



**INFORME FINAL DE LOS
SONDEOS DE INVESTIGACION PARA EL
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
A LA LOCALIDAD DE LA ALMARCHA
(CUENCA) Y PROPUESTA DE
PERÍMETRO DE PROTECCIÓN**

Diciembre 2008

Sondeo: Almarcha-2

Término municipal: La Almarcha **Provincia:** Cuenca

Sonda/contratista: RotoperCUSión /EDASU

SITUACIÓN:

Hoja topográfica: N° 662 Valverde de Júcar

Número Hoja/octante: 2326/5

Coordenadas U.T.M.: X: 547352 Y: 4392601

Cota aproximada: 950 (+/-) 10 m s.n.m.

CARACTERÍSTICAS:

Profundidad: 282 m.

Referencias topográficas: En La Carrasquilla, próximo a la carretera N-420, en el km 370, a 5600 m al oeste de la localidad.

Sondeo: Almarcha-3

Término municipal: La Almarcha **Provincia:** Cuenca

Sonda/contratista: Rotopercusión /EDASU

SITUACIÓN:

Hoja topográfica: N° 662 Valverde de Júcar

Número Hoja/octante: 2326/5

Coordenadas U.T.M.: X: 547359 Y: 4392590

Cota aproximada: 950 (+/-) 10 m s.n.m.

CARACTERÍSTICAS:

Profundidad: 352 m.

Referencias topográficas: En La Carrasquilla, próximo a la carretera N-420, en el km 370, a 5600 m al oeste de la localidad.

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

2. EJECUCIÓN DE LOS SONDEOS

2.1. Situación

2.2. Características específicas de las obras

2.2.1. Consideraciones constructivas

2.2.2. Perfiles litológicos

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.PROPOSTA 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 las captaciones

4. BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LEYENDAS GEOLÓGICAS

MAPA DE PENDIENTES

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del convenio de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.) y la Excma. Diputación Provincial de Cuenca, en octubre de 2007 se redactó el *“Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable a la localidad de La Almarcha (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 **4.2 L/s**. Para ello se recomendó la perforación de un sondeo próximo a las instalaciones actuales o en otras zonas próximas a la población.

2. EJECUCIÓN DE LOS SONDEOS

2.1. Situación

El sondeo ALMARCHA-1 se ubicó en La Carrasquilla, próximo a la carretera N-420, en el km 370, a 5600 m al oeste de la localidad, a 250 m del sitio previsto, por indicaciones de los operarios del Ayuntamiento.(figura 1)

Esta ubicación corresponde a un punto de la hoja nº 662 de coordenadas U.T.M. **X:** 547352 **Y:** 4392601 y una cota aproximada de 950 (+/-) 10 m s.n.m.

El sondeo ALMARCHA-2 se situó a 20 m del anterior.

Esta ubicación corresponde a un punto de la hoja nº 663 de coordenadas U.T.M. **X:**

547359 Y: 4392590 y una cota aproximada de 950 (+/-) 10 m s.n.m.

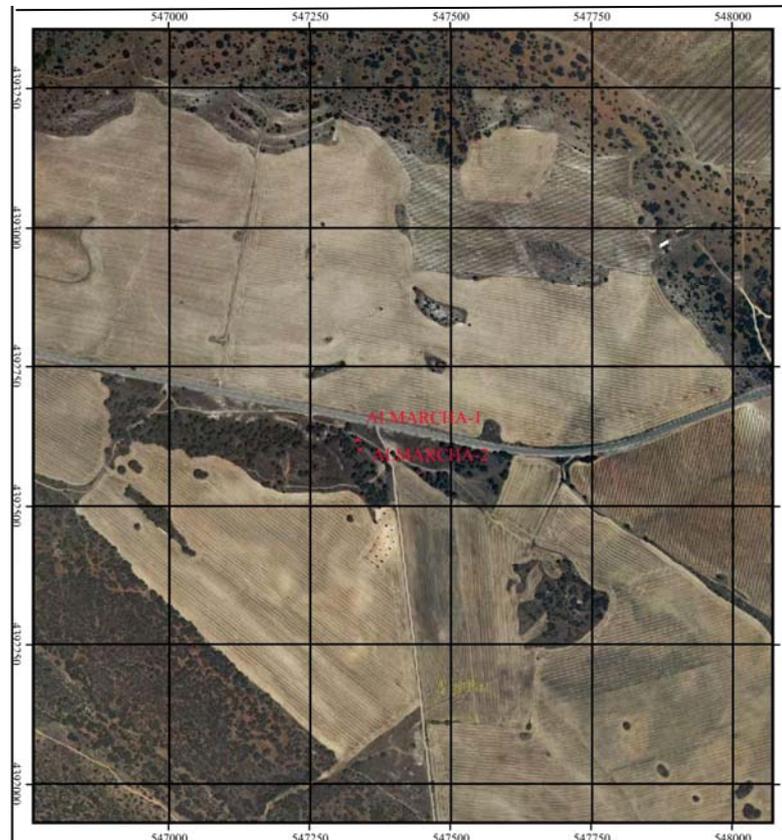


Figura 1.- Situación de los sondeos perforados.

2.2. Características específicas de las obras

2.2.1. Consideraciones constructivas

La ejecución de todos los sondeos fueron realizados por EDASU durante el mes de mayo de 2008, mediante rotoperusión con martillo en fondo.

La ejecución del sondeo ALMARCHA-2 se perforó con un diámetro de 300 mm de 0-30 m y de 220 mm hasta 186 m. Este sondeo perdió la circulación a partir del metro 144, por lo que no se pudo recoger muestra. En función de la presión que recibía el martillo de perforación, se determinaba que se podían estar atravesando niveles

acuíferos. En el metro 286 la presión era muy elevada y no se podía perforar más, por lo que se detuvo el sondeo. El intento de recuperar la tubería auxiliar instalada de 0-30 m para perforar a mayor diámetro, fue fallido por la adherencia del medio, por lo que se tuvo que abandonar el emplazamiento y perforar un sondeo próximo a mayor diámetro.

La ejecución del sondeo ALMARCHA-3 se perforó con un diámetro de 400 mm de 0-40 m, de 318 mm de 40-287 m y de 220 mm hasta los 350 m (figura 2).



Figura 2 .- Perforación del sondeo de la Almarcha 2. Enfrente se puede observar la perforación del sondeo Almarcha-1.

2.2.2. Perfiles litológicos

De acuerdo con el informe hidrogeológico previo realizado, los materiales atravesados en el sondeo ALMARCHA -2 corresponden a materiales de edad cretácica y jurásica:

Se perforaron los siguientes materiales:

0- 6 m	Arena fina.
6- 10m	Arena gruesa.
10- 14 m	Arcilla limosa y arena fina.
14- 26 m	Arcilla roja y ocre.
26- 42 m	Dolomía recristalizada blanca con pátinas marrones y ocre. Fracturas con recristalizaciones.
42- 86 m	Dolomía recristalizada blanca alternante con marrón oscura, que predomina hacia la base. Aspecto granudo.
86- 90 m	Dolomía recristalizada gris clara, alternante con marrón claro y abundantes recristalizaciones de calcita.
90- 92 m	Dolomía y caliza dolomítica granuda gris clara y ocre, con barras de dolomía micrítica gris clara.
92- 98 m	Dolomía micrítica gris y gris oscura con recristalizaciones.
98-102 m	Dolomía recristalizada blanca con abundantes recristalizaciones y niveles rojizos.
102-104 m	Sin muestra.
104-122 m	Caliza granuda ocre y gris, dolomía micrítica gris. Abundantes recristalizaciones.
122-126 m	Caliza gris micrítica con tonos rojizos.
122-144 m	Problemas en el retorno de muestra. Parece la del tramo anterior con abundantes recristalizaciones.
144- 282 m	Sin muestra. Se atravesaron fracturas a 150-156 m, 234-240 m y 252-258 m y cuevas a 120-126 m y 240-246 m.

Se atravesaron formaciones acuíferas a 270-276 m y a partir de 280 m.

Las formaciones atravesadas corresponden a :

0 - 26 m	Cretácico Inferior.
26 -282 m	Jurásico.

Tras los problemas constructivos, se perforó un nuevo sondeo, ALMARCHA-3.

Se perforaron los siguientes materiales:

0 - 106 m	Misma columna que el sondeo ALMARCHA-1.
106-108 m	Caliza y dolomía micrítica gris clara.
108-114 m	Caliza micrítica gris con pátinas beige y recristalizaciones.
114-130 m	Dolomía gris, rosácea y ocre con recristalizaciones y niveles calizos. Recristalizaciones.
130-156 m	Calizas micríticas gris claras y recristalizadas. Recristalizaciones. Tonos rojos, ocre y grises. Horizontes dolomíticos.
156-190 m	Caliza micrítica gris, con tramos recristalizados grises y tonos rojizos. Fracturas.
190- 196 m	Caliza micrítica gris oscura.
196-214 m	Caliza micrítica gris clara, tonos ocre y pátinas rojas y beige.
214- 226 m	Caliza micrítica gris con caliza rojiza en fracturas.
226- 244 m	Calizas acarameladas grises, pátinas rojizas y recristalizaciones. Abundante arcilla roja hacia la base.
244- 246 m	Caliza verdosa de aspecto sacaroideo, con arcillas rojas. Margas ocre.
246-250 m	Caliza micrítica gris, roja y rosada.
250- 254 m	Caliza y caliza dolomítica gris micrítica y arcillosa. Margas grises.
254- 264 m	Calizas micríticas y acarameladas grises y rojas. Yesos.
264-268 m	Margas grises y calizas margosas grises. Yesos.
268-278 m	Marga dolomítica gris oscura. Intercalaciones de dolomías.
278- 284 m	Calizas grises, margas grises y verdes.
284-286 m	Caliza micrítica gris, margas grises.
286-290 m	Dolomía micrítica gris oscura.
290-296 m	Caliza micrítica gris oscura.
296-328 m	Caliza micrítica gris oscura y caliza recristalizada gris clara. Recristalizaciones.
328-334 m	Caliza micrítica gris oscura y caliza recristalizada blanca, de aspecto granudo.
334-352 m	Caliza micrítica gris oscura.

Se atravesaron **formaciones acuíferas** a **196 m (1 L/s)**, **263-278 m**, **280-282 m (50L/s)**. De ahí en adelante era difícil identificar si se atravesaban más horizontes acuíferos.

2.2.3. Acondicionamiento de las obras

Los acondicionamientos se recogen en la Tabla 1. El sondeo ALMARCHA-2 se abandonó al no poder extraer la tubería auxiliar que se quedó instalada.

SONDEO	DIAMETRO ENTUBACIÓN (mm)	RANURADOS (m)
ALMARCHA-2	250 mm (0-30 m).	
ALMARCHA-3	400 mm (0-40 m) 318 mm (0-287 m)	R 191-287 m

Tabla 1.- Entubaciones y acondicionamientos de los sondeos de La Almarcha (R-ranura).

2.2.4. Hidroquímica

Las aguas analizadas muestran, para la captación de ALMARCHA-2, correspondiente al análisis de la Junta de Sanidad, una elevadísima mineralización, con conductividad de **2570 $\mu\text{S/cm}$** , y contenido en **sulfatos de 1716 mg/L**, correspondiendo a aguas sulfatadas cálcicas. El contenido de nitratos es muy bajo. (tabla 2).

	ALMARCHA-3		
Fecha	4/6/08	Mg	88
DQO		Ca	502
Cl	14	pH	
SO ₄	1716	NO ₂	
HCO ₃		NH ₄	
CO ₃		Conductividad	2570
NO ₃	2	Turbidez	1.9
Na			

Tabla 2.- Componentes químicos (en mg/L), conductividad (en $\mu\text{S/cm}$) y turbidez (UNF) de los sondeos perforados y del agua de la red de distribución.

Estas aguas presentan otra facies distinta a la del actual sondeo de abastecimiento, situado a pocos kilómetros y en la misma estructura geológica. El motivo puede ser que se captan aguas de niveles más profundos que los del sondeo actual, con un mayor caudal y productividad, pero con una mineralización elevada.

2.2.5. Consideraciones hidrogeológicas

Desde el punto de vista hidrogeológico los sondeos afectan a los acuíferos jurásicos dentro de la m.a.s. 041.001 "Sierra de Altomira", perteneciente a la cuenca del Guadiana. La profundidad del nivel piezométrico es de **164.6 m** ó **785.4 msnm** (6/2008).

2.2.6. Resultados de los ensayos de bombeo

BOINS S.L. realizó el ensayo de bombeo del sondeo perforado ALMARCHA-2. El ensayo se realizó en tres escalones a distinto caudal, siendo el primero de 7 horas de duración y produciéndose un descenso de 0.45 m con 5 l/s. El segundo escalón, de 6 horas y 10 l/s añadió un descenso de 0.87 m (1.32 m de descenso total) y el tercero, a 20 l/s durante 10 horas, sumó un descenso de 2.53 m, produciéndose un descenso total de 3,85 m. El valor de la transmisividad se ha hallado aplicando el método de Jacob al gráfico descensos-log tiempo para el primer escalón no afectado por bombeos anteriores, obteniéndose un valor de la transmisividad de **285 m²/día**. Extrapolando la recta que ajusta los valores del primer escalón, se obtiene un to de 15 minutos, y un valor del coeficiente de almacenamiento muy elevado, no concordante con las características del acuífero, carbonatado y confinado. El valor del coeficiente de almacenamiento que arroja el programa PIBE es de $S = 10 \cdot 10^{-5}$, coincidente con los valores propuestos por Iglesias (1985) para un acuífero jurásico confinado. Este programa no ajusta satisfactoriamente el modelo de acuífero a los valores obtenidos en el ensayo escalonado, obteniéndose un valor que oscila notablemente en función del escalón al que se ajusta el modelo. Para el primer escalón, se obtendría un valor de la transmisividad de **500 m²/día**. Según el informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento en esta localidad (IGME, 2007), los valores de transmisividad encontrados en los sondeos de la zona afectando a los mismos materiales varían mucho, encontrándose el sondeo ALMARCHA-3 dentro del rango descrito.

El **caudal de explotación**, teniendo en cuenta un bombeo continuado de tres meses y

admitiendo un abatimiento del nivel de únicamente 5 m, es de **8 L/s**. La demanda estimada es de 4,2 l/s, luego el caudal de explotación recomendado se ajustará en cada momento al volumen necesitado. Para el cálculo del perímetro de protección se tomarán los 8 l/s.

2.3. Resultados obtenidos

El sondeo ALMARCHA-2 se abandonó por problemas constructivos, ya que se pretendía aumentar el radio de perforación para poner una tubería de mayor diámetro. No obstante podría instalarse una tubería de menor diámetro para un caudal de explotación menor, por lo que no puede considerarse negativo.

El sondeo ALMARCHA-3 se consideró positivo, alcanzando una profundidad de 352 m. Aunque su caudal es elevado, lo es también su mineralización, a causa de los sulfatos, por lo que es recomendable su tratamiento o bien la mezcla con las aguas del actual sondeo de abastecimiento. Los análisis químicos y bacteriológicos realizados por la Consejería de Sanidad reflejados en su correspondiente informe sanitario muestran, que aunque se pronuncian favorablemente, no reúne los criterios de calidad debido a un exceso de sulfatos, turbidez y aluminio, por lo que es preciso un adecuado tratamiento de las aguas o la mezcla con otra de mejor calidad química (figuras 3 y 4).

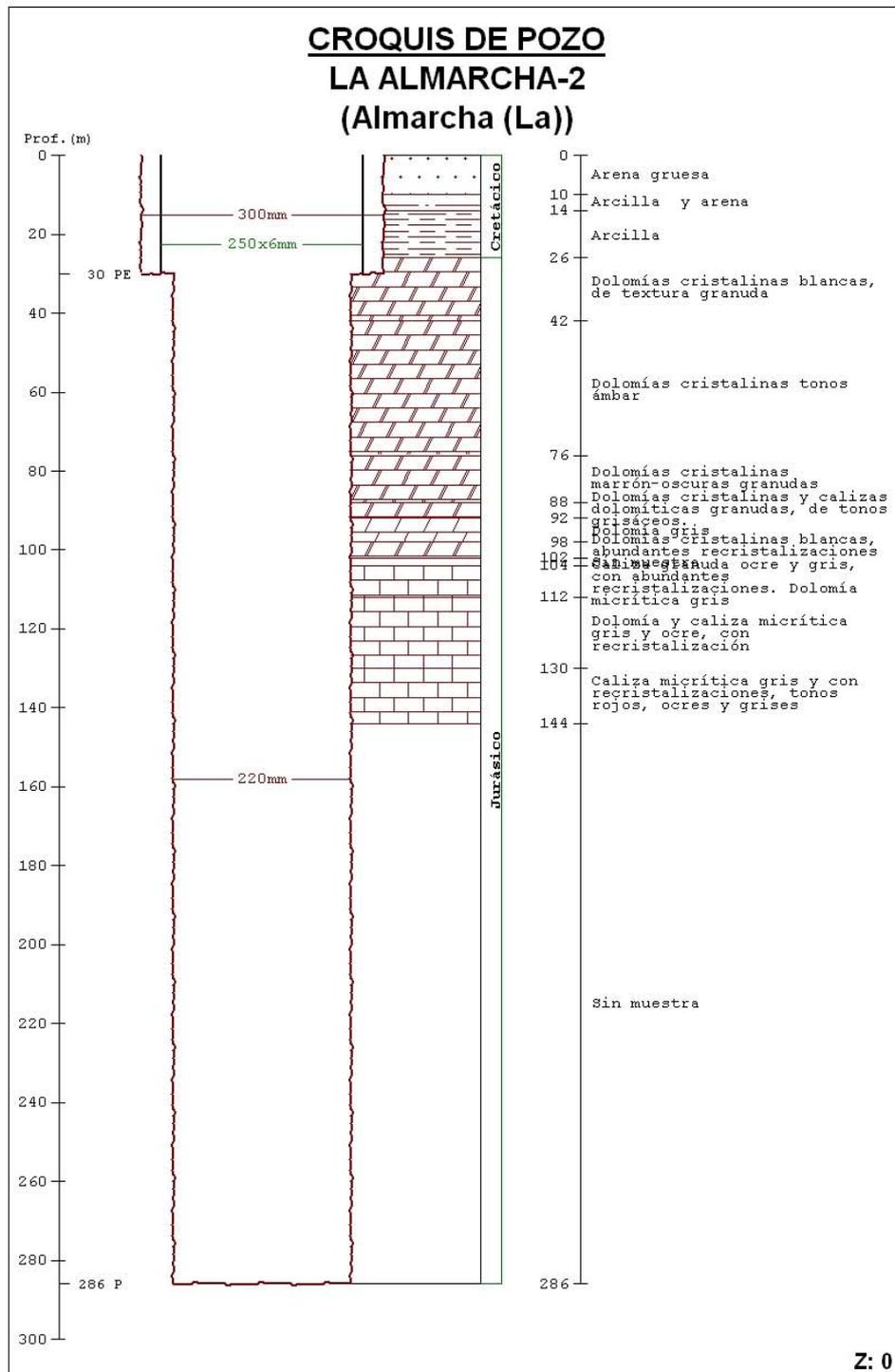


Figura 3.- Perfil litológico del sondeo ALMARCHA-2.

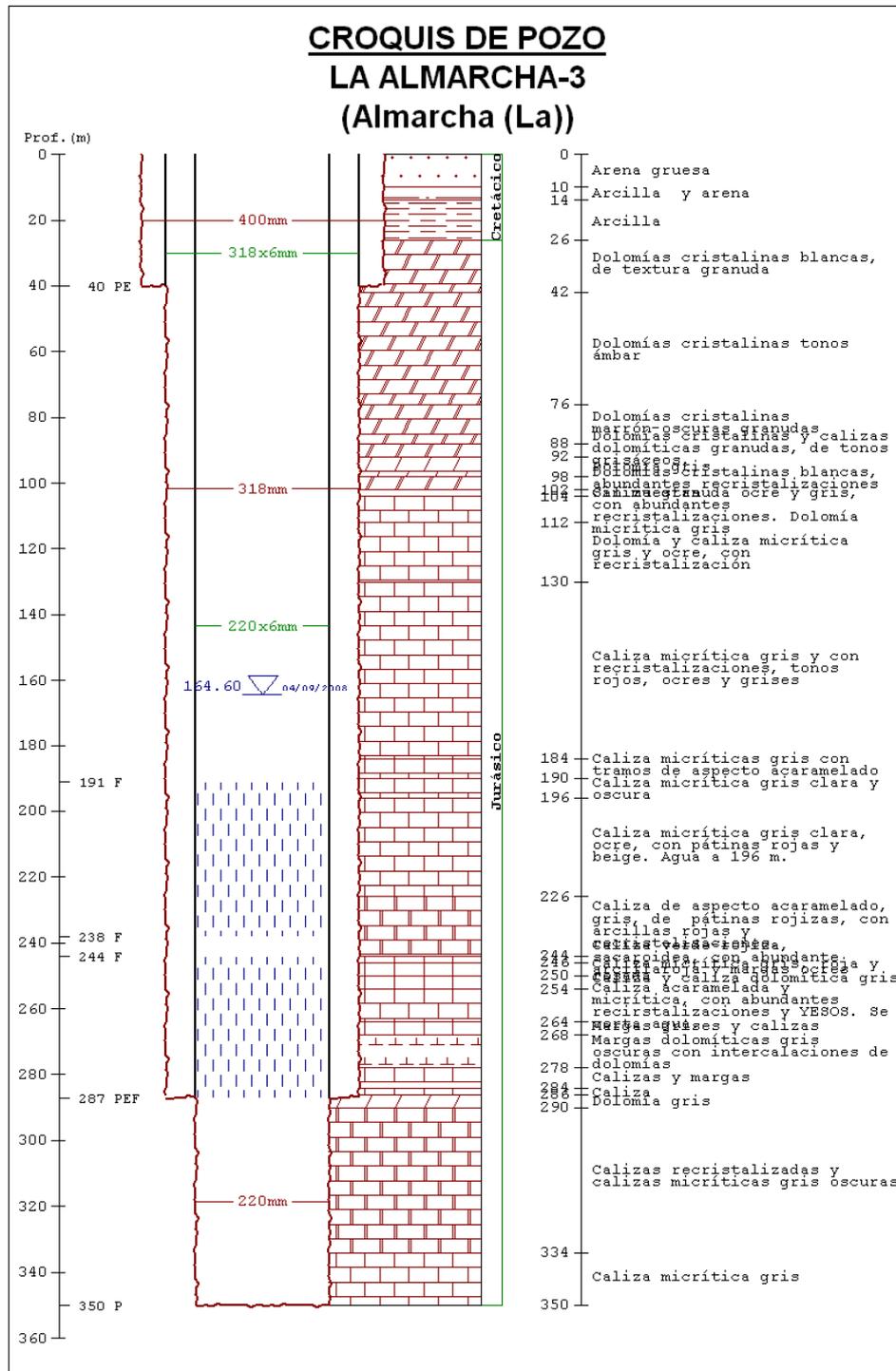


Figura 4.- Perfil litológico del sondeo ALMARCHA-3.

3.PROPUUESTA DE LOS PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

3.1. Marco hidrogeológico regional

Regionalmente, la zona estudiada se encuentra en la m.a.s. 041.001 Sierra de Altomira, en su extremo meridional, perteneciente a la cuenca del Guadiana (figura 5).

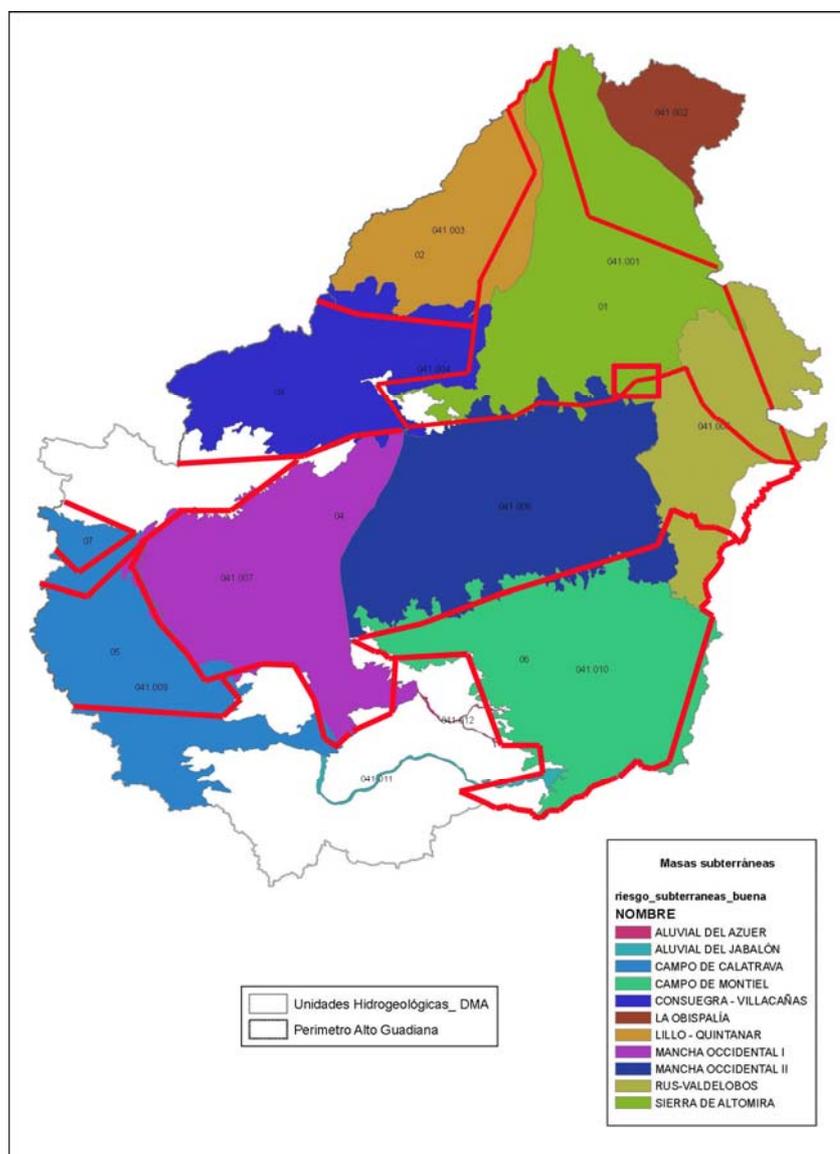


Figura 5.- Situación del área estudiada en las antiguas UU.HH. y actuales m.a.s.

La m.a.s. Sierra de Altomira (041.001) está considerada como un acuífero complejo, el cual funciona en régimen libre o de semiconfinamiento en profundidad, cuyo acuífero principal está constituido por los materiales jurásicos. El límite oriental está definido por la divisoria hidrográfica de las cuencas del Guadiana y Júcar por una parte, el contacto con la m.as. (041.002) La Obispalía al NE y el contacto con la vecina m.a.s. (041.005) Rus-Valdelobos al SE. En su parte occidental limita con las m.a.s. (041.003) Lillo-Quintanar y (041.004) Consuegra-Villacañas y en su parte más meridional limita con la ma.s. (041.006) Mancha Occidental II, en contacto con los materiales terciarios de la fosa manchega y con la (041.005) Rus-Valdelobos.

Los acuíferos están formados por una serie de calizas y dolomías jurásico-cretácicas que se apoyan sobre una base impermeable de arcillas, margas y yesos triásicos y que pueden alcanzar una potencia de hasta 1.100 m en el sector oriental de la cuenca. Sobre ellas se sitúa una serie margo-yesífera del tránsito cretácico-terciario y una sucesión de depósitos de origen continental, detríticos a evaporíticos, de edades paleógenas y miocenas y potencias superiores a los 300 m, coronada por afloramientos dispersos de calizas de reducido espesor.

La estructura tiene una gran importancia en el funcionamiento hidrogeológico. Así, los niveles margosos que favorecen el despegue de las distintas escamas y cabalgamientos funcionan como impermeables de base que individualizarán acuíferos. Los pliegues anticlinales y sinclinales funcionarán de divisoria de flujo subterráneo, así como las fallas que individualizan bloques y definen las depresiones terciarias. Se consideraba que el funcionamiento de los acuíferos podía ser libre o semiconfinado, según las zonas.

Sin embargo, esta es una simplificación que no refleja la realidad, en cuanto existen más acuíferos que se explotan. Así específicamente se pueden considerar las siguientes formaciones acuíferas, que de techo a base son:

-***Acuíferos carbonatados jurásicos***: aunque se tiende a considerar un único acuífero, se han identificado en los sondeos de investigación hidrogeológica, diferentes horizontes acuíferos, algunos de interés más local y con calidades químicas distintas.

-***Acuíferos detríticos cretácicos***: las Facies Weald y Utrillas, de escaso espesor y poco afloramiento, sí suponen acuíferos de interés local.

-***Acuíferos carbonatados cretácicos***: todo el conjunto, que corresponde a la alternancia de calizas y margas del Cenomaniense hasta los depósitos calco-dolomíticos turonienses. Al estar más próximo a la superficie, es el acuífero más intensamente explotado.

-***Acuífero calco-yesífero del tránsito cretácico-terciario***: aunque su utilización está condicionada por la mala calidad del agua, muy mineralizada, potencialmente supone un gran recurso muy poco explotado.

-***Acuíferos detríticos terciarios***: típico acuífero multicapa, con horizontes arenosos y conglomeráticos alternantes con arcillas, y con cambios laterales de facies hacia litologías más evaporíticas, constituye otro acuífero poco conocido y de gran potencial.

-***Acuíferos carbonatados terciarios***: constituyen pequeños acuíferos que hacia el S presentan mayores extensiones pero poco espesor que aparecen, también próximas a la superficie, sobretodo hacia el S del sistema acuífero, siendo muy vulnerables a las afecciones, tanto de explotación como de calidad de las aguas.

Según IGME (1989) existen dos direcciones principales, hacia el río Cigüela y hacia los ríos Saona, Záncara y Rus, esto es, en dirección SE. Los acuíferos carbonatados jurásicos muestran una circulación preferente hacia el S, hacia Mancha Occidental y Mancha Oriental. No obstante existe un flujo desde la cuenca del Tajo, al N, correspondiente a la m.a.s. (030.014) Entrepeñas y desde el S, de la (041.010) Campo de Montiel. También se define una conexión hidráulica hacia el O, con la m.a.s. (041.003) Lillo-Quintanar, y la m.a.s. (041.004) Consuegra-Villacañas; así como al E a la Cuenca del Júcar. No obstante, dentro de la propia m.a.s. existen áreas desconectadas, principalmente entre los de la zona central y zona occidental. Así se

define una circulación hacia el río Cigüela al N y hacia el río Riansares, al O.

La dirección de flujo de los acuíferos carbonatados cretácicos es hacia el S, a los acuíferos de Mancha Oriental y Occidental, aunque en la zona septentrional, de manera local, los acuíferos drenan hacia los cursos de agua superficiales, Riansares y Bedija. La recarga, aparte de provenir de la infiltración de la lluvia a través de las superficies aflorantes o del goteo de los materiales terciarios, puede provenir de la conexión al E con los materiales detríticos de la Depresión Intermedia y de la conexión con el acuífero cretácico de la Serranía de Cuenca. Otro hecho a señalar, es la existencia, dentro del conjunto de formaciones cretácicas, de distintos niveles acuíferos, evidencia de una diferente litología y propiedades, con presencia de yesos, como horizontes con diferente fracturación que pueden presentar diferencias en cota piezométrica. (figura 6).

Los acuíferos carbonatados jurásicos y cretácicos no están conectados en la zona septentrional, existiendo una clara diferencia de cotas piezométricas de ambos acuíferos, sin embargo, conforme se aproxima hacia el contacto con Mancha Occidental y la superficie es más extensa y menos plegada, parece existir una conexión hidráulica entre ambos acuíferos.

Las principales transmisividades se recogen en la tabla 3.

Tabla 3.- *Transmisividades de los acuíferos jurásicos y cretácicos.*

Tramo	T (m ² /día)
Acuífero cretácico	10 a 1000
Acuífero jurásico	10 a 2000 hacia el S

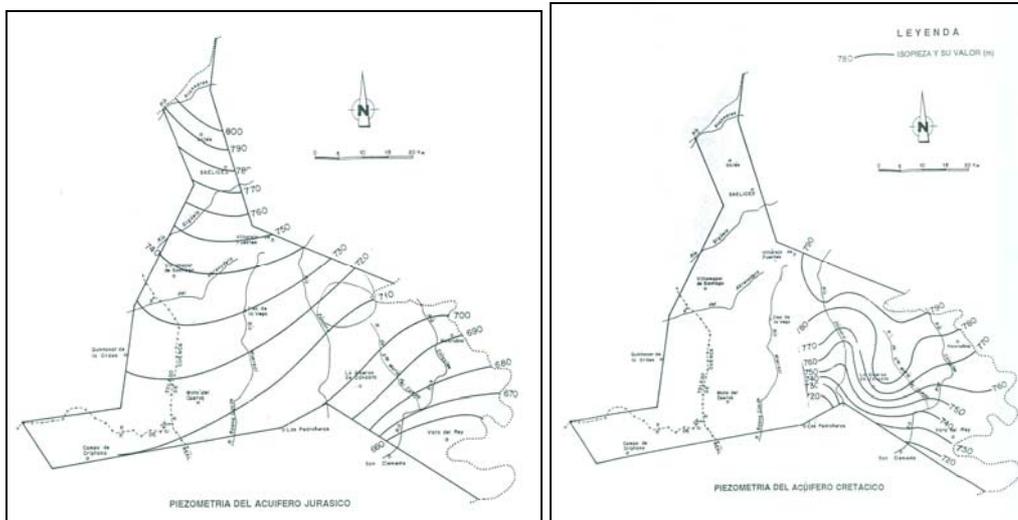


Figura 6. Piezometría en enero de 1994 para el acuífero jurásico y cretácico (García Jiménez, 1995).

3.2. Marco hidrogeológico local

Las formaciones acuíferas existentes en la zona se corresponden con los siguientes materiales:

- **Jurásico carbonatado**: constituye la principal formación acuífera de la zona estudiada y son los materiales explotados por el sondeo Almarcha-3. Aflora en el núcleo del anticlinal de Castillo de Garcimuñoz-Montalbanejo. En el sondeo de la Muela, de abastecimiento de La Almarcha se alcanza a una profundidad de 170 m, explotándose con un caudal de 4.5 L/s. En la misma estructura lo capta el sondeo de Castillo de Garcimuñoz. Las transmisividades varían mucho, así en Castillo de Garcimuñoz es elevada, superando los 1000 m²/día, mientras que en La Almarcha no alcanza los 10 m²/día. La cota piezométrica se encuentra en torno a 750 m s.n.m. El nuevo sondeo perforado Almarcha-3 afecta también a esta estructura, con una cota de 785,4 msnm, lo que parece indicar una dirección de flujo local del NO al SE.

El Sondeo Hinojosa IV afecta a las formaciones acuíferas jurásicas de la estructura más al N y que puede estar en parte desconectada, la cota piezométrica se encontraría a 811

m s.n.n.m.

Hidroquímicamente las aguas de los antiguos sondeos son bicarbonatadas cálcicas con conductividades en torno a 500-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el caso del sondeo Almarcha-3, se trata de un agua con una elevada mineralización, conductividad de **2570 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , y contenido en **sulfatos de 1716 mg/L**, correspondiendo a aguas sulfatadas cálcicas.

A partir de los perfiles de los sondeos de la Almarcha (Figura 7) se ha elaborado un corte interpretativo en que se observa que el primer sondeo capta aguas de buena calidad (Almarcha I) en un tramo superior de los carbonatos jurásicos, a partir de 40 m por debajo de los depósitos albienses; en el caso del segundo y tercer sondeo (Almarcha 2 y 3) se captan aguas de mala calidad a partir de 140 m de profundidad respecto a las mismas arenas. Pueden corresponder a dos horizontes acuíferos distintos que pueden estar conectados por la fracturación.

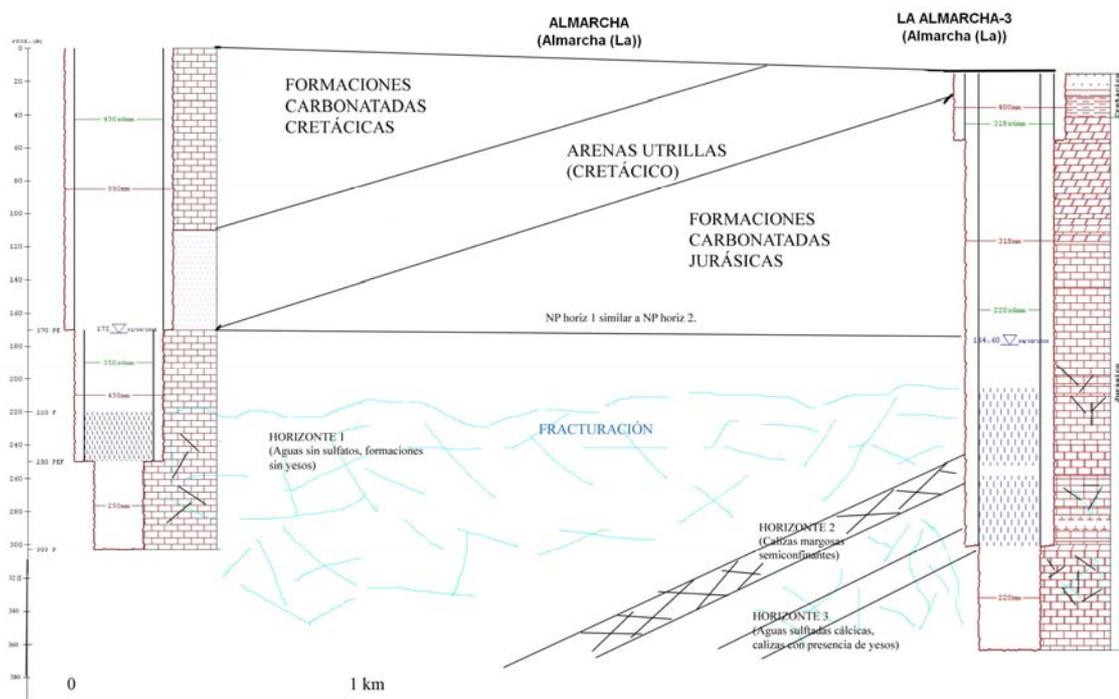


Figura 7. Perfiles litológicos de dos sondeos en la Almarcha, separados unos 400 m.

Por tanto su alimentación se producirá a través de la recarga en las zonas aflorantes y provendrá también de zona alejadas y posiblemente del contacto mecánico con las formaciones terciarias presentes en las depresiones que limitan a estos materiales carbonatados, al N.

- **Cretácico carbonatado**: captado en Castillo de Garcimuñoz, con una transmisividad baja del orden de $7 \text{ m}^2/\text{día}$. Hidroquímicamente son aguas bicarbonatadas cálcicas, con una mineralización de $538 \text{ }\mu\text{S/cm}$. La cota piezométrica se encuentra en torno a 800 m s.n.m.

- **Depósitos detríticos y yesíferos terciarios**: Corresponden a materiales detríticos arcillosos con yesos con algunos niveles intercalados de areniscas y calizas, pertenecientes al borde occidental de la Depresión Intermedia. Afectando a estos materiales se encuentra el sondeo Marcundio.

3.3. Vulnerabilidad del acuífero

3.3.1 *Inventario de focos de contaminación*

En el área de estudio se da el cultivo de secano y también los bosque de pinos. La zona se encuentra atravesada por una carretera nacional.

En el siguiente cuadro se muestran los potenciales focos de contaminación existentes en la zona, los cuales se encuentran a distancias considerables de la captación. En el caso de la escombrera recalcar que se encuentra ubicada sobre calizas cretácicas.(tabla 4, figura 8)

Foco contaminante	UTM_X	UTM_Y	Distancia al sondeo (m)
Vertedero incontrolado de escombros (inertes)	548427	4393752	1800 m al NE. Sobre calizas cretácicas
Aguas residuales urbanas (ARU)	553620	4393849	6500 m al NE.
Planta de transferencia de Residuos sólidos urbanos (RSU)	554596	4394497	7700 m al NE

Tabla 4. Inventario de focos de contaminación

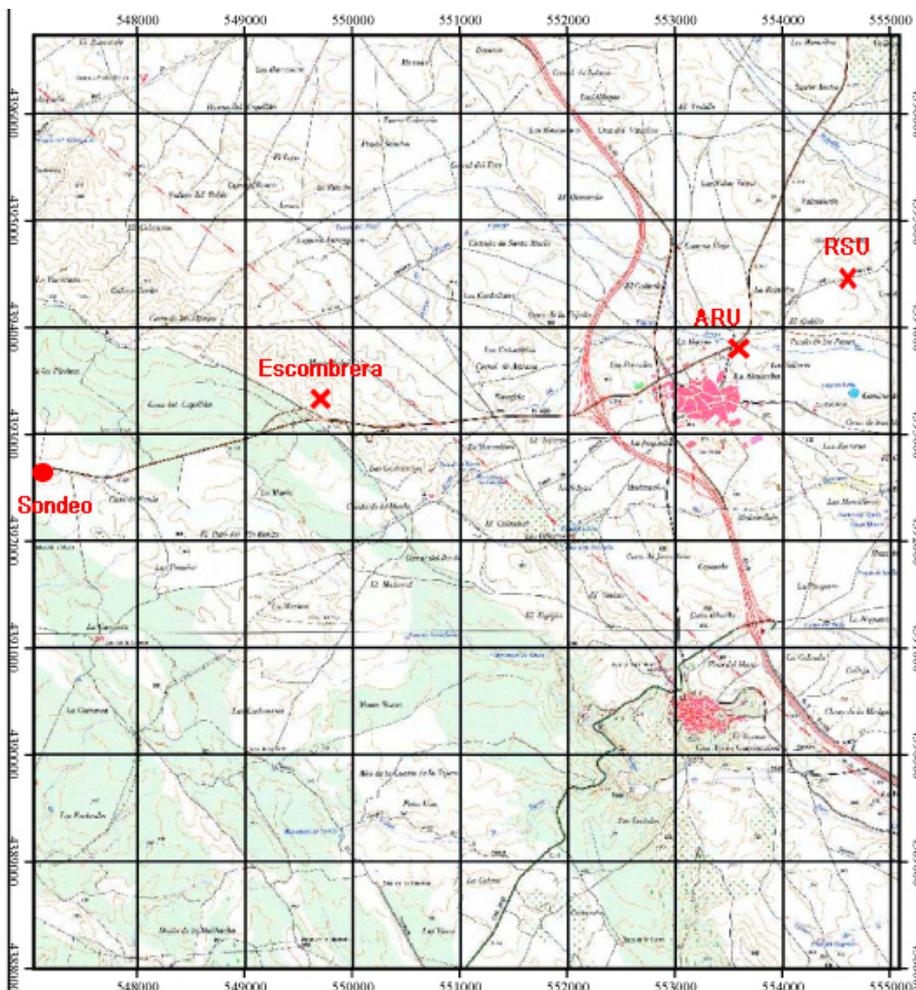


Fig. 8. Focos de contaminación puntual en el entorno de La Almarcha

3.3.2 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 ello se pueden usar distintos métodos; la elección del más adecuado dependerá del medio geológico del que se trate así como de la cantidad y calidad de la información de la que se disponga para dicha zona. En este estudio se ha seleccionado el método del índice DRASTIC, desarrollado por la Environmental Protection Agency (EPA), con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. De uso muy difundido, tanto para la cualificación (evaluación cualitativa) como para la cartografía, se basa en la asignación de índices con un rango de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC: **D** (profundidad del agua), **R** (recarga neta), **A** (litología del acuífero), **S** (suelo) **T** (topografía) **I** (impacto en zona no saturada), **C** (conductividad hidráulica del acuífero).

Además de lo expresado, a cada variable se le asigna un peso o ponderación, de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad. Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5, adoptando los autores el mayor (5) para la profundidad del agua (D) y la litología de la zona no saturada (I) y el menor (1) para la topografía (T) (tabla 5).

La Ecuación utilizada para calcular el índice DRASTIC:

$$D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

Donde **R** = VALOR, **W** = ÍNDICE DE PONDERACIÓN.

Ambos índices se multiplican y luego se suman los 7 resultados, para obtener un valor final o índice de vulnerabilidad, cuyos extremos son 23 (mínima) y 230 (máxima).

La obtención de este índice se repite para cada una de las celdas en las que se divide la zona de estudio, en este caso de 500 x 500 m, para así obtener la cartografía de vulnerabilidad del área de influencia de la captación a proteger.

El rango posible de valores del índice DRASTIC está comprendido entre 23-226 siendo más frecuentes valores entre 50-200. Los intervalos de vulnerabilidad o riesgo se definen en función de la aplicación. En el trabajo realizado se han establecido los siguientes grados:

<100 Vulnerabilidad insignificante

101-119 Vulnerabilidad muy baja

120-139 Vulnerabilidad baja

140-159 Vulnerabilidad moderada

160-179 Vulnerabilidad alta

180-199 Vulnerabilidad muy alta

>200 Vulnerabilidad extrema

El índice DRASTIC se trata de una herramienta para la caracterización del medio físico, en este caso de un acuífero, orientado a obtener unos resultados que luego permitan una correcta gestión del mismo. Se trata pues de una simplificación en la que el criterio hidrogeológico en sentido amplio ha de guiar toda discusión, pues este abarca más aspectos que los siete índices propuestos del acrónimo.

En el caso de acuíferos kársticos, es fundamental tener además en cuenta aquellos rasgos geomorfológicos que sean indicativos de una circulación preferente de agua (sumideros, dolinas, etc.)

La presente cartografía de vulnerabilidad considera el acuífero carbonatado jurásico explotado por el sondeo Almarcha-3, el cual atraviesa 324 m de materiales carbonatados.

Los datos que se han empleado para la estimación del índice son los siguientes:

- El parámetro **D**, profundidad del nivel piezométrico para el acuífero carbonatado jurásico, se ha tomado **D = 1**, ya que la profundidad del nivel piezométrico de este acuífero ronda los 150-170 m.
- Según <http://aguas.igme.es>, el acuífero que nos ocupa soporta unas entradas por lluvia directa en torno a los 135 hm³/año. La superficie aflorante del mismo es de 2500 km² por lo que el valor medio de la recarga se ha estimado en 54 mm (**R = 3**)
- El acuífero que explota el sondeo es carbonatado, formado por calizas y dolomías así como también niveles margosos y hacia el muro se han descrito evaporizas. Se ha asignado el valor correspondiente a una litología de calizas y dolomías moderadamente karstificadas, **A = 7**.
- Para el suelo se ha considerado el caso más desfavorable, el de suelo ausente **S=10**.
- El valor del índice **T** de topografía se ha calculado para cada celda de la cartografía de vulnerabilidad, mediante la elaboración de un mapa de pendientes (en Anexo).
- El parámetro **I** es indicativo del papel que juega la litología de la zona no saturada en la protección natural del acuífero. En las celdas de la cartografía en las que aflora en superficie los materiales carbonatados jurásicos explotados en profundidad se ha aplicado un valor de **I = 10**. Cuando la zona no saturada está constituida por las formaciones detríticas del Cretácico Inferior, además de las carbonatadas se ha tomado un valor de **I = 6**. Se asume que en las celdas en las que aflora el cretácico carbonatado, por debajo se sitúan también las arenas del Cretácico inferior por lo que se asigna

también un valor de $I = 6$. En las celdas en las que aflora el Terciario se ha tomado un valor de $I = 5$.

- La conductividad hidráulica se ha calculado a partir de los parámetros hidráulicos deducidos del ensayo de bombeo, tomando una Transmisividad de 285 m²/día a 500 m²/día y un espesor saturado de 185.4 m de espesor saturado en el sondeo o bien de 96 m de tubo ranurado. La conductividad hidráulica así calculada comprende $k = 1.53 - 5.2$ correspondientes con un índice $C = 1 - 2$. Se ha asignado $C = 1.5$.

Como se desprende de la cartografía de vulnerabilidad realizada (Fig.9), la mayor parte de la zona de estudio presenta una **vulnerabilidad muy baja**, debido fundamentalmente a las características del acuífero. Se trata de un acuífero carbonatado jurásico, que aflora escasamente en los núcleos de los anticlinales, y siendo en su mayor parte cautivo y con una zona no saturada de gran espesor, lo cual disminuye su vulnerabilidad intrínseca. Así mismo, el índice de recarga no es muy elevado ni tampoco lo es la conductividad hidráulica que se deduce del ensayo de bombeo disponible. El único factor que funciona aumentando la vulnerabilidad del acuífero es la pendiente, al tratarse de una zona horizontal- subhorizontal lo que favorecería la infiltración de un potencial contaminante.

ÍNDICE DE PONDERACIÓN		
PARÁMETROS		DRASTIC
D	Profundidad del nivel piezométrico	5
R	Recarga neta	4
A	Naturaleza del acuífero	3
S	Tipo de suelo	2
T	Topografía. Pendientes	1
I	Impacto en la zona no saturada	5
C	Permeabilidad	3
D) RANGO PROFUNDIDAD (m)		VALOR
< 1.5		10
1.5-5		9
5-10		7
10-20		5
20-30		2
> 30		1

R) RANGO RECARGA (mm)	VALOR
0-50	1
50-100	3
100-180	6
180-255	8
> 255	9

Tabla 5.- Índices de ponderación y valores del índice DRASTIC.

A) DESCRIPCIÓN LITOLÓGIA	RANGO	VALOR TÍPICO
Arcillas, margas, limos	1-3	2
Rocas ígneas y metamórficas	2-5	3
Rocas ígneas y metamórficas alteradas	3-5	4
Alternancia de areniscas, arcillas y calizas	5-9	6
Areniscas masivas	4-9	6
Calizas masivas	4-9	6
Arenas, gravas y conglomerados	4-9	8
Basalto	2-10	9
Calizas carstificadas	9-10	10
S) NATURALEZA DEL SUELO	VALOR	
Arcilla no expansiva y desagregada	1	
Suelo orgánico	2	
Marga arcillosa	3	
Marga limosa	4	
Marga	5	
Marga arenosa	6	
Arcilla expansiva y/o agregada	7	
Turba	8	
Arena	9	
Grava	10	
Delgado o ausente	10	

T) RANGO TOPOGRAFÍA (% de pendiente máxima)	VALOR	
0-5	10	
2-6	9	
6-12	5	
12-18	3	
> 18	1	
I) DESCRIPCIÓN LITOLÓGIA ZNS	RANGO	VALOR TÍPICO
Arcilla, limo	1-2	1
Esquistos, pizarras	2-5	3
Calizas	2-7	6
Areniscas	4-8	6
Alternancia de calizas, areniscas y arcillas	4-8	6
Arenas y gravas con contenido en arcilla	4-8	6
Rocas metamórficas e ígneas	2-8	4
Arenas y gravas	6-9	8
Volcánicas	2-10	9
Calizas carstificadas	8-10	10
C) RANGO CONDUCTIVIDAD (m / día)	VALOR	
< 4	1	
4-12	2	
12-28	4	
28-40	6	
40-80	8	
> 80	10	

Mapa de Vulnerabilidad de La Almachá
(método DRASTIC)

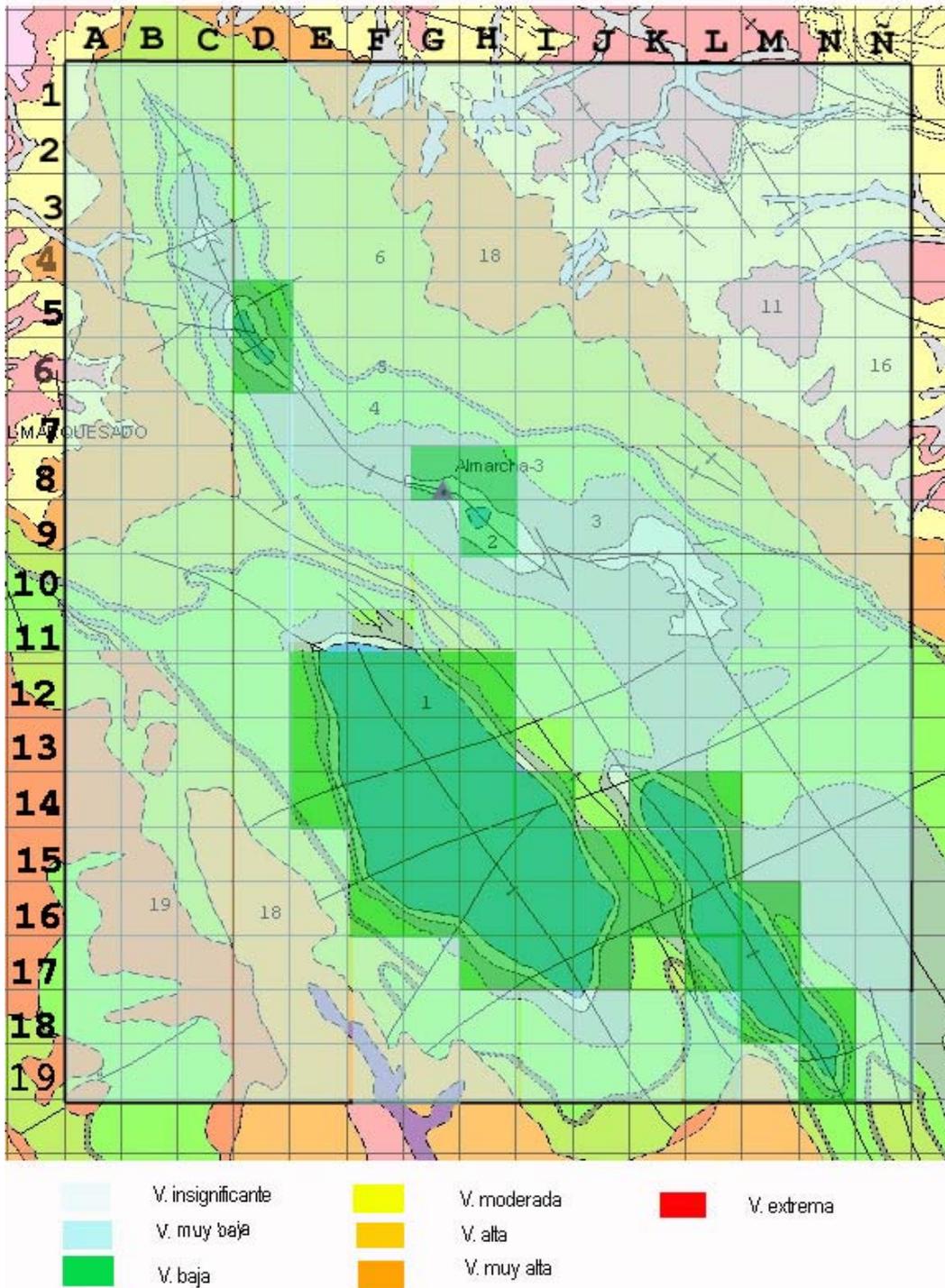


Figura 9. Mapa de estimación de la vulnerabilidad mediante el método DRASTIC.

3.4. Perímetro de protección de las captaciones

Habitualmente se recomienda para el diseño de un perímetro de protección de captaciones para abastecimiento urbano la definición de tres zonas de protección:

- 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 del terreno.
- 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.

En el presente documento se propone el perímetro de protección para el sondeo Almarcha-3, que explota un acuífero carbonatado cretácico de carácter fundamentalmente confinado, adaptándolo a un acuífero kárstico, así existirán zonas de menor circulación vertical y zonas de mayor circulación horizontal por mayor fracturación o disolución en las mismas.

1) Para la definición de **zona de restricciones absolutas** se propone aplicar un área fija que contemple el vallado y protección del área que encierre el sondeo perforado. El vallado propuesto es un cuadrado de aproximadamente 15x15m de lado y de coordenadas aproximadas las que aparecen en la Tabla 6 y figura 10.

Las captaciones deben estar adecuadamente protegidas de efectos exteriores: cierre de la cabeza de la tubería del sondeo, un suave cono con una inclinación para la circulación de agua, con un diámetro de unos 2 m y aislamiento del exterior.

En el interior de este vallado queda prohibida toda actividad agrícola, ganadera, urbana e industrial.



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

2) Para determinar **la zona de protección próxima o de restricciones máximas se puede establecer como método el de radio en función del tiempo de tránsito** (IGME, 1991):

La ecuación volumétrica es la siguiente:

$$Qt = m * b\pi R^2$$

$b\pi R^2$ = Volumen total del cilindro

$m * b\pi R^2$ = Volumen de agua contenido

Siendo:

Q = caudal bombeado

t = tiempo de tránsito hasta la captación

m = porosidad eficaz del acuífero

b = espesor saturado en la captación

R =radio del perímetro de protección

Si consideramos el sondeo de **Almarcha-3**, con un caudal de bombeo continuo de **8 L/s**, un tiempo de tránsito de **50 días**, la porosidad eficaz del acuífero carbonatado jurásico confinado **$5 \cdot 10^{-5}$** y un espesor saturado igual a **90 m** de rejilla, el radio de perímetro de protección obtenido es de **1105 m**. Si en vez de considerar como tramo saturado el espesor de la rejilla, se toma el espesor total de calizas productivas en la captación, el radio obtenido es de **770 m**.

Con estos datos y tomando como radio de influencia los 1105 m obtenidos en la ecuación anterior, se propone proteger a los materiales jurásicos aflorantes así como a los cretácicos detriticos suprayacentes que pueden alimentar por goteo a las calizas jurásicas y que se encuentren dentro de ese radio. Ninguno de los focos de contaminación puntuales se encontrarían en el campo de influencia del sondeo. El más próximo sería la escombrera, ubicada a aproximadamente 2,5 km al ENE del sondeo en una zona de vulnerabilidad muy baja según el método DRASTIC, a pesar de situarse sobre materiales carbonatados cretácicos. Según la Tabla 7, de la serie de actividades que han de ser restringidas, las de carácter agrícola serían las aplicables en este caso. Es decir, quedaría **prohibida la aplicación en las zonas cultivadas de**

fertilizantes y plaguicidas, así como también cualquier actividad relacionada con la ganadería (figura 11, tabla 6).

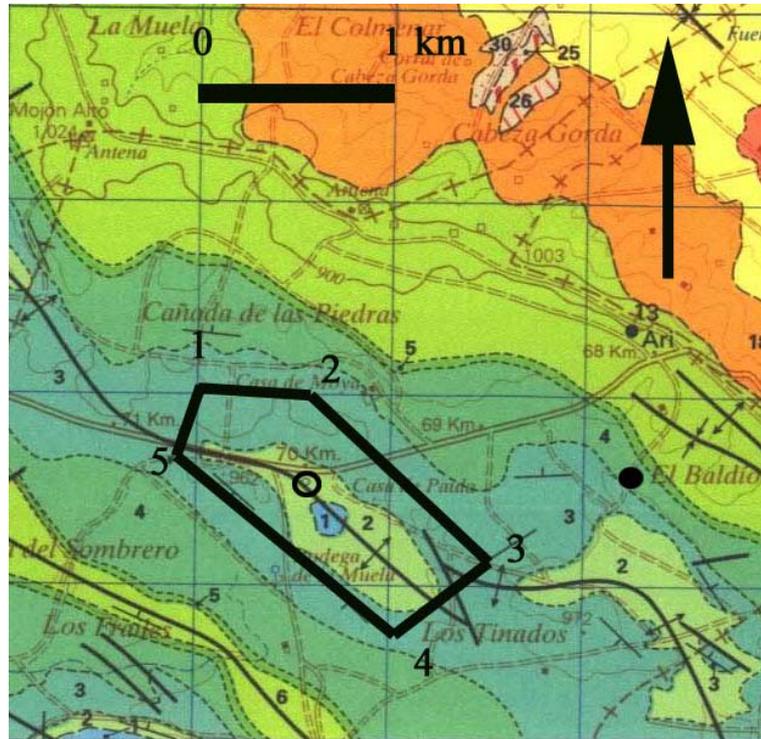


Figura 11. Mapa de la propuesta del perímetro de protecciones máximas (la leyenda litológica en los anexos, correspondiente a la Hoja 662).

3) Para el establecimiento de la **zona alejada o de restricciones moderadas se han empleado criterios hidrogeológicos** conjuntamente con el método del **radio en función del tiempo de tránsito** y se protegerán, con el criterio empleado para la zona de restricciones máximas, los afloramientos jurásicos y detríticos cretácicos dentro del radio estimado, que será, para un tiempo estimado de **cuatro años**, de **5975 m** considerando como espesor saturado solamente el enfrentado a la rejilla del sondeo y de **4162 m** si se considera que la totalidad del espesor saturado (figura 12, tabla 5).

Las actividades a restringir dentro de este perímetro vienen recogidas en la Tabla 6.

Respecto al **establecimiento del perímetro de protección de la cantidad** la propuesta del perímetro de protección de la cantidad es la misma que la del área de restricciones moderadas, considerando donde, según la estructura, se puede captar el acuífero o los límites definidos por la depresiones terciarias. Los sondeos que se perforen dentro del perímetro de protección, no deben afectar al sondeo del Ayuntamiento, por lo que se les deberá exigir la realización de un ensayo de bombeo y controlar durante la realización del mismo que no afecte notablemente al sondeo municipal. Según la USEPA, se admite un descenso máximo en la captación debido a influencia de otros sondeos de 15 cm (figura 12, tabla 5).

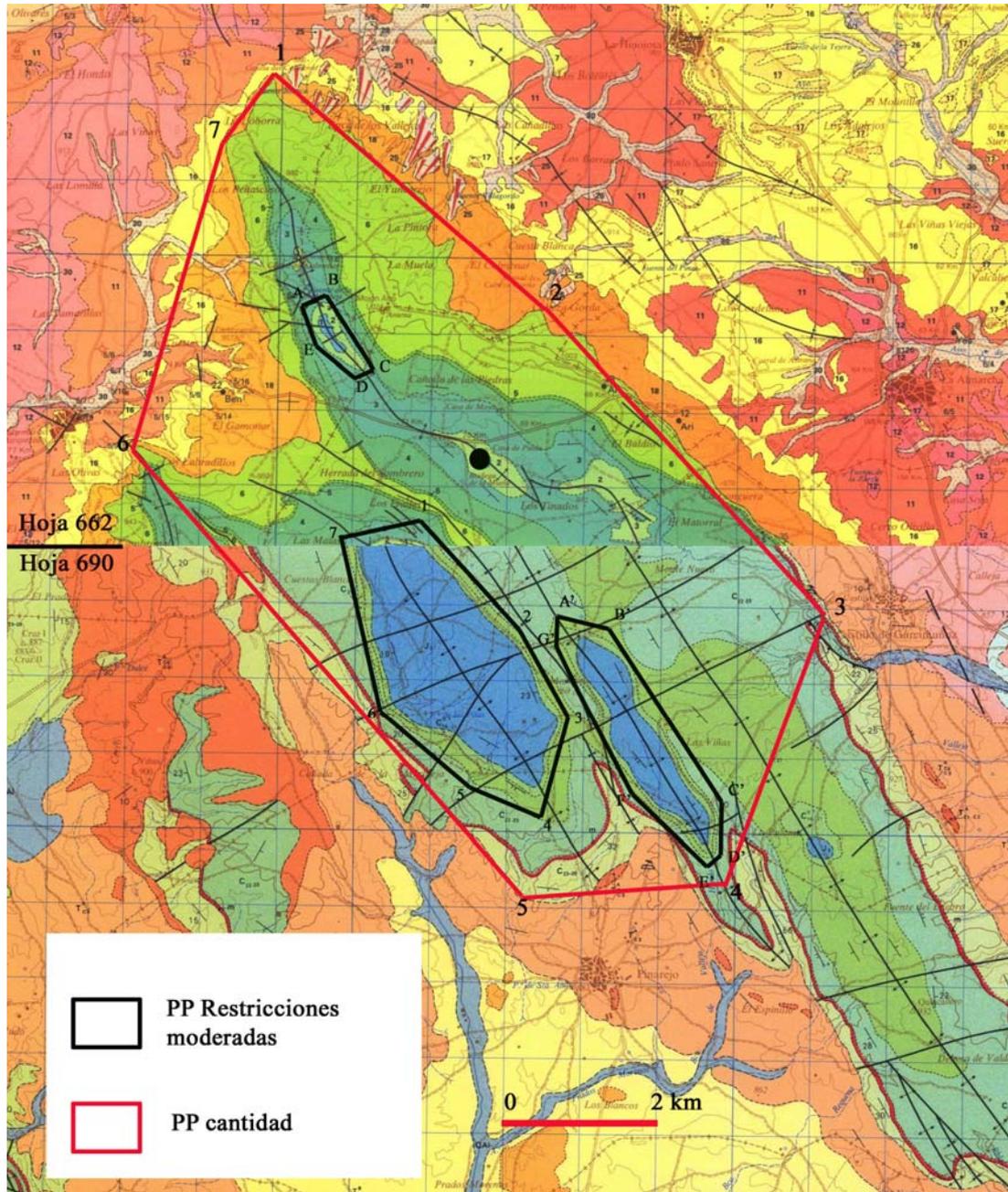


Figura 12.- Perímetro de protección de cantidad y calidad propuesto para restricciones moderadas.

Tabla 5. Poligonal envolvente del perímetro de protección de la cantidad y de la calidad propuesto.

	Nº PUNTO	UTM (X)	UTM (Y)	Z (m s.n.m.)
RESTRICCIONES ABSOLUTAS	A	547350	4392595	950
	B	547365	4392595	950
	C	547350	4392580	950
	D	547365	4392580	950
ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS	1	546977	4393093	960
	2	547557	4393013	965
	3	5485421	4392069	956
	4	547797	4391749	950
	5	546913	4392721	955
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS	A	545189	4394585	940
	B	545605	4394801	970
	C	546333	4393553	980
	D	545957	4393433	965
	E	545333	4393929	965
	1	547166	4391593	940
	2	548230	4390025	940
	3	549094	4388945	940
	4	548566	4387489	960
	5	547710	4387921	950
	6	546438	4389169	940
	7	545982	4391305	940
	A'	548742	4390193	950
	B'	549470	4390041	980
	C'	551118	4388057	930
	D'	551014	4387017	930
	E'	550822	4386825	940
	F'	549934	4387793	940
	G'	548798	4389785	960
ZONA DE PROTECCIÓN DE LA CANTIDAD	1	544875	4397336	900
	2	548819	4394736	920
	3	552356	4390312	930
	4	551028	4366672	900
	5	547452	4386264	900
	6	543067	4392392	900
	7	544387	4396552	890

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 6.

Madrid, diciembre de 2008

Los autores del informe

Marc Martínez Parra y Esther Alonso Marín

	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	•	•				•	
	Campings	•	•				•	
OTRAS	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 6. Definición de las actividades dentro del perímetro de protección restringidas o condicionadas.

4. BIBLIOGRAFÍA

IGME (1989): Las Aguas Subterráneas en España. Estudio de Síntesis.

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

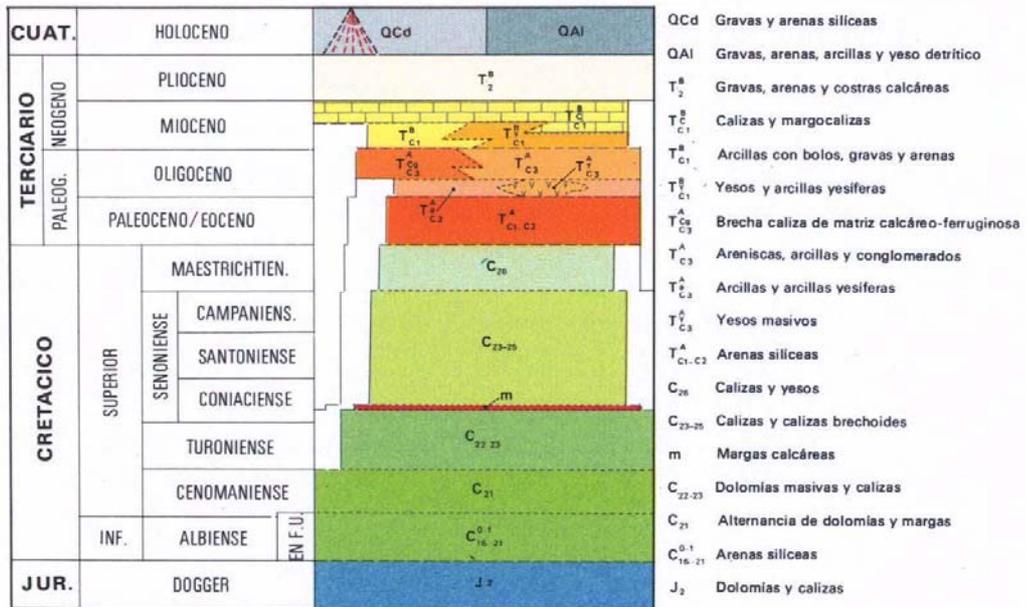
LEYENDAS GEOLÓGICAS

MAPA DE PENDIENTES

LEYENDA nº 662

CUATERNARIO	HOLOCENO		30	Gravas, arenas y lutitas (Fondos de valle)	
	PLEISTOCENO		29	Lutitas, arenas y gravas (Llanura aluvial)	
TERCIARIO	NEOGENO	MIOCENO INFERIOR	28	Gravas, arenas y arcillas (Conos de deyección)	
			27	Arcillas de decalcificación (Fondos de dolina)	
		OLIGOCENO	ARA.	26	Gravas, arenas y arcillas (Cotuviones)
			ORLEANIENSE	25	Gravas, arenas, y lutitas (Glacis)
	PALEOGENO	AGENIENSE	24	Terrazas travertínicas.	
			23	Gravas poligénicas y areniscas. (Terrazas)	
			22	Arcillas de tonos violáceos y yesos	
		ARVERNIENSE	21	Conglomerados	
			20	Arcillas, arenas, conglomerados y brechas	
		SUEVIENSE	19	Calizas	
	EOCENO	18	Arcillas, margas y calizas		
		17	Conglomerados		
	CRETÁCICO	SUPERIOR	PALEOCENO	16	Areniscas y conglomerados
				15	Areniscas y arcillas de tonos ocre y rojizos
14				Yesos blancos	
SENONIENSE			13	Arcillas y arcillas yesíferas rojas	
			12	Areniscas y arcillas	
			11	Calizas y areniscas blancas.	
			10	Arcillas y arenas de tonos rosado-anaranjados con intercalaciones calc.	
INFER.		ALBIENSE	9	Yesos blancos, arcillas rojas y verdes, margas amarillentas, calizas, dol. brechas (Fm. Arcillas, margas y yesos de Villalba de la Sierra)	
			8	Brechas dolomíticas y calizas tableadas grises (Fm. Brechas dolomíticas de Cuenca)	
			7	Margas amarillentas. (Fm. Margas de Alarcón)	
JURÁ.	DOGGER	F.U.	6	Dolomías masivas (Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada)	
		5	Margas amarillentas y dolomías tableadas. (Fms. Margas de Chera, Dolomías de Alatoz, Dolomías tableadas de Villa de Ves y Calizas y margas de Casa Medina)		
			4	Arenas y arcillas versicolores (Fm. Arenas de Utrillas)	
			3	Dolomías	

LEYENDA nº 690



Mapa de pendientes de La Almarcha

