas de las obras

2.2.1. Consideraciones constructivas

La ejecución del sondeo fue llevada a cabo por Sondeos EDASU durante el mes de noviembre de 2009, mediante rotoperCUSión con martillo en fondo.

La ejecución del sondeo Aliaguilla-II se perforó con un diámetro de 250 mm hasta los 118 m de profundidad. La entubación se realizó con un diámetro de 100mm y se utilizó rejilla desde los 82 a los 106 m de profundidad. Los dos últimos metros perforados del sondeo se sellaron con cemento.

2.2.2. Perfil litológico

De acuerdo con el informe hidrogeológico previo realizado, los materiales atravesados en el sondeo Aliaguilla-II corresponden principalmente a materiales de edad triásica, en concreto, a la formación carbonatada Muschelkalk.

Se perforaron los siguientes materiales:

0-2 m caliza dolomítica pardo grisácea

2-4 m caliza dolomítica con fracción margosa. Nódulos de siderita.

4-6 m Marga con nódulos de siderita.

6-8 m Marga arcillosa con caliza recristalizada y oolitos ferruginosos

- 8-10 m Marga arcillosa con caliza recristalizada y oolitos ferruginosos
- 10-12 m Marga arcillosa con caliza color ámbar recristalizada
- 12-14 m Caliza dolomítica pardo-rojiza, y caliza color ámbar recristalizada
- 14-16 m Caliza dolomítica pardo-rojiza y caliza color ámbar recristalizada
- 16-18 m Caliza dolomítica pardo-rojiza y caliza color ámbar recristalizada
- 18-20 m Caliza dolomítica y dolomía muy recristalizada color pardo, pardo rojizo y ámbar
- 20-22 m Dolomía masiva gris, dolomía muy recristalizada color ámbar y carbonato rojo.
- 22-24 m Caliza roja, dolomía masiva gris, dolomía parduzca, caliza dolomítica con pequeñas fisuras recristalizadas
- 24-26 m Dolomía pardo-rojiza recristalizada, dolomía masiva gris, dolomía masiva rojiza
- 26-28 m Dolomía pardo rojiza recristalizada y dolomía masiva gris
- 28-30 m Caliza dolomítica rosácea, roja con recristalizaciones y dolomía masiva gris
- 30-32 m Caliza dolomítica rosácea, roja con recristalizaciones y dolomía masiva gris
- 32-34 m Dolomía masiva gris, caliza dolomítica pardo rojiza con pequeñas fisuras recristalizadas, presencia de cuarzo cristalizado.
- 34-36 m Dolomía masiva gris, caliza dolomítica pardo rojiza con pequeñas fisuras recristalizadas. Presencia de arcillas.
- 36-38 m Arcilla marrón con algún canto calizo pardo rojizo con pátinas ferruginosas
- 38-40 m Arcilla marrón con algún canto calizo pardo rojizo con pátinas ferruginosas
- 40-42 m Caliza dolomítica pardo rojiza y dolomía masiva gris
- 42-44 m Dolomía masiva gris
- 44-46 m Dolomía masiva gris con pátinas de óxido
- 46-48 m Dolomía masiva gris con pátinas de óxido. Cueva.
- 48-50 m Dolomía masiva gris con laguna pátina de óxido y algún fragmento de caliza pardo anaranjado
- 50-52 m Dolomía masiva gris con alguna pátina de óxido
- 52-54 m Dolomía masiva gris. Algún canto naranja de calcita cristalizada. También caliza gris.
- 54-56 m Dolomía masiva gris. Algún canto naranja de calcita cristalizada. También caliza gris.
- 56-58 m Dolomía masiva gris. Algún canto naranja de calcita cristalizada. También caliza gris.
- 58-60 m Dolomía masiva gris.
- 60-62 m Dolomía masiva gris con alguna pátina de óxido.
- 62-64 m Dolomía masiva gris con alguna pátina de óxido.
- 64-66 m Dolomía masiva gris con alguna pátina de óxido.

66-68 m Dolomía masiva gris con fracción margosa.

68-70 m Dolomía masiva gris con fracción margosa.

70-72 m Dolomía masiva gris parda

72-74 m Dolomía masiva negra y dolomía gris parda.

74-76 m Dolomía masiva negra y dolomía gris parda. Cueva.

76-78 m Caliza y caliza dolomítica color pardo, pardo rojizo y naranja, con abundantes recristalizaciones y pátinas de óxido.

78-80 m Caliza y caliza dolomítica color pardo, pardo rojizo y naranja, con abundantes recristalizaciones y pátinas de óxido.

80-82 m Caliza y caliza dolomítica color pardo, pardo rojizo y naranja, con abundantes recristalizaciones y pátinas de óxido.

82-84 m Caliza y caliza dolomítica color pardo, pardo rojizo y naranja, con abundantes recristalizaciones y pátinas de óxido.

84-86 m Caliza y caliza dolomítica color pardo, pardo rojizo y naranja, con abundantes recristalizaciones y pátinas de óxido. Mayor presencia de la fracción roja. Presencia de dolomía masiva gris.

86-88 m Caliza y caliza dolomítica color pardo, pardo rojizo y naranja, con abundantes recristalizaciones y pátinas de óxido. Mayor presencia de la fracción roja. Presencia de dolomía masiva gris.

88-90 m Sin muestra

90-92 m Sin muestra

92-94 m Sin muestra

94-96 m Caliza pardo rojiza muy recristalizada con alguna pátina de óxido y arcilla naranja de descalcificación.

96-98 m Caliza pardo rojiza muy recristalizada con alguna pátina de óxido y arcilla naranja de descalcificación.

98-100 m Caliza pardo rojiza muy recristalizada con alguna pátina de óxido y arcilla naranja de descalcificación.

100-102 m Lutita marrón chocolate con cantos dolomíticos anaranjados y dolomía masiva gris. Matriz arcillosa marrón claro.

102-104 m Matriz arcillosa naranja y dolomía pardo verduzca con recubrimientos rojos.

104-106 m Arcilla marrón anaranjada, lutita marrón chocolate y cantos de caliza dolomítica.

106-108 m Arcilla gris y caliza dolomítica anaranjada y recristalizada. Yeso bandeado gris, negro y blanco.

108-110 m Arcilla gris con algo de lutita chocolate, cantos de dolomía masiva gris, caliza naranja y yeso bandeado.

110-112 m Arcilla gris con algo de lutita chocolate, cantos de dolomía masiva gris, caliza naranja y yeso bandeado.

112-114 m Menos proporción de arcilla, cantos calizos muy triturados y algún canto de caliza dolomítica con recristalizaciones.

114-116 m Aumenta la proporción de arcilla gris. Algún canto de caliza dolomítica con recristalizaciones.

116-118 m Arcilla gris y algún canto de caliza dolomítica.

Se corta agua por primera vez a los 83 m de profundidad, apreciándose un aumento de caudal a los 90-91 m.

Las formaciones atravesadas corresponden al Muschelkalk (Triásico)

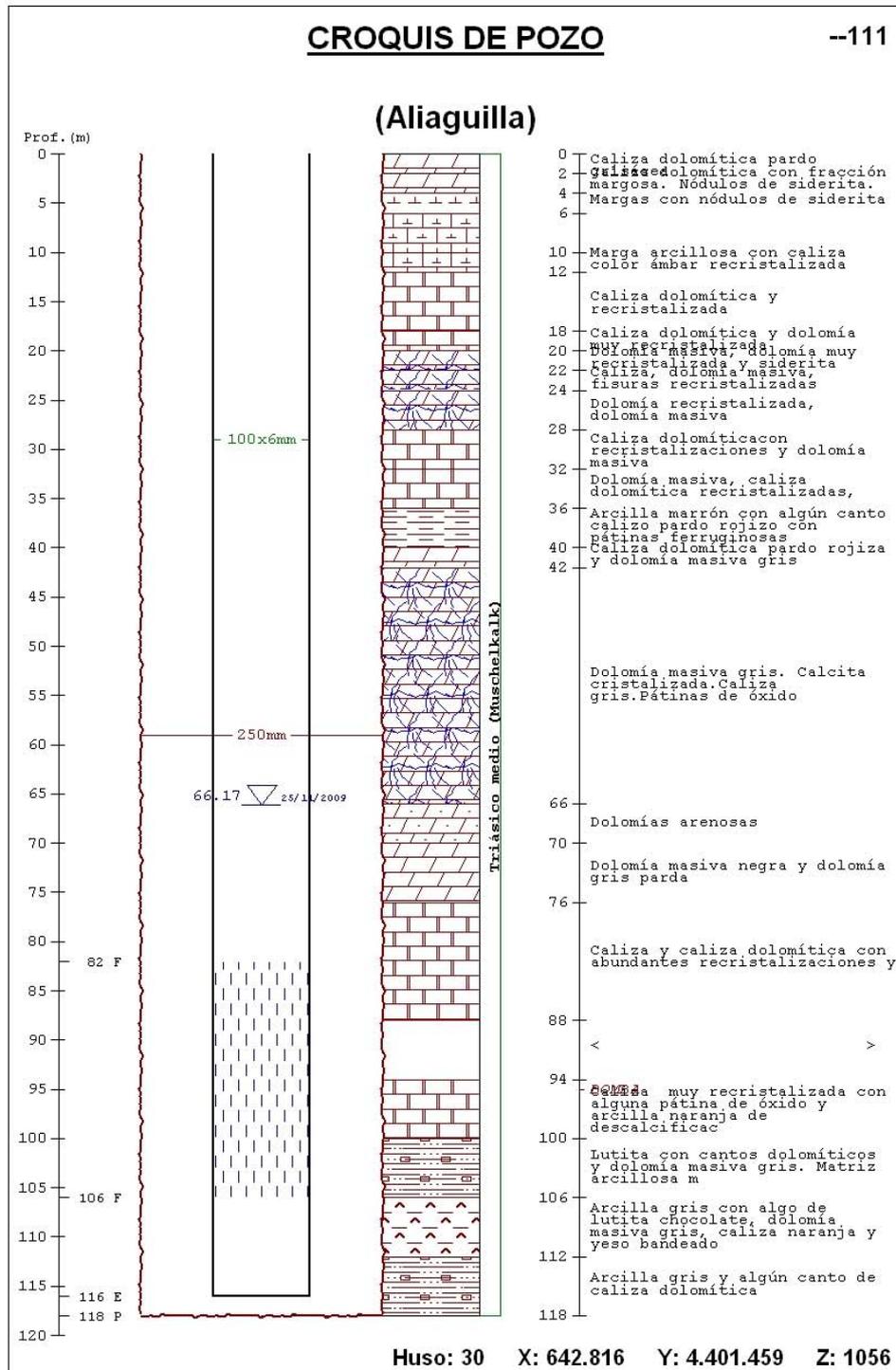


Figura 2. Esquema del sondeo nuevo de Aliaguilla.

2.2.4. Hidroquímica

Todas las aguas analizadas, excepto las de la fuente de Torrelahuerta, muestran elevadas mineralizaciones con conductividades entre 1143 y 3263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y contenidos en sulfatos de 512 a 1680 mg/L, que sobrepasan los valores recomendados en la legislación (250 mg/l). La facies hidroquímica para todas ellas es sulfatada cálcica estando asociadas a materiales yesíferos del Muschelkalk y Keuper. Como se observa en el diagrama de Piper, las características hidroquímicas finales del agua del sondeo nuevo son muy similares a las de la actual captación pero mejorando notablemente el contenido en nitratos que pasa a ser de 45 mg/l a 17 mg/l. Se recomienda en la medida de lo posible mezclar el agua del sondeo nuevo, con un contenido en sulfatos de 548 mg/l, con el agua de la fuente, de facies bicarbonatada sulfatada cálcica y que presenta un bajo contenido en nitratos (4 mg/l) y sulfatos (110 mg/l).

F_Toma	Muestra	DQO	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH	C.E.	SiO2	B
09-feb-10	P- viejo		21,0	512,0	157,0		45,0	12,0	58,0	198,0	3,0	7,7	1203	9,8	0,1
09-feb-10	F-Torrelah.		11,0	110,0	172,0	4,8	4,0	3,0	21,0	78,0	0,0	8,4	586	7,2	
25-nov-09	S-nuevo100	2,0	12,0	616,0	137,0		14,0	12,0	60,0	218,0	3,0	7,5	1159	9,2	0,1
25-nov-09	S-nuevo106	1,3	12,0	648,0	126,0		15,0	12,0	62,0	224,0	5,0	7,5	1206	9,5	0,1
25-nov-09	S-nuevo118	0,7	14,0	1680,0	47,0		15,0	15,0	69,0	630,0	8,0	7,8	3263	9,7	0,2
29-dic-09	S-nuevo final	0,6	10,0	548,0	199,0		13,0	9,0	53,0	218,0	2,0	7,4	1143	9,2	0,1

Tabla 1.- Componentes químicos (en mg/L), conductividad (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) del sondeo a distintas profundidades y final y actual abastecimiento (fuente y pozo)..

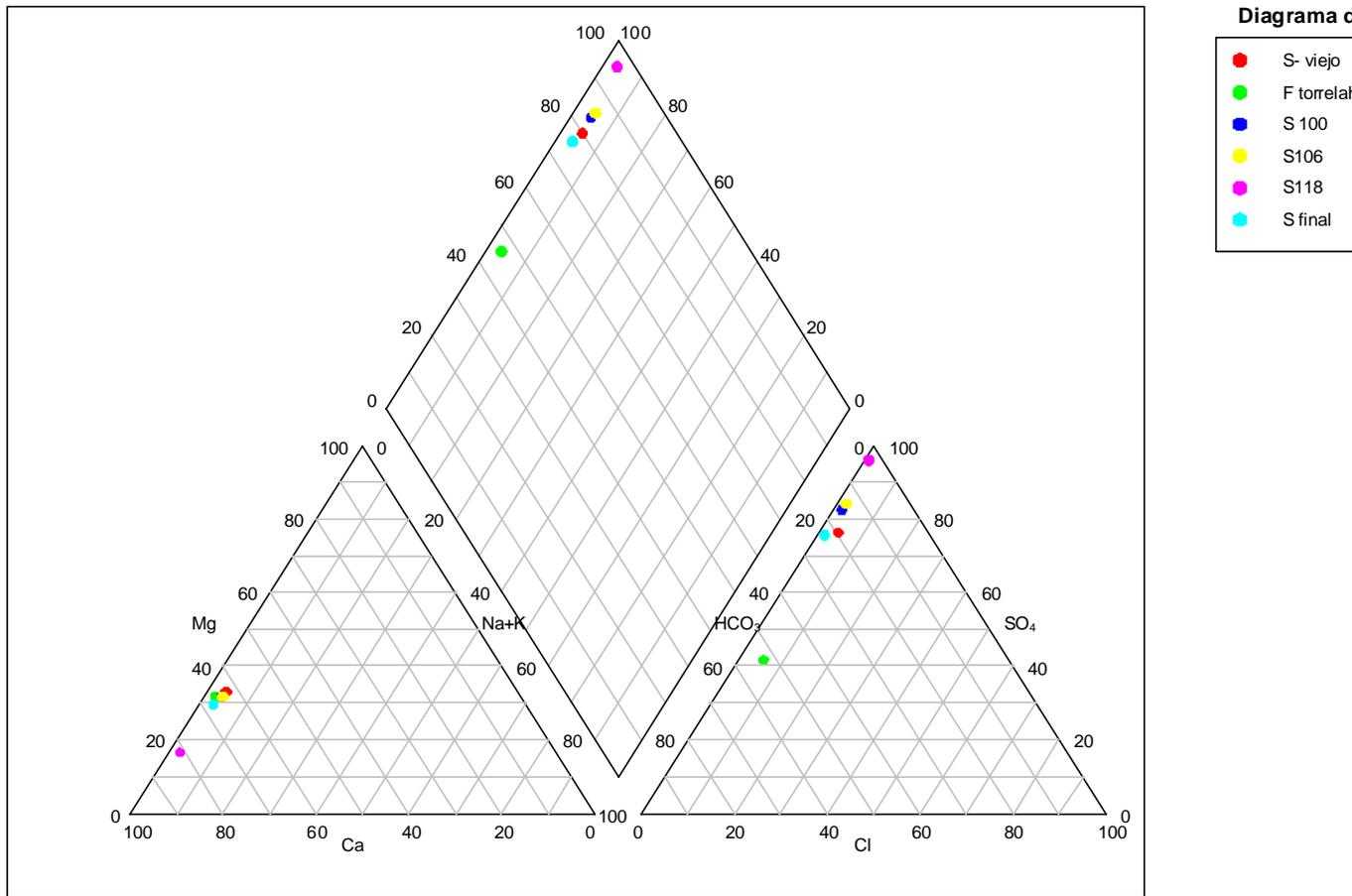


Figura 2.- Diagrama de Piper-Hill-Langelier donde se representan las aguas del nuevo a distintas profundidades durante la perforación (100, 106, 118) y del agua final un mes acabada la perforación.. Se muestran también las aguas del pozo y de la fuente del abastecimiento existente.

2.2.5. Consideraciones hidrogeológicas

Desde el punto de vista hidrogeológico el sondeo afecta al acuífero triásico denominado Transversal de Higuera –Talayuela, incluido en la Unidad Hidrogeológica **UH 08.18 Las Serranías**. Con la nueva delimitación de Masas de Agua Subterránea (MAS) elaborado por la Confederación Hidrográfica del Júcar, queda englobado en la **MAS 080.134 (Mira)**, denominada antes de la última revisión como **MAS 08.127 (Mira)**.

La profundidad del nivel piezométrico para el sondeo Aliaguilla-II es de 66,17 m (989,83 m.s.n.m.).

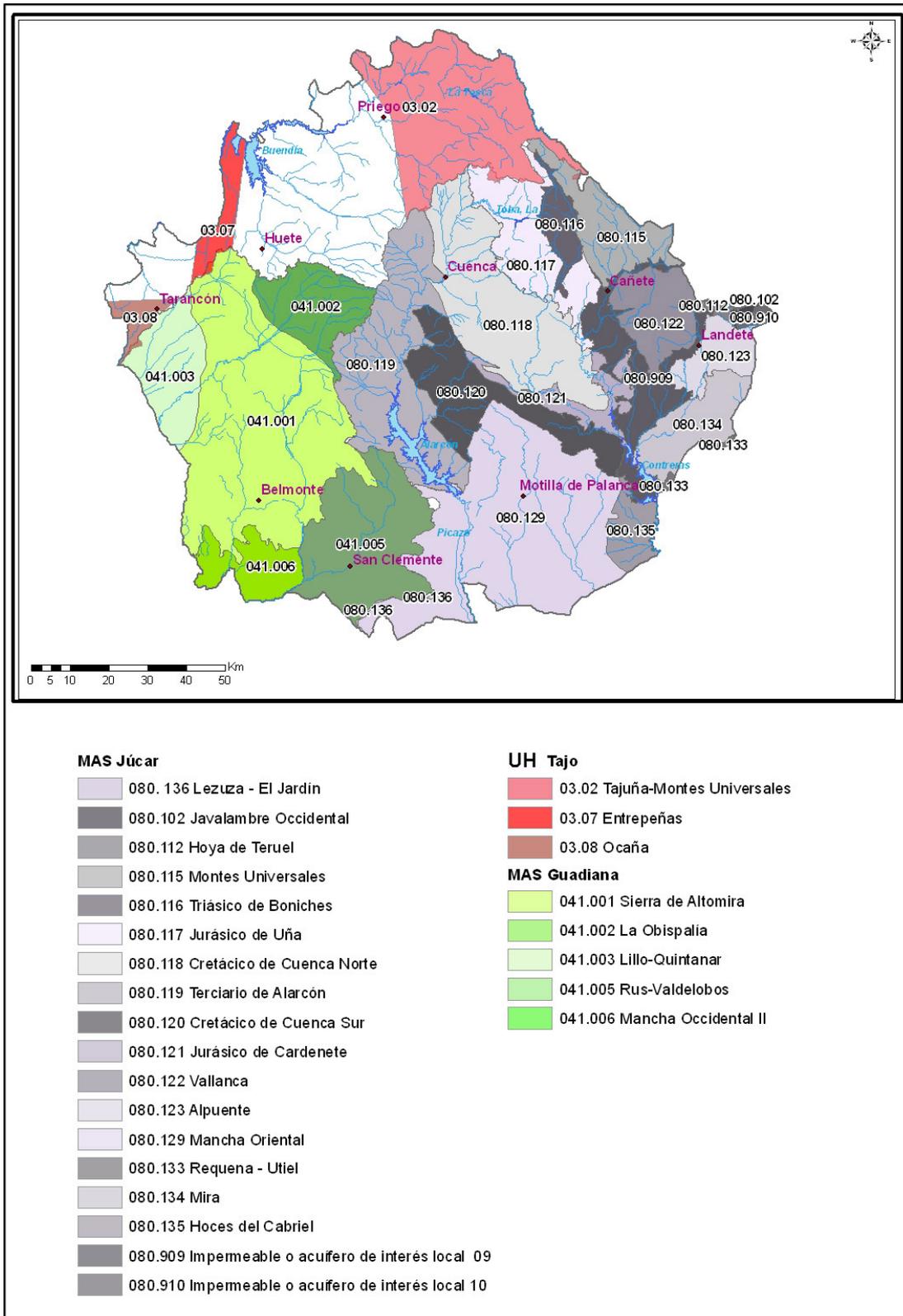


Figura 3. Masas de agua subterránea y Unidades Hidrogeológicas de la Provincia de Cuenca

2.2.6. Resultados de los ensayos de bombeo

BOINS SL realizó el 22 de Diciembre de 2009 el ensayo de bombeo del sondeo Aliaguilla- II-, de 118 m de profundidad. Los parámetros hidráulicos obtenidos tras su interpretación arrojan una elevada transmisividad del orden de 10000 m²/día, calculada según la fórmula experimental de Galofré. Los descensos provocados en el nivel piezométrico son muy pequeños. Tras 24h bombeando con caudales progresivamente mayores (6, 11 y 17 l/s) el descenso provocado en el nivel piezométrico en el pozo es de apenas 0,17 m. Al minuto 1 del cese del bombeo el nivel se recuperó a los 66,19 y en el minuto 40 se recuperó el nivel inicial de 66,17. Con esta información se puede asegurar un caudal de 7 l/s, caudal requerido para el abastecimiento de la población.

2.3. Resultados obtenidos

El sondeo Aliaguilla-II alcanzó una profundidad final de 118 m. Dicho sondeo se consideró positivo y, tras la prueba de bombeo se recomienda un caudal de explotación de 7 L/s.

Se desconoce la calidad química y bacteriológica del agua para el consumo humano, ya que aún no se ha realizado el correspondiente informe sanitario por parte de la Junta de Castilla-La Mancha. No obstante en los análisis químicos realizados por el IGME el contenido en nitratos no supera los 50 mg/L. El contenido en sulfatos es elevado (548 mg/l) por lo que se recomienda la mezcla de esta agua con la procedente de la fuente de Torrelahuerta, con un contenido en sulfatos de 110 mg/l.

3. PROPUESTA DE LOS PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

3.1. Marco hidrogeológico regional

La provincia de Cuenca participa de tres cuencas hidrográficas distintas: Guadiana, Júcar y Tajo que a su vez quedan divididas en distintas Masas de Agua Subterránea (MAS) tal y como se muestra en la Figura 3. Regionalmente, la zona considerada en este estudio se enmarca dentro de la Masa de Agua Subterránea 080.134 “Mira”, perteneciente a la cuenca hidrográfica del Júcar, denominada con anterioridad como MAS 08.127 “Mira”. Pertenece a la unidad hidrogeológica 08.18 “Las Serranías” la cual se desglosa en

varios acuíferos. El sondeo en cuestión, explota el acuífero “Transversal Higuieruelas-Talayuelas”, de tipo mixto y con una potencia media de 200 m. Este acuífero está constituido por rocas carbonatadas (calizas y dolomías) del Triásico medio (Muschelkalk) y su permeabilidad es en general alta por fisuración y karstificación. Los niveles piezométricos se encuentran entre 190 – 990 msnm (DGOH-IGME, 1988), estimándose para la zona de Aliaguilla en 975 msnm.

Según la base de datos del IGME, el abastecimiento del municipio de Aliaguilla, cuya extensión (103,7 km²) está ocupada en un 80 % por la unidad hidrogeológica 08.18, se realiza a partir de aguas subterráneas: un sondeo y un manantial.

Nº de puntos de cada tipo			
Sondeos	Pozos	Galerías	Manantiales
1	0	0	1

Las facies hidroquímicas de este sistema acuífero son bicarbonatada cálcica y/o magnésica, con conductividades que varían entre 483 y 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una concentración media de nitratos de 5 mg/l.

Se estima que el nivel piezométrico regional de la unidad se encuentra entre los 990 y 190 msnm estimándose para la zona de Aliaguilla en 975 msnm.

El volumen de agua de la unidad utilizado al año se calcula que es de 2 Hm³/año, procedente de bombeos y utilizada para abastecimiento urbano (0,8 Hm³/año) y agrícola (1,2 Hm³/año)

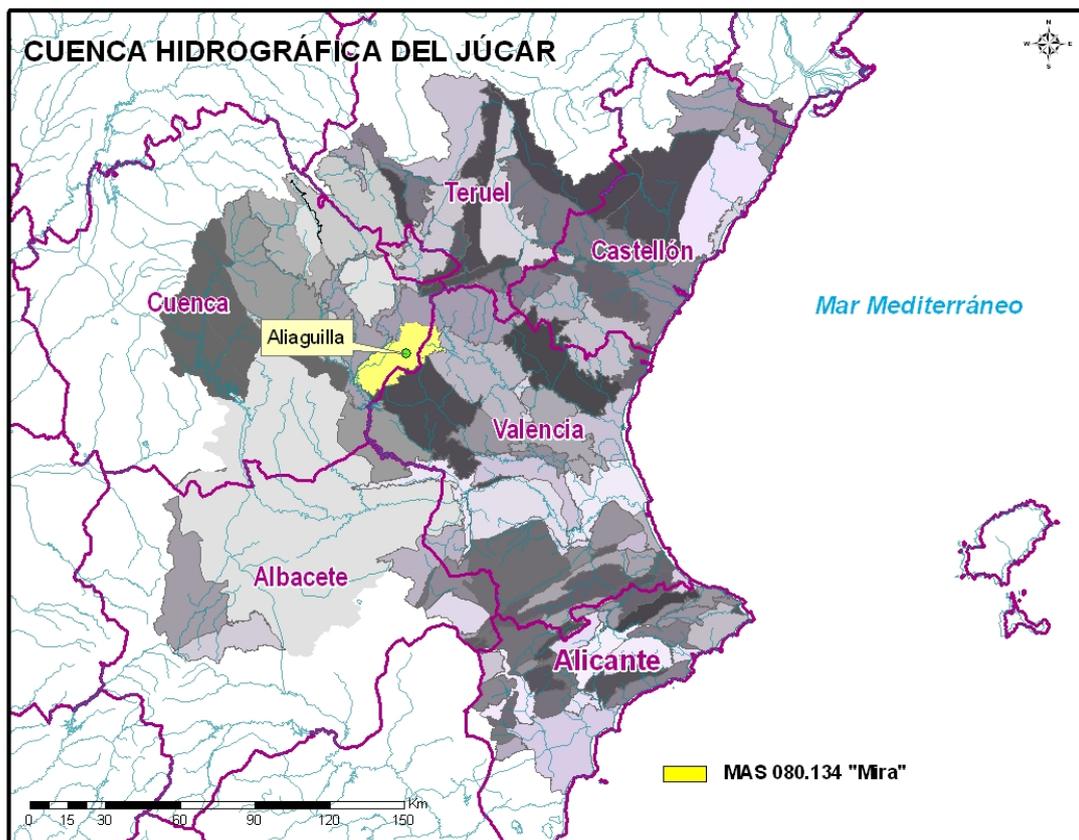


Figura 4. Cuenca hidrográfica del Júcar y delimitación de sus Masas de Agua subterránea . En amarillo las MAS 08.134 “Mira”.

3.2. Marco hidrogeológico local

Las unidades más interesantes desde el punto de vista de explotación de las aguas subterráneas son las unidades mesozoicas carbonatadas jurásicas y triásicas permeables por fisuración y disolución. Tanto la fuente de Torrelahuerta y los sondeos nuevo y antiguo drenan los materiales carbonatados del Muschelkalk. Según las cota piezométricas que se disponen de los puntos acuíferos ligados a estos materiales podemos establecer una dirección de flujo local hacia el SE, siendo la cota piezométrica de la fuente de 1060 msnm, del sondeo nuevo de 990 msnm y del sondeo viejo de 975 msnm.

Asociados a los escasos afloramientos de Cretácico, también aparecen algunas fuentes. De acuerdo con el mapa de permeabilidad del SIAS, a estas litologías les correspondería una permeabilidad de alta a muy alta. Asociadas a las areniscas del Buntsandstein también aparece alguna fuente en el entorno, a las que se otorga una permeabilidad media.

La naturaleza de todas las aguas analizadas es sulfatada cálcica, que aunque drenan los materiales carbonatados del Muschelkalk se ven afectadas por los yesos del Keuper o bien por niveles yesíferos intercalados entre los carbonatos.

3.3. Vulnerabilidad del acuífero

3.3.1 Inventario de focos de contaminación

El principal problema del abastecimiento de la localidad de Aliaguilla consistía en la calidad deficiente del agua suministrada a la población, con niveles elevados de nitratos y sulfatos. En el entorno de la población existen granjas de porcino (aunque muchas hoy sin actividad) y conejos, siendo la aplicación de dichos purines como fertilizante la responsable de la presencia de nitratos en las aguas. El antiguo sondeo se ubicaba en el núcleo urbano, muy cercano a los campos de cultivo y granjas y la mezcla con las aguas procedentes de la Fuente de Torrelahuerta no era suficiente para obtener un agua de buena calidad. La retirada del nuevo sondeo a una zona elevada y distante de los campos pretende subsanar dicho problema.

Los potenciales focos de contaminación detectados en la zona se muestran en la Tabla 1 y Figura 5.

Foco contaminante	UTM_X	UTM_Y
Aguas residuales sin depurar (ARU)	644156	4400461
Cementerio	644260	4400137
Futura depuradora en construcción (ARU)	644615	4400408
Gasolinera	643388	4400137

Tabla 1. Potenciales focos de contaminación en el entorno de Aliaguilla.

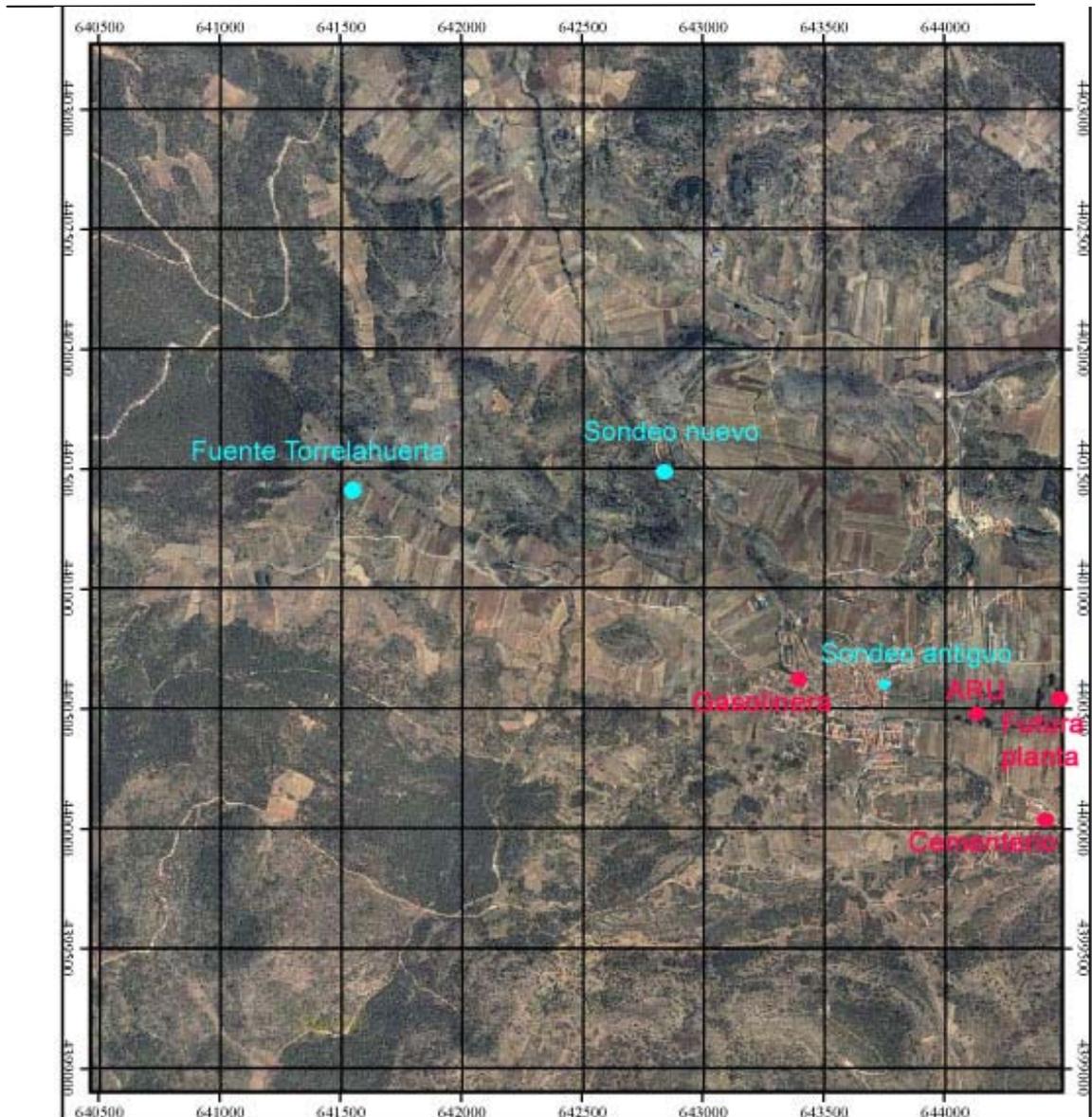


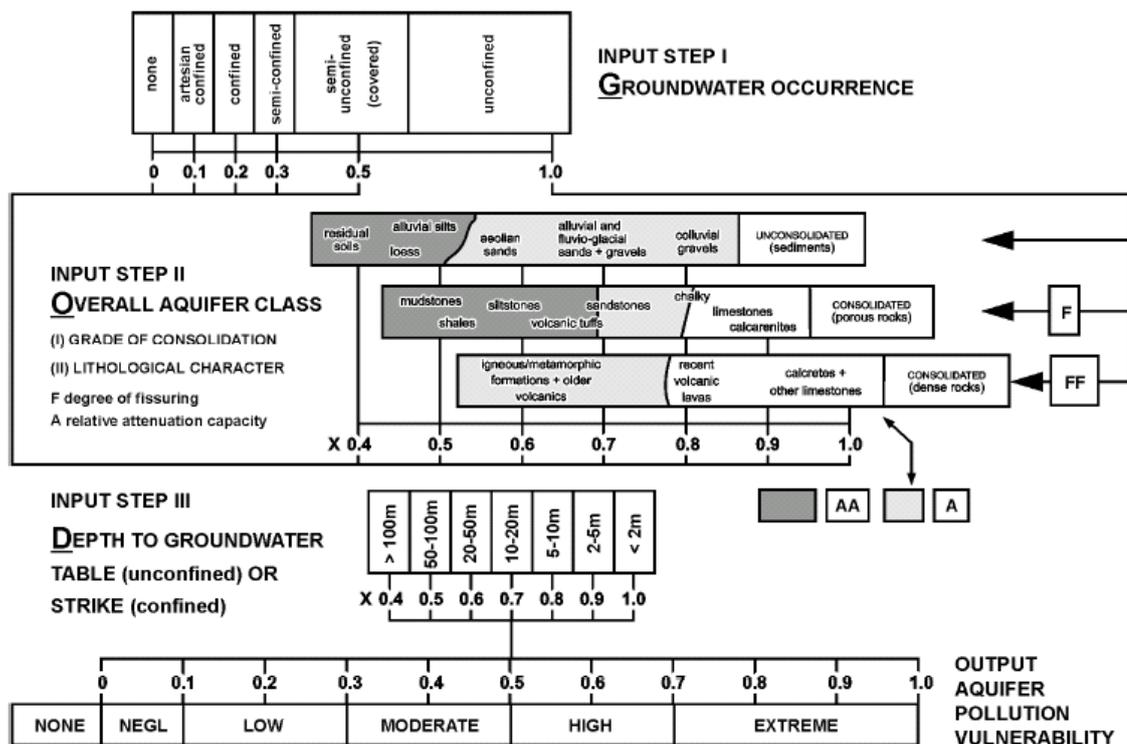
Figura 5. Potenciales focos de contaminación en el entorno de Aliaguilla

3.1 Estimación de la vulnerabilidad

Una de las metodologías más adecuadas para la determinación de la vulnerabilidad es la realización de una cartografía de vulnerabilidad. Para su realización existen distintos métodos, como el método GOD utilizado en el presente estudio. Este método propuesto por Foster (1987) se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables (G, O, D) las cuales conforman el acrónimo:

- G- tipo de acuífero.
- O- litología de cobertura del acuífero
- D- profundidad del agua o del acuífero.

En la Figura 7 (Foster e Hirata, 1991) se reproduce el diagrama para cualificar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. Los tres índices que se multiplican entre sí, resultan en uno final que puede variar entre 1 (vulnerabilidad máxima) y 0 (mínima).



GOD empirical system for the rapid assessment of aquifer contamination vulnerability (from Foster, 1987).
Editorial note: Corrections received from the author
Step I: substitute "overflowing" for "artesian confined"; Step II: title should be "Overlying Lithology"; Output: omit "none".

Figura 6. Esquema de la valoración del índice GOD.

Tanto el sondeo nuevo como las dos captaciones antiguas (una fuente y un sondeo de escasa profundidad) drenan los materiales carbonatados del Muschelkalk. La fuente mana en la zona de contacto de los carbonatos con las arcillas del Keuper. El sondeo antiguo sito en el pueblo, de 15 m de

profundidad, se ubica sobre las arcillas. El agua proviene de los carbonatos pero también circula a través de las arcillas. En épocas de abundantes lluvias el sondeo se convierte en fuente y constituye una surgencia natural del acuífero carbonatado.

En general, se va a considerar que el acuífero se encuentra confinado ó semiconfinado ($G = 0,3$) ya que aunque los materiales del Muschelkalk afloren, éstos se confinan por tramos arcilloso margosos de la misma serie carbonatada. Sólo en la zona de contacto del Muschelkalk con el Keuper donde surge la fuente de Torrelahuerta, el acuífero se considerará libre ($G = 1$)

Las areniscas y microconglomerados del Buntsandstein son estratigráficamente más antiguos que los materiales del acuífero pero se encuentran topográficamente más elevados. En estas celdas habría que considerar que parte del drenaje superficial de estas zonas elevadas llega a los carbonatos del Muschelkalk y parte se infiltrará al acuífero pero en cuanto a la naturaleza del acuífero, éste se considerará inexistente ($G = 0$).

En cuanto a la capacidad protectora que ofrecen los materiales que se encuentran por encima del acuífero, ésta variará para cada celda. Así, cuando se trate de los materiales carbonatados karstificados y/o fisurados del Muschelkalk se le otorga un valor elevado de $O = 0,9$. Si por encima del acuífero se suceden los materiales detríticos arcilloso-yesíferos del Keuper, este valor disminuirá ($G = 0,5$). En este caso, aunque los materiales arcilloso-yesíferos supondrían una barrera natural a una potencial contaminación, también suponen una fuente natural de sulfatos y así disminuir la calidad química del agua.

La profundidad a la que se encuentra el techo de la formación acuífera variará para cada celda y se ha estimado en función de la profundidad a la que se cortó agua por primera vez durante la perforación del sondeo (83m), de la cota de las fuentes existentes y de la topografía.

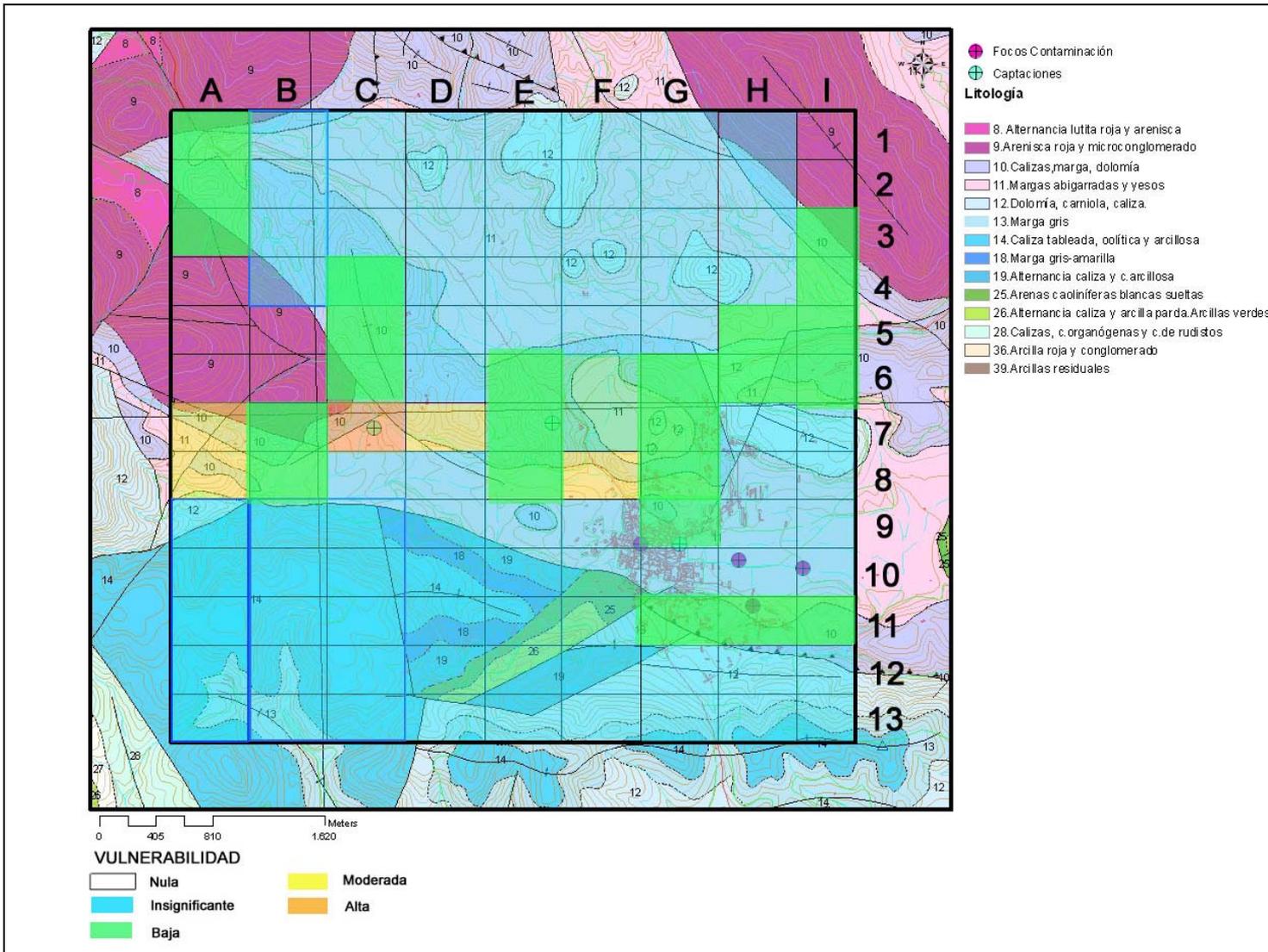


Figura 7. Cartografía de vulnerabilidad empleando el método GOD y ubicación de los potenciales focos de contaminación.

La cartografía obtenida muestra una vulnerabilidad mayoritariamente insignificante para las zonas en las que aflora tanto el Keuper (arcilloso) como el Jurásico y el Cretácico (carbonatado en su mayor parte).

Los materiales acuíferos del Muschelkalk también presentan una vulnerabilidad de insignificante a baja, debido a la profundidad a la que se encuentra el nivel piezométrico y al semiconfinamiento de éste.

Solo cuatro celdas presentan una vulnerabilidad moderada y una celda vulnerabilidad alta, coincidente

con la zona de contacto del Muschelkalk con el Keuper y en la que presumiblemente el nivel freático se encuentra cerca de la superficie, como así sucede en la celda donde se ubica la fuente de Torrelahuerta. Ninguno de los potenciales focos de contaminación se encuentra en estas celdas de mayor vulnerabilidad.

3.3. Perímetro de protección de las captaciones

La delimitación de zonas de protección de las captaciones para abastecimiento urbano se viene revelando como práctica fundamental para asegurar tanto la calidad del agua suministrada a la población como la gestión sostenible del recurso agua.

En el presente documento se proponen los perímetros de protección en torno a las captaciones utilizadas para el abastecimiento de Aliaguilla, para proteger tanto la **calidad** como la **cantidad** de agua necesaria para satisfacer la demanda. En el primer caso, la protección tiene en cuenta la contaminación puntual o difusa que pudiera poner en peligro la calidad del agua del abastecimiento, y en el segundo caso, la protección considera la afección provocada por otros pozos o por bombeos intensos no compatibles con el sostenimiento de los acuíferos.

Para lograr ambos objetivos se suele recomendar el diseño de un perímetro dividido en tres zonas de protección en función de distintos criterios, los cuales habrá que establecer para cada caso.

En el desarrollo de este proyecto, la definición de los perímetros de protección de las distintas captaciones se basa fundamentalmente en **criterios hidrogeológicos**, apoyándose además, en los cálculos realizados siguiendo el **método de Wyssling**, que tiene en cuenta el tiempo de tránsito. Este método permite evaluar el tiempo que un contaminante tardaría en llegar a la captación que se quiere proteger. Como resultado se obtiene una zonación dentro del perímetro de protección de las distintas captaciones en tres zonas las cuales contarán con restricciones de uso tanto mayor cuanto más próximas se encuentren a las captaciones:

- Zona inmediata o de restricciones absolutas: tiempo de tránsito 1 día o área fija de 100-400 m². Suele estar vallada.
- Zona próxima o de restricciones máximas: tiempo de tránsito 50 días. Protege de la

contaminación microbiológica con criterios hidrogeológicos. En algunos estudios se ha usado el descenso del nivel piezométrico o el poder autodepurador.

- Zona alejada o de restricciones moderadas: se usa el tiempo de tránsito de varios años en función de los focos contaminantes, criterios hidrogeológicos o ambos.

La aplicación de métodos hidrogeológicos, exclusivamente, delimitaría el área de alimentación de cada captación, pero no permite su subdivisión en diferentes zonas, como sí lo posibilita el empleo de métodos que consideran el tiempo de tránsito.

Con la combinación de ambos métodos, la definición del perímetro de protección permite asegurar que la contaminación será inactivada en el trayecto entre el punto de vertido y el lugar de extracción del agua subterránea y, al mismo tiempo, se proporciona un tiempo de reacción que permita el empleo de otras fuentes de abastecimiento alternativas, hasta que el efecto de la posible contaminación se reduce a niveles tolerables.

El método para calcular el tiempo de tránsito aplicado en este caso es el desarrollado por Wyssling, consistente en el cálculo de la zona de influencia de una captación y búsqueda posterior del tiempo de tránsito deseado. El método es simple y supone que el acuífero se comporta como un acuífero homogéneo (este hecho puede considerarse válido en primera aproximación para una escala de detalle). Por ello en este trabajo no se considera de forma exclusiva, sino como apoyo en la definición de perímetros aplicando criterios hidrogeológicos.

La resolución del método precisa conocer las siguientes variables:

i = gradiente hidráulico

Q = caudal de bombeo (m^3/s)

k = permeabilidad horizontal (m/s)

m_e = porosidad eficaz

b = espesor del acuífero (m)

A partir de estos datos se calcula el radio de influencia o de llamada (x_0), la velocidad efectiva (v_e) y la distancia (s) en metros recorrida entre un punto y la captación en un determinado tiempo, o tiempo de tránsito (t).

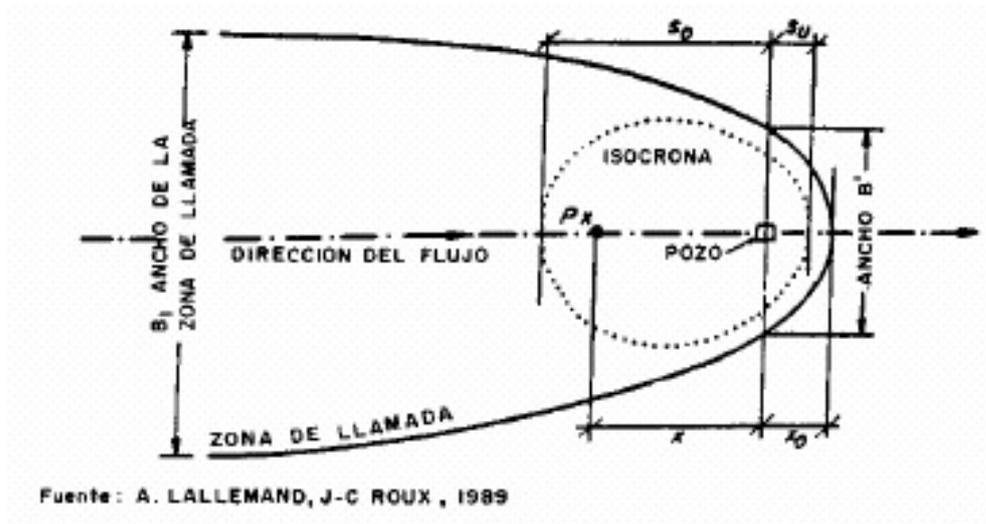


Figura 8. Método de Wyssling para el cálculo del tiempo de tránsito

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Aliaguilla no se dispone de datos hidráulicos precisos, utilizando valores medios de origen bibliográfico acordes con la información litológica e hidrogeológica existente (columnas litológicas de sondeos, reconocimientos de campo, etc.). El gradiente hidráulico se ha establecido en función de los datos de campo que se disponen. Asimismo, como espesor saturado se ha tomado el encontrado en el sondeo en cuestión.

Aliaguilla	
Espesor del acuífero (m)	40
Porosidad eficaz	0.005 (Iglesias,
Permeabilidad horizontal (m/día)	1
Permeabilidad horizontal (m/s)	1.16×10^{-3}
Caudal de bombeo (l/s)	7
Caudal de bombeo (m ³ /s)	0.007
Gradiente hidráulico	0.02

Tabla 2. Parámetros utilizados para el cálculo del tiempo de tránsito según el método Wyssling

3.3.1 Perímetro de restricciones absolutas

Para la definición de **zona de restricciones absolutas** se propone el círculo cuyo centro es la captación a proteger y cuyo radio (sI) es la distancia que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en un día.

Esta zona tendrá forma circular u oval, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas. Sin embargo, se va a representar de forma cuadrangular para que resulte más fácil su manejo a la hora de definir la superficie. En esta zona se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación. Las coordenadas del perímetro vallado se encuentran en la Tabla 10.

Además, para proteger la boca del sondeo y captaciones y sus proximidades se recomienda la construcción de una caseta en caso que no la hubiere, el cierre de la cabeza de la tubería del sondeo y la instalación de un drenaje perimetral: suave cono con una inclinación para la circulación de agua, con un diámetro de unos 2 m y aislamiento del exterior.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para s.

Aliaguilla	
S0 (aguas arriba)	57
Su (aguas abajo)	17

Tabla 3. Valores del radio del perímetro de restricciones absolutas

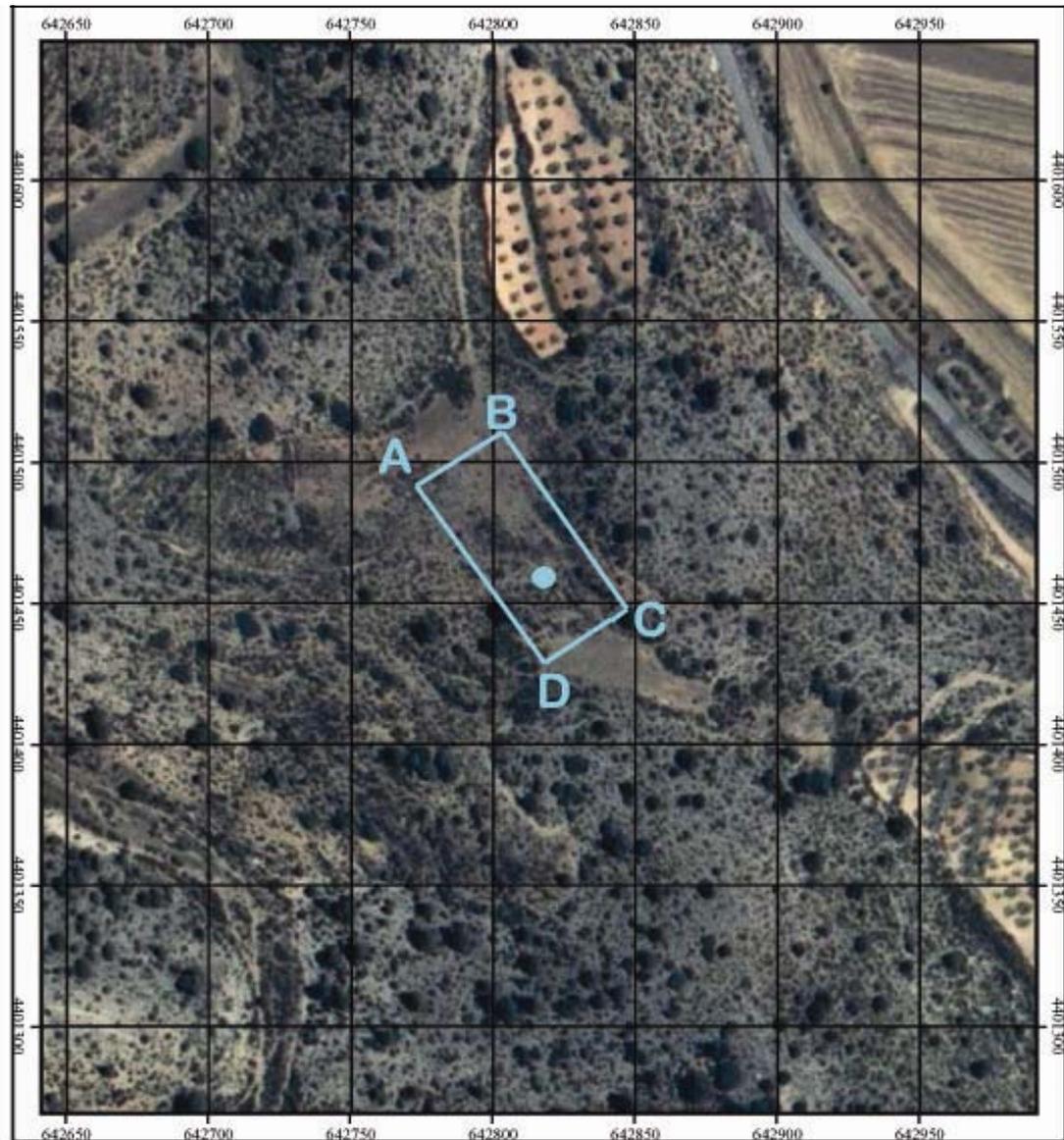


Figura 9. Mapa de la propuesta del perímetro de zona inmediata y de restricciones absolutas

3.3.2 *Perímetro de restricciones máximas*

Para determinar **la zona de protección próxima** se considera como el espacio (sII) que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 60 días. Queda delimitada entre la zona de protecciones absolutas y la isocrona de 60 días.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para sII.

Aliaguilla	
S0 (aguas arriba)	2429
Su (aguas abajo)	24

Tabla 4. Valores del radio del perímetro de restricciones máximas.

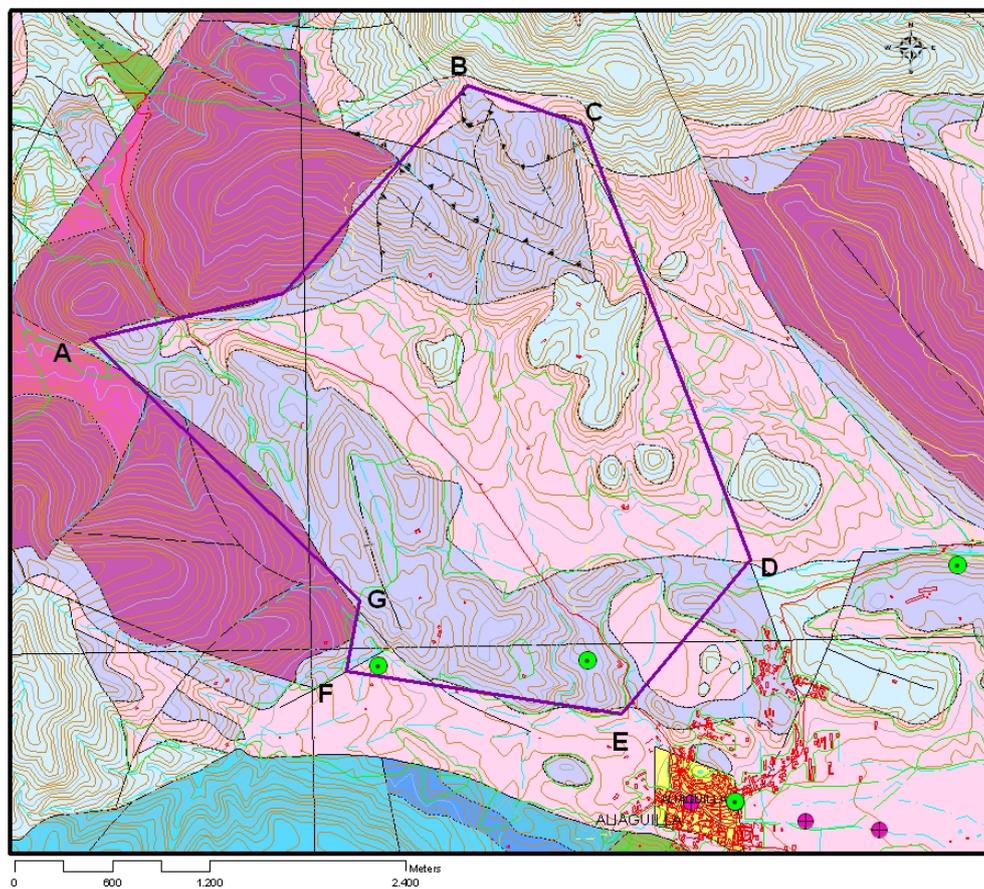


Figura 10. Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones máximas.

Por criterios de seguridad y atendiendo a criterios hidrogeológicos, se delimitará como zona de restricciones máximas, una superficie de forma poligonal con el eje mayor en la dirección principal del

flujo subterráneo (localmente en el área de NW a SE) que se extenderá 3500 m aguas arriba de la captación y 350 m aguas abajo, con el propósito de proteger el área en la que afloran los carbonatos del Muschelkalk. Las coordenadas de dicho perímetro se encuentran en la Tabla 6.

3.3.3 Perímetro de restricciones moderadas

La zona de restricciones moderadas limita el área comprendida entre la zona de protección próxima (radio sII) y la isocrona de 10 años (radio sIII). Cuando el límite de la zona de alimentación del sondeo esté a una distancia menor que la citada isocrona, el límite de la zona lejana coincidirá con el límite de la zona de alimentación.

Aliaguilla	
S0 (aguas arriba)	146351
Su (aguas abajo)	24.01

Tabla 5. Valores del radio del perímetro de restricciones moderadas

Los resultados obtenidos con este método se consideran muy elevados, puesto que sobrepasan con mucho la divisoria de aguas y la zona de alimentación del sondeo. Por tanto, se delimitará como zona de restricciones moderadas una superficie basada en criterios hidrogeológicos. La zona está afectada por una intensa tectónica que compartimenta los materiales y posibles acuíferos, a la vez que coloca materiales más antiguos topográficamente por encima de los materiales acuíferos del Muschelkalk. Así, se extenderá el perímetro abarcando tanto los materiales más antiguos (Busnstein) como los más modernos (Keuper y Jurásico) considerando la posible conexión entre acuíferos y teniendo en cuenta la divisoria de agua así como las cotas piezométricas de los puntos del inventario. Esta superficie tendrá una forma poligonal, con el eje mayor en la dirección principal del flujo subterráneo que se extenderá unos 4500 m aguas arriba de la captación y unos 350 m aguas abajo.

Las coordenadas de dicho perímetro se encuentran en la Tabla 6 y su representación cartográfica en la Figura 11.

3.3.4 Perímetro de protección de la cantidad

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

Para la protección del sondeo nuevo de abastecimiento a Aliaguilla se calcula el descenso en el nivel piezométrico que podrían provocar sondeos de semejantes características a las del sondeo a proteger, situados a determinadas distancias.

Para los cálculos de descensos se utiliza la fórmula de Jacob:

$$D = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

D = Descenso del nivel piezométrico

T = Transmisividad = 10000 m²/día (dato procedente del ensayo de bombeo realizado)

Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger: 7 l/s) = 605 m³/día

t = Tiempo de bombeo (generalmente 120 días)

r = Distancia al sondeo de captación (1000 m)

S = Coeficiente de almacenamiento = 0.005

Con los datos indicados se obtiene el descenso provocado por un sondeo, que explote 7 l/s durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia. El descenso obtenido de 0.03 m se considera totalmente asumible para este sondeo.

En la Figura 11 se representan gráficamente las distintas zonas de protección definidas dentro del perímetro de protección de los sondeos de abastecimiento a Cañete y en la Tabla 11 las actividades restringidas en cada área.

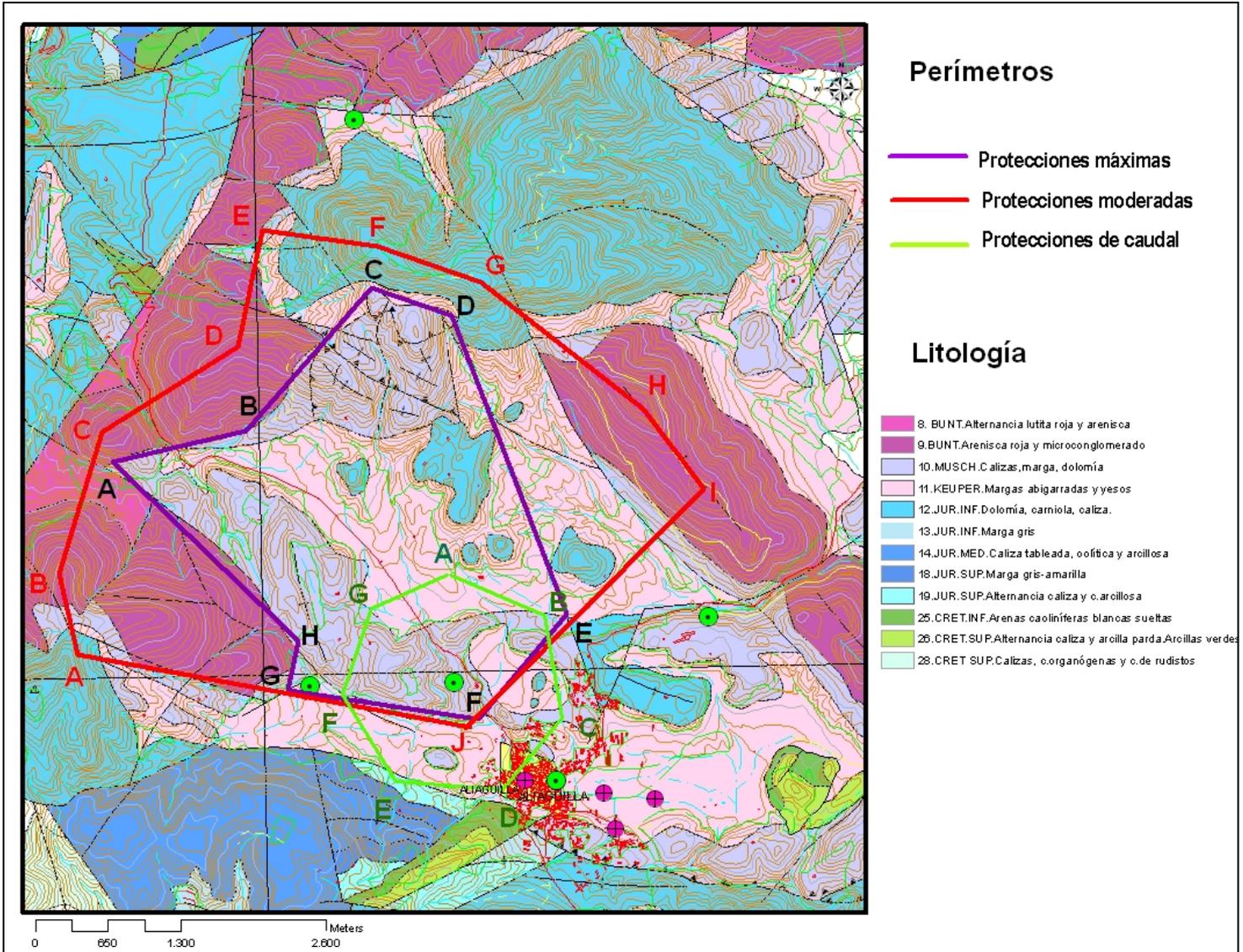


Figura 11. Resumen cartográfico de los perímetros de protección propuestos.

	Nº PUNTO	UTM_X	UTM_Y	z
ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS	A	642772	4401492	1056
	B	642806	4401508	1056
	C	642847	4401448	1056
	D	642818	4401429	1056
ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS	A	639733	4403408	1010
	B	640951	4403709	1060
	C	642067	4404999	1290
	D	642796	4404759	1260
	E	643813	4402057	1020
	F	643017	4401107	1010
	G	641325	4401395	1070
	H	641419	4401830	1100
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS	A	639461	4401711	1310
	B	639282	4402424	1310
	C	639663	4403684	1080
	D	640887	4404481	1210
	E	641113	4405515	1120
	F	642088	4402384	1410
	G	643100	4405075	1400
	H	644478	4403934	1240
	I	645050	4403185	1180
	J	642932	4401045	1010
ZONA DE RESTRICCIONES DE CAUDAL	A	642778	4402436	1078
	B	643645	4402044	1082
	C	643800	4401128	1027
	D	643253	4400500	1010
	E	642266	4400593	1050
	F	641827	4401318	1050
	G	642076	4402091	1050

Tabla 6. Coordenadas UTM propuestas para los distintos perímetros de protección de los sondeos de abastecimiento a Aliaguilla.

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 7.

	DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES	ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS	ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS			ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS		
		Prohibido	Prohib.	Cond.*	Permit.	Prohib.	Cond.*	Permit.
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 y refugios de ganado	•	•				•	
	Silos	•	•				•	
ACTIVIDADES URBANAS	Vertidos superficiales de aguas residuales urbanas sobre el terreno	•	•				•	
	Vertidos de aguas residuales urbanas en fosas sépticas, pozos negros o balsas	•	•			•		
	Vertidos de aguas residuales urbanas en cauces públicos	•	•			•		
	Vertido de residuos sólidos urbanos	•	•			•		
	Cementerios	•	•				•	
ACTIVIDADES INDUSTRIALES	Asentamientos industriales	•	•				•	
	Vertido de residuos líquidos industriales	•	•			•		
	Vertido de residuos sólidos industriales	•	•			•		
	Almacenamiento de hidrocarburos	•	•				•	
	Depósito de productos radiactivos	•	•			•		
	Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	•	•			•		
	Conducciones de líquido industrial	•	•			•		
	Conducciones de hidrocarburos	•	•			•		
	Apertura y explotación de canteras	•	•				•	
	Relleno de canteras o excavaciones	•	•				•	
OTRAS	Campings	•	•				•	
	Acceso peatonal	•			•			•
	Transporte redes de comunicación	•		•			•	

* El proyecto de actividades deberá incluir informe técnico sobre las condiciones que debe cumplir para no alterar la calidad existente del agua subterránea.

Tabla 7. Definición de las actividades restringidas o prohibidas dentro del perímetro de protección.

Tras la definición de los correspondientes perímetros de protección, se observa que ninguno de los potenciales focos de contaminación queda incluido en ellos. No obstante y siguiendo las recomendaciones de la Tabla 7, se debe hacer un control de las actividades agrícolas y ganaderas que quedan englobadas dentro de la zona de restricciones máximas. En el caso de las granjas, hay dos establecimientos al que se le ha de exigir un informe de buenas prácticas:

Granja 1: UTM_X = 643012 ; UTM_Y = 4401434

Granja 2: UTM_X = 641899 ; UTM_Y = 4401627

Y en el caso de los cultivos, asegurar que no se están dando ninguna de las actividades prohibidas recogidas en la Tabla 7.

Cualquier actividad que se pretenda llevar a cabo dentro de alguno de los perímetros descritos deberán cumplir los requisitos expuestos en la Tabla 7.

Por ejemplo, la apertura de canteras quedará prohibida excepto en el perímetro de restricciones moderadas, en el que quedará supeditado a informe favorable acerca de la no afectación de la cantera a la calidad del agua subterránea.

En el caso de la perforación de nuevos sondeos, éstos deberán estar supeditados a la presentación de un estudio hidrogeológico en el que se contemple la inexistencia de afectación del sondeo a la captación municipal. Este control debe repetirse en el caso del perímetro de protección de la cantidad, dentro del cual, todos los sondeos precisarán de dicho estudio hidrogeológico y, si se autoriza, de un adecuado informe final de obras con ensayo de bombeo y adecuación de los sondeos para su medida periódica de niveles piezométricos. Asimismo estarán equipados de contadores para determinar que caudal se extrae.

Madrid, abril de 2010

La autora del informe

Fdo. Esther Alonso Marín

4. BIBLIOGRAFÍA

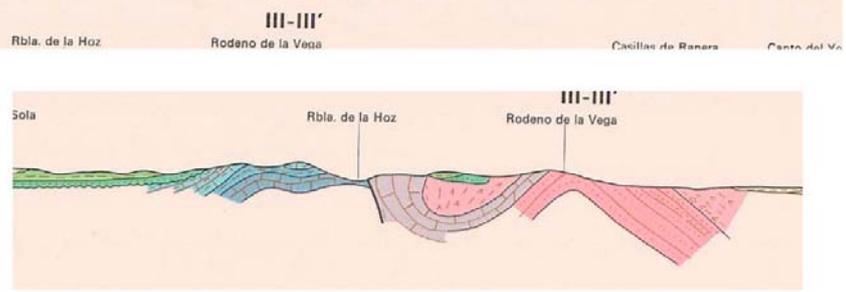
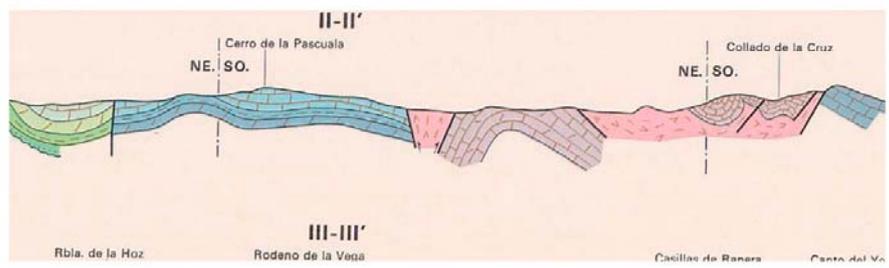
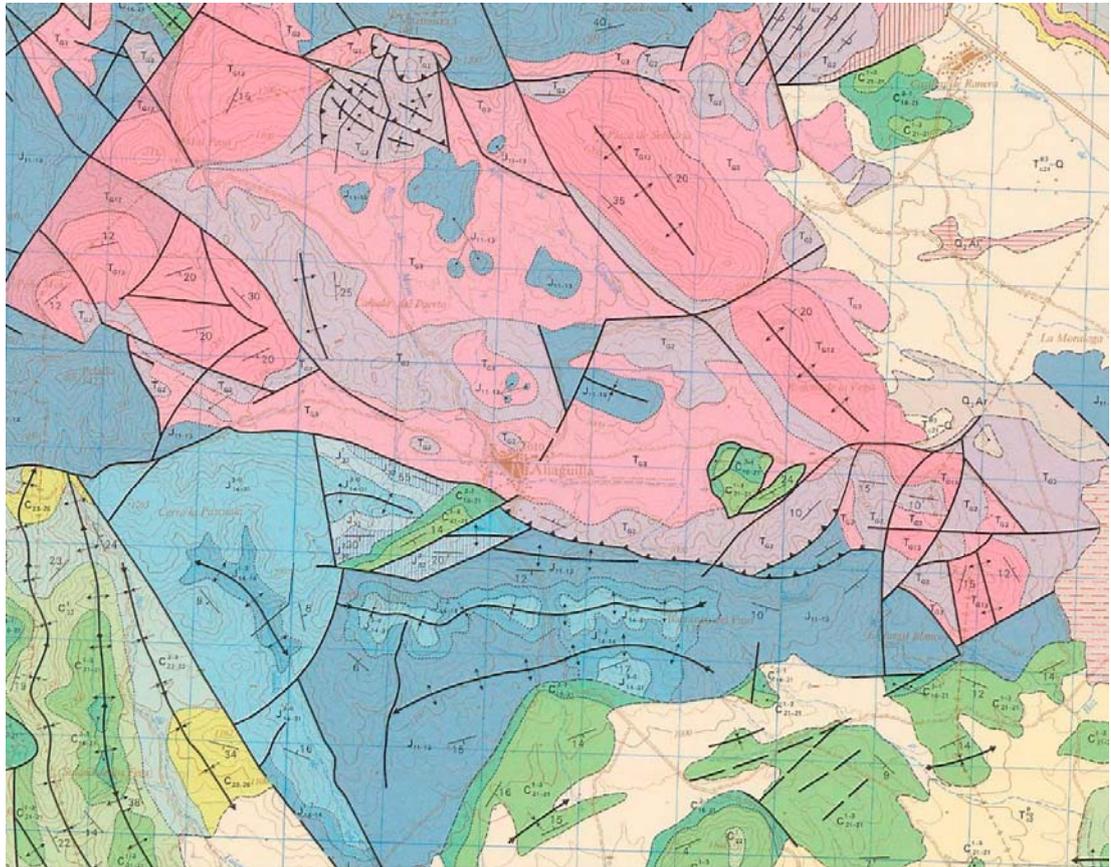
IGME (1991): Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas.

IGME-CHJ(1992): Propuesta de normas de explotación de Unidades Hidrogeológicas en el Sistema Hidráulico Alarcón-Contreras. 1991-1992.

Iglesias, A; Villanueva, M: Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo.

IGME (1984).

ANEXOS
MAPA GEOLÓGICO



LEYENDA

CUATERNARIO		HOLOCENO		39	40	41	42	Q ₂ Al ₂	ALUVIAL			
				Q ₂ Ar	Q ₂ Al ₁	Q ₂ C	Q ₂ Al ₁	Q ₂ C	ALUVIAL			
								Q ₂ Al ₁	Arcillas arenosas			
								Q ₂ C	COLUVION			
								Q ₂ Al ₁	Coluvión (derrubios)			
								Q ₂ Ar	ALUVIAL ARCILLOSO			
								Q ₂ Ar	Arcillas grises, arenosas			
								Q ₂ C	ARCILLAS RESIDUALES			
								Q ₂ C	Arcillas provenientes de la descomposición de los carbonatos			
								Q ₂ C	COLUVION ORLA			
								Q ₂ C	Cantos, arcillas... etc.			
								Q ₂ Ma	MANTO DE ARROYADA			
								Q ₂ Ma	Arcillas rojas y cantos sub-angulosos			
TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO	PLIO-CUATERNARIO		36				T ⁸³ ₁₋₂ Q	Arcillas rojas; conglomerados		
					33				T ⁸ ₁₋₂	Calizas, travertinas		
					32					T ⁸ ₂₋₃	Arcillas pardas, conglomerados	
		MIOCENO	SUP.	PONT.	TURD.	VALLE	31				T ⁸ ₁₋₂	Conglomerados, arcillas
											T ⁸ ₁₋₂	Margas, calizas, lignitos
			VINDOB. SUP.				30				T ⁸ ₁₋₂	Calizas páramo
	MED.	VINDOB. INF.							T ⁸ ₁₋₂	Arcillas rojas, areniscas, conglomerados		
	CRETACICO	SUPERIOR	TURON.	SENONIENSE		29				C ²³⁻²⁶	Calizas, calizas dolomíticas y brecha	
					MED.-SUP.	28					C ²³⁻²⁶	Calizas, calizas organógenas y dolomíticas y calizas de Rudist
					INF.	27					C ²³⁻²⁶	Calizas dolomíticas y dolomías masivas
			CENOM.	MED.-SUP.	26						C ²³⁻²⁶	Alternancia de calizas y arcillas pardas con niveles dolomíticos y de arcillas verdes en la base
				INF.	25						C ²³⁻²⁶	Arenas coarctadas blancas, sueltas
				24						C ²³⁻²⁶	Alternancia de areniscas y arcillas versicolores abigarradas	
INFERIOR		ALBIENSE	SUP.	EN F. U.	23					C ²³⁻²⁶	Calizas organógenas y lumaquéricas con niveles margosos y areniscos	
			INF.	EN F. W.	24					C ²³⁻²⁶	Alternancia de areniscas y arcillas versicolores abigarradas	
				23						C ²³⁻²⁶	Calizas organógenas y lumaquéricas con niveles margosos y areniscos	
		APTENSE	SUP.	EN F. W.	22						Alternancia de areniscas y arcillas versicolores abigarradas	
			MEDIO									
			INF.									
BARREMIENSE				22								
HAUTERVIENSE												
JURASICO	MAMM	KIMMERID.	PORTLANDES?		20				J ³³	Margas arenosas, areniscas y calizas		
				SUPERIOR	19					J ³³	Calizas pisolíticas	
				MEDIO	18					J ³³	Alternancia de calizas y calizas arcillosas	
			INFERIOR	17						J ³³	Margas gris-amarillas	
		OXFORDIENSE				15					J ³³	Calizas, calizas pisolíticas y margas arenosas
		DOGGER				14					J ³³	Calizas arcillosas
	LIAS	TORCHENSE			14					J ³³	Calizas tableadas y calizas oolíticas	
				MEDIO	13						J ³³	Calizas tableadas, oolíticas y calizas arcillosas
				INFERIOR	12						J ³³	Margas grises
						11					J ³³	Dolomías, carníolas, calizas dolomíticas, calizas y calizas bioclásticas
						10						
						9						
TRIASICO	KEUPER			11					T ₆₃	Margas abigarradas con yesos		
				10					T ₆₂	Calizas dolomíticas tableadas, margas dolomíticas, dolomías y calizas tableadas		
	MUSCHELKALK			9					T ₆₂	Areniscas rojas, microconglomerados		
				8					T ₆₁	Alternancia lutitas rojas y areniscas		
BUNTSAND	SUPERIOR			7					T ₆₁	Conglomerados		
	MEDIO			6					H ⁸¹ ₂₂	Pizarras con carboneros y areniscas		
DEVONICO	SUP.	STEPH. B.		5					D ₃	Cuarzitas		
				4					D ₃	Calizas con tramos de pizarras y areniscas		
SILUR	INF.	EMSIENSE		3					S ⁶	Cuarzitas y pizarras		
		SIEGIENSE		2					O ₁₂	Cuarzitas con Crucianas		
ORDOV.	INF.	WENLOCKIENSE		1					O ₁₁	Pizarras y esquistos		
		SKIDAWIENSE										
		TREMADOCIENSE										