



**PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN  
DE LA CAPTACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE  
ALMONACID DEL MARQUESADO (CUENCA)**

Febrero 2011

## ÍNDICE

### **1. Introducción**

#### **1.1 Ubicación**

#### **1.2 Situación actual de abastecimiento**

### **2. Estudios previos**

#### **2.1. Marco geológico: estratigrafía y estructura**

##### *2.1.1 Estratigrafía*

##### *2.1.2 Estructura*

#### **2.2 Marco hidrogeológico regional**

#### **2.3 Marco hidrogeológico local: formaciones acuíferas**

### **3. Propuesta de perímetro de protección**

#### **3.1. Inventario de potenciales focos de contaminación**

#### **3.2 Estimación de la vulnerabilidad**

#### **3.3. Perímetro de protección de las captaciones**

##### *3.3.1 Perímetro de restricciones absolutas*

##### *3.3.2 Perímetro de restricciones máximas*

##### *3.3.3 Perímetro de restricciones moderadas*

##### *3.3.4 Perímetro de protección de la cantidad*

### **4. Bibliografía**

## ANEXO

### **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, se redacta el presente informe en el que se establece el perímetro de protección de las captaciones de Almonacid del Marquesado, cuyas características se muestran a continuación.

### **1.1 Ubicación**

El municipio de Almonacid del Marquesado perteneciente a la comarca de La Mancha, se ubica a 85 km de Cuenca capital y a 12 km de la A-III, tomando desvío a la altura de Saelices. La situación geográfica del municipio se muestra en la Figura 1.

La zona de estudio pertenece a la Cuenca hidrográfica del Guadiana, en la zona de la Sierra de Altomira.

Posee una población residente estable de 486 habitantes (censo INE 2010) aunque la población estacional en el municipio aumenta considerablemente en los meses de verano, sobrepasándose los 1000 habitantes.

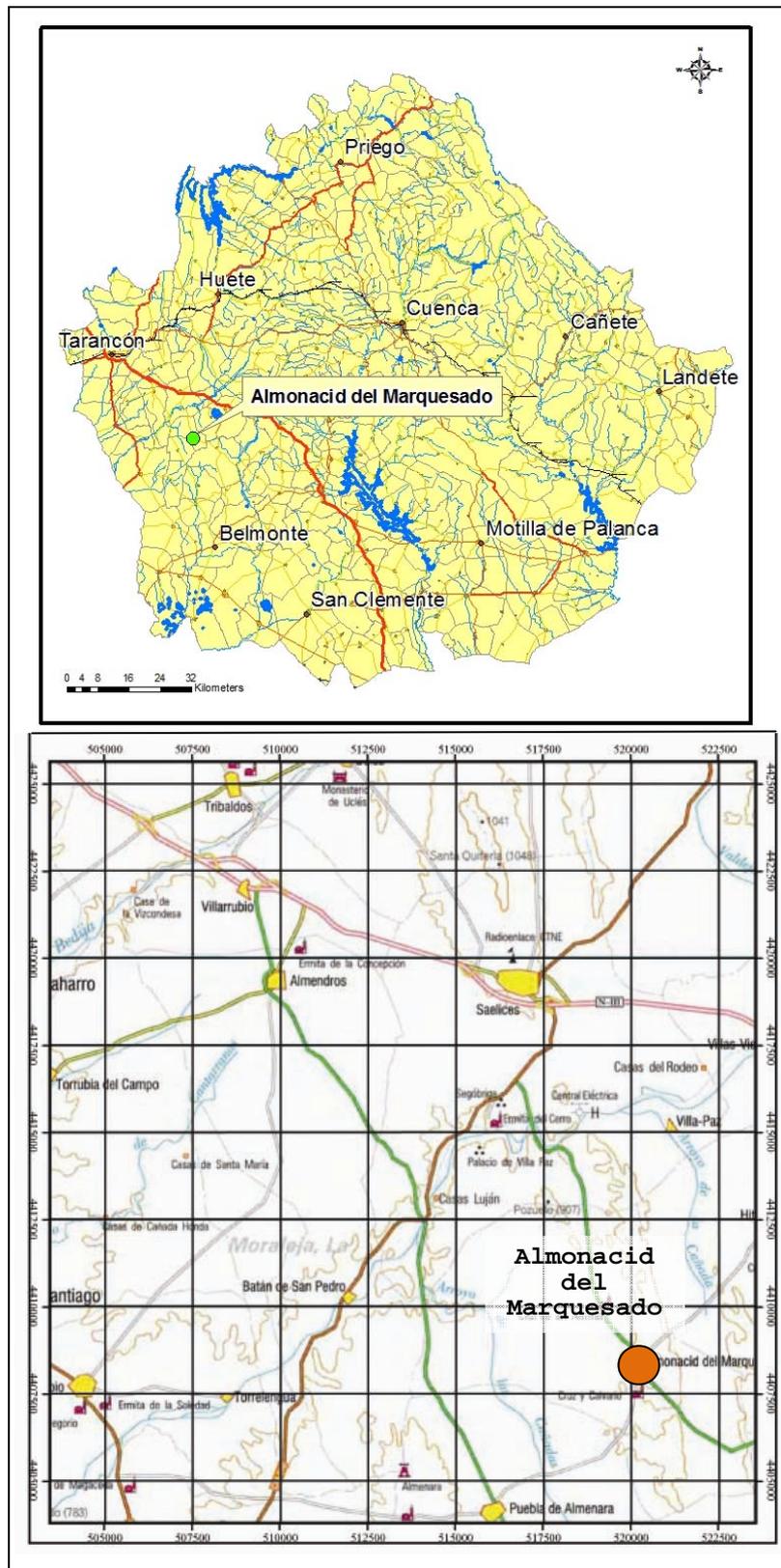


Figura 1. Mapa de ubicación de la localidad de Almonacid del Marquesado.

## **1.2 Abastecimiento actual de la localidad**

El sistema de abastecimiento estudiado engloba únicamente al núcleo de población de Almonacid del Marquesado y las características son las que se muestran en la siguiente Tabla:

<b>CAPTACIÓN</b>	<b>UTM X</b>	<b>UTM Y</b>	<b>Z (m)</b>	<b>C (<math>\mu</math>s/cm)</b>	<b>NP</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>Prof</b>	<b>T (m<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Año</b>	<b>Litología</b>
S-Camino del Hito	520474	4409374	910	626	105.50 (09/93)	5	300	10	1993	Calizas Jurásicas

**Tabla 1.** Características de la actual captación de abastecimiento de Almonacid del Marquesado.

## **2. ESTUDIOS PREVIOS**

### **2.1. Marco geológico: estratigrafía y estructura**

La zona de estudio se encuentra más o menos centrada en una de las estribaciones de la Sierra de Altomira, al sur del río Cigüela.

Los materiales que afloran en la zona de estudio son fundamentalmente mesozoicos: cretácicos y jurásicos, y también terciarios. Los materiales mesozoicos están representados por una serie predominantemente calcárea. Los materiales terciarios recubren parcialmente los anteriores y de interés hidrogeológico en la zona.

### 2.1.1 ESTRATIGRAFIA (MAGNA 661 y 663)

En la Figura 3 se muestra el mapa geológico de la zona y en el Anexo la leyenda del mismo.

#### JURASICO

**-Lías** ( Pliensbachiense-Hetangiense) (1) Carniolas, calizas y dolomías. Engloba tres formaciones:

Formación Carniolas de Cortes de Tajufía, constituida por dolomías oscuras muy recrystalizadas y carniolas, presentando mala estratificación. Se les supone un espesor de **50-100 m.**

Formación Calizas y dolomías tableadas de Cuevas Labradas, bien estratificadas, presentando bancos masivos de espesor métrico. Su potencia está comprendida entre **50-100 m.**

Formación Calizas y dolomías de Cuevas Labradas, constituidas por dolomías brechoides y carniólicas muy recrystalizadas y dolomías y calizas laminadas y masivas entre las que pueden aparecer niveles decimétricos de margas verdosas. La potencia oscila entre 50 y 60 m. pudiendo alcanzar los **100 m.**

**-Dogger-Lías superior** (2) Calizas micríticas y bioclásticas.

En concordancia con la serie anterior, sobre el "hard ground" que marca el techo de la formación Cuevas Labradas, se dispone una formación de calizas de grises a beige, a veces recrystalizadas, el espesor de esta unidad es de poco más de los 25 m.

A continuación aparece una serie de calizas micríticas grises, bien estratificadas, diferenciándose en la parte superior un tramo de dolomías cristalinas de color beige y amarillentas. La potencia total es del orden de los **80 m.**

**-Dogger** ( 3 ) Dolomías macrocristalinas. Este conjunto carbonatado de unos 20 m. de espesor está constituido por dolomías de grano grueso, estratificadas en capas y bancos de mediano espesor.

## **CRETACICO**

**-Cretácico inferior (4)** Alternancia de margas y calizas. Brechas calcáreas. Arenas de Utrillas.

El Cretácico inferior se encuentra representado por materiales calco-margosos y brechoides en Facies Weald y por los depósitos arenosos de la Formación Arenas de Utrillas.

El tramo inferior de la Facies Weald está constituido por una alternancia de lutitas y margas versicolores y calizas micríticas nodulizadas. La potencia es de unos **30 m**.

El tramo superior está formado por brechas calcáreas, a veces muy cementadas y otras recristalizadas con un espesor entre los 20 y 40 m.

Sobre el tramo anterior se dispone la Formación Arenas de Utrillas, litológicamente constituida por arenas y areniscas de grano fino, rojas, amarillentas y blancas, arcillas versicolores y esporádicamente cantos cuarcíticos subredondeados de pequeño tamaño. El espesor es variado, el máximo reconocido en la zona es de unos **40 m**.

**-Cretácico superior Turoniense-Cenomaniense (5)** Dolomías y margas.

Constituidas por las tres siguientes formaciones:

Formación Dolomías tableadas de Villa de Ves. Se trata de una sucesión de dolomías estratificadas que presentan niveles margosos intercalados. Su potencia es de unos **50 m**.

Formación Margas de Casa Medina. Formada por margas grises bioturbadas. La potencia es de **7 a 12 m**.

Formación Dolomías de la Ciudad Encantada. Constituida por dolomías masivas, cristalinas, estratificadas en gruesos bancos.

**- Coniaciense (6)** Margas.

Sobre las dolomías de la unidad anterior se disponen del orden de 10 a 20 m. de margas grises, ocre y verdes, entre las que se intercalan algunos nódulos calcáreos y niveles calco-dolomíticos.

**-Campaniense-Santoniense (7)** Calizas, brechas, dolomías y margas.

Este conjunto de materiales calcáreos se dispone mediante un contacto brusco y rápido sobre las margas de la unidad anterior y suele presentar una gran variedad litológica.

En la zona se presenta bajo el mismo aspecto de brechas calcáreas y dolomíticas con un grado variable de recristalización, aunque también se han diferenciado dos subunidades en las que el tramo basal se caracteriza por la presencia de dolomías y calizas dolomíticas tableadas, con planos de estratificación a veces difusos y generalmente presentando una cierta brechificación, y un tramo superior constituido por dolomías, brechas y margas que se caracterizan por presentar un aspecto masivo y brechoide.

#### **-Cretácico de transición (8) Margas, arcillas y yesos.**

El Cretácico de transición está constituido por la Formación Margas, arcillas y yesos de Villalba de la Sierra, constituida por una sucesión de margas abigarradas grises y verdes; yesos masivos, alabastrinos y nodulares con intercalaciones margosas; margas verdosas; areniscas blanquecinas de grano fino; arcillas rojizas y margas yesíferas; acabando con yesos masivos grisáceos con niveles de margas yesíferas. La potencia es muy variable pudiendo alcanzar los 250 m.

### **TERCIARIO**

#### **- Paleógeno-Neógeno (9) Limos, arenas y gravas con yesos, margas y calizas.**

Parte de la zona está ocupada por sedimentos terciarios que se reparten entre el Paleogeno inferior y el Mioceno superior.

Las unidades cartografiadas, generalmente son heterolíticas, con mayor profusión de materiales limo arenosos y yesíferos, siendo de orden secundario los materiales de naturaleza conglomerática y los de naturaleza calcárea.

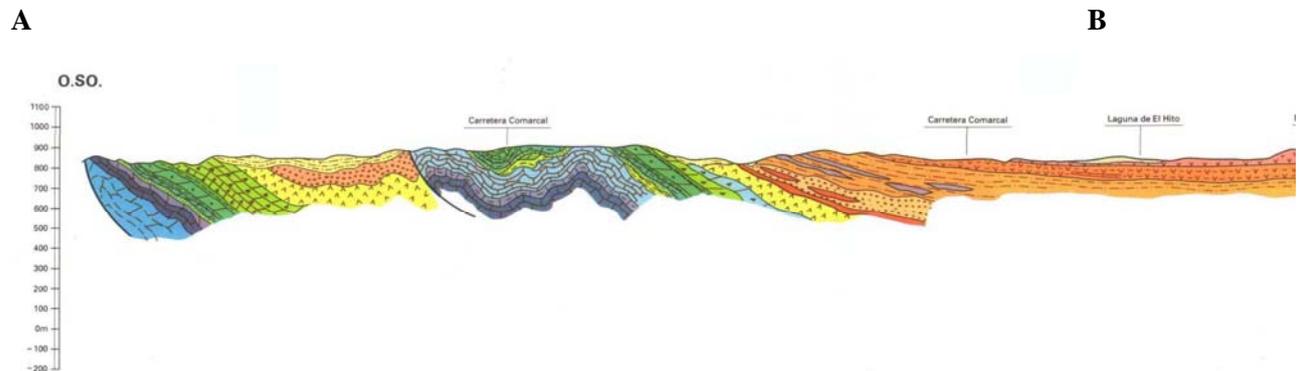
### **CUATERNARIO (10)**

Formado por coluviones, aluviales, terrazas y depósitos lacustres, están constituidos por gravas, arenas y escasos limos.

### 2.1.2. ESTRUCTURA

Todo el área de estudio se encuentra influenciada por la tectónica que afecta a la Sierra de Altomira; presenta pliegues alargados orientados en dirección N-S, con suaves inflexiones y buzamiento generalmente inferior a los  $35^\circ$ , que pueden estar verticalizados en los flancos.

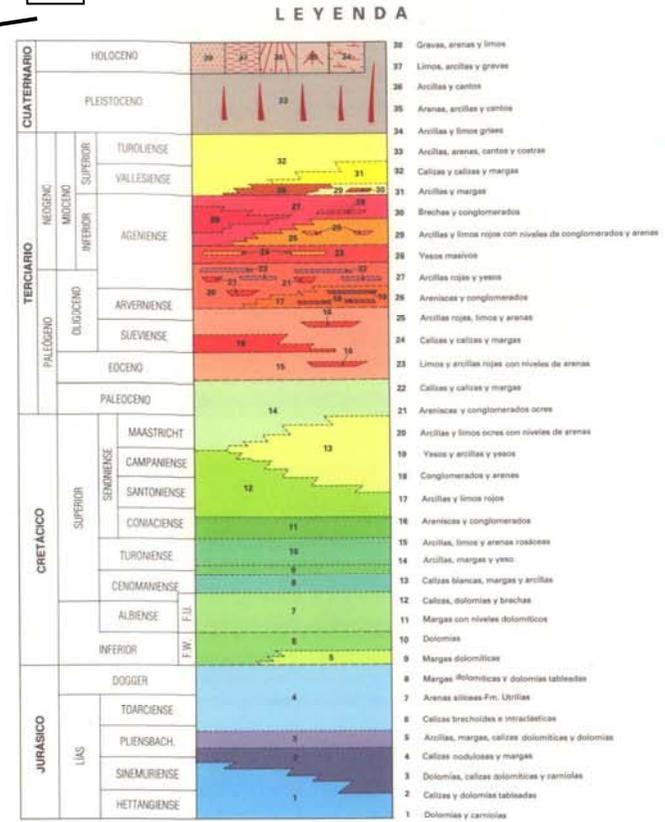
Los depósitos terciarios se disponen discordantes sobre los materiales mesozoicos, más o menos subhorizontales o con ligeros buzamientos, como se aprecia en la Figura 2.



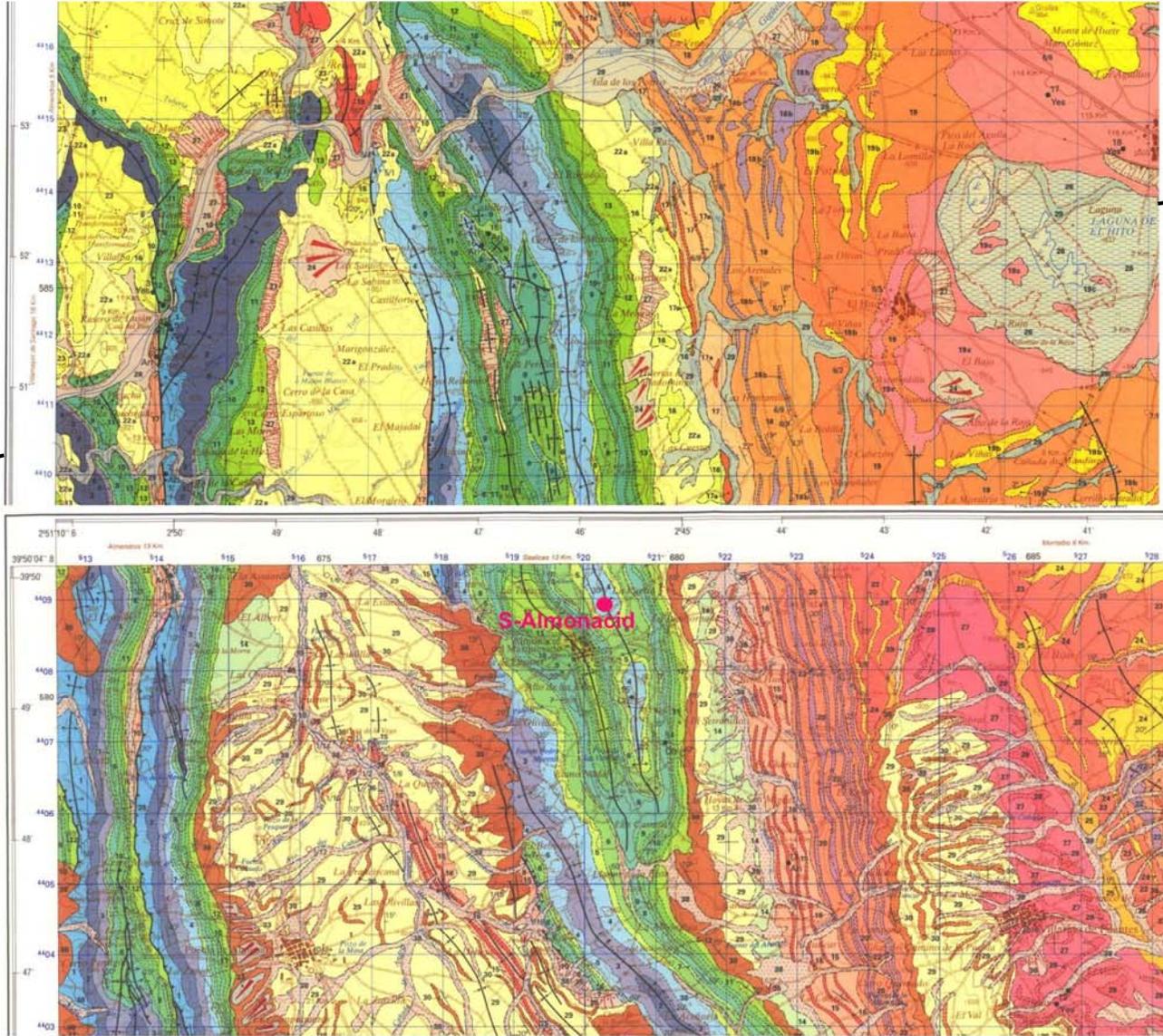
**Figura 2.** Corte geológico de las inmediaciones del sondeo de Almonacid del Marquesado.

Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio

B



A



## **2.2 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 4.

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 6).

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 (IGME, 1983).

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 calcodolomíticos 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, sobretudo 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.

Según el mapa de permeabilidad de la Figura 5, a la zona de estudio le corresponde una **permeabilidad alta** por disolución y/o fisuración.

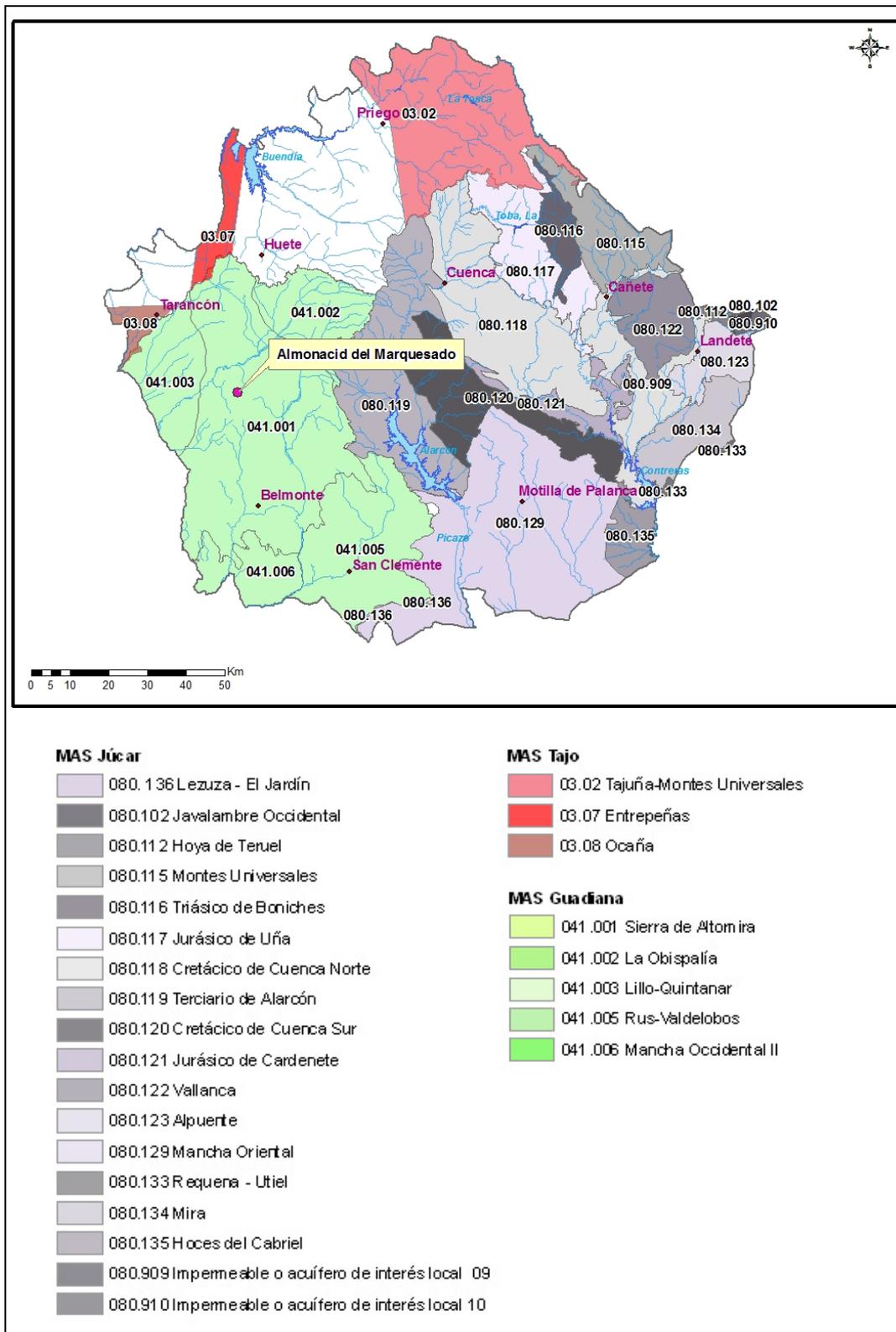
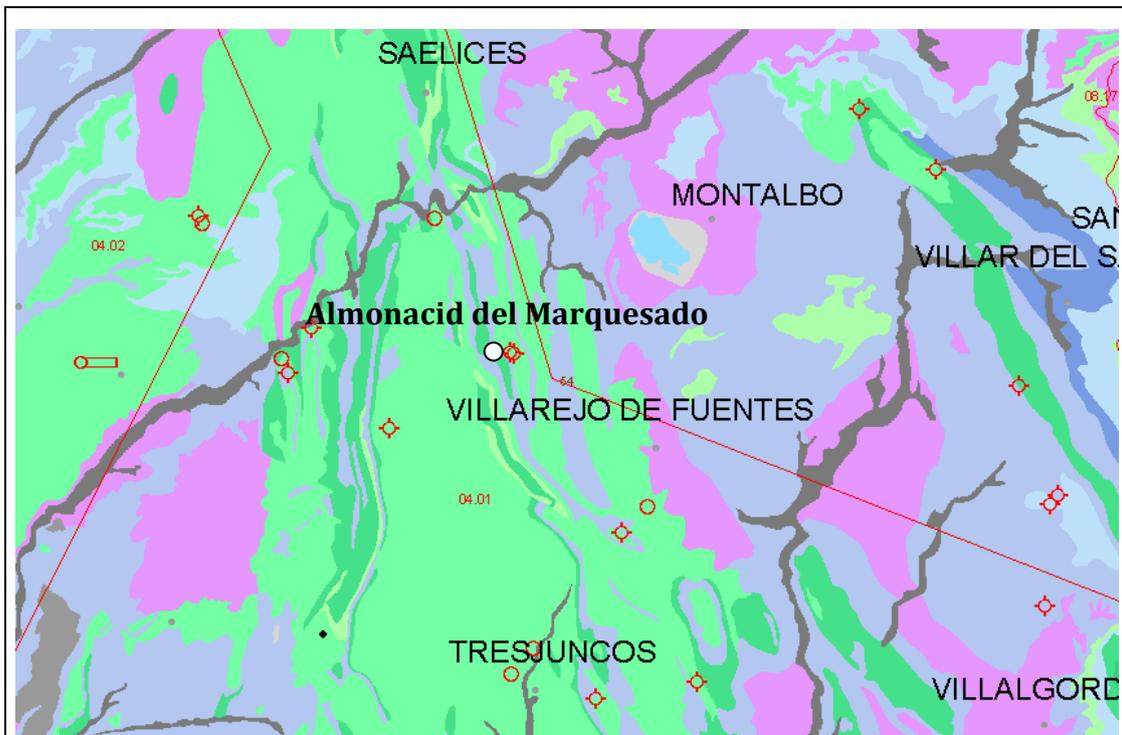


Figura 4. Masas de Agua Subterránea y Unidades Hidrogeológicas de la provincia de Cuenca.

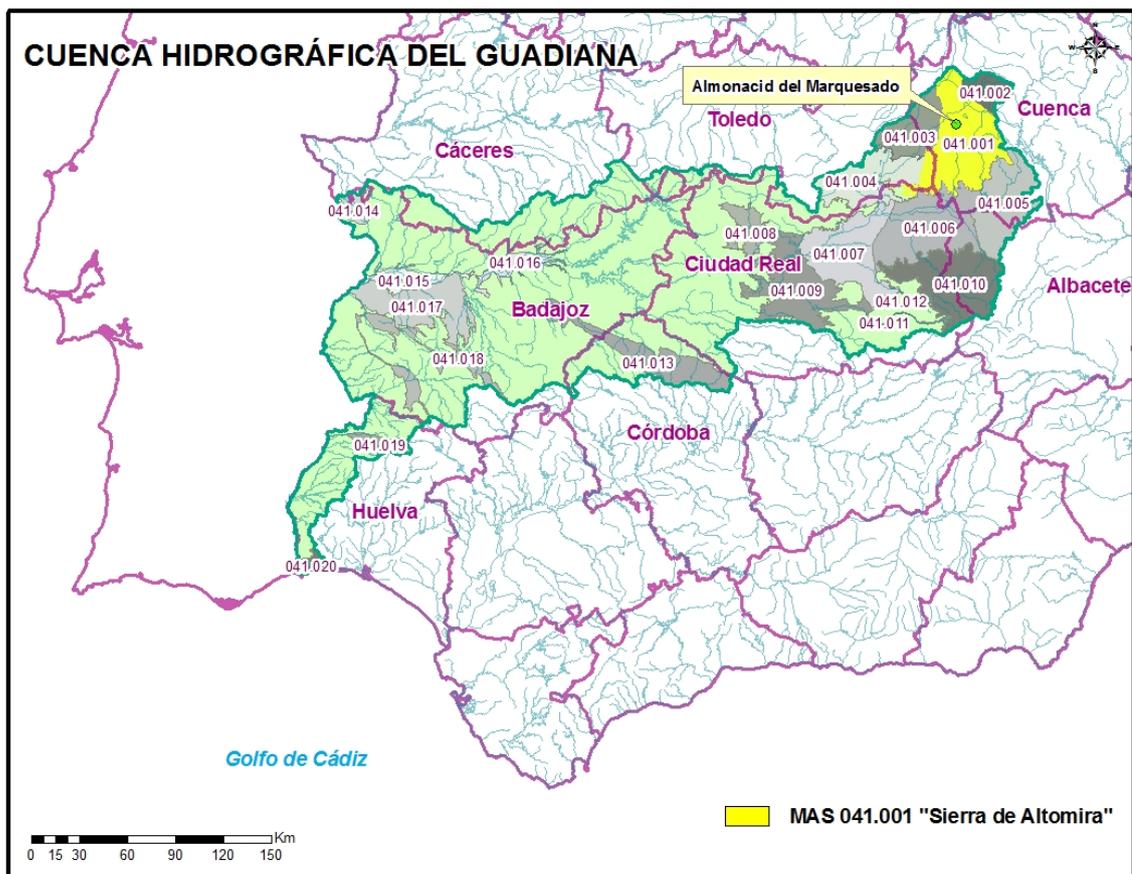


**PERMEABILIDAD**

LITOLOGÍAS		PERMEABILIDAD					
		MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	
CON AGUAS UTILIZABLES	FISURABLES Y SOLUBLES	CARBONATADAS	C-MA	C-A	C-M	C-B	C-MB
		DETRÍTICAS (Cuaternario)	Q-MA	Q-A	Q-M	Q-B	Q-MB
	POROSAS	DETRÍTICAS	D-MA	D-A	D-M	D-B	D-MB
		VOLCÁNICAS (Piroclásticas y lávicas)	V-MA	V-A	V-M	V-B	V-MB
		META-DETRÍTICAS	M-MA	M-A	M-M	M-B	M-MB
	POROSAS POR METEORIZACIÓN	IGNEAS	I-MA	I-A	I-M	I-B	I-MB
SOLUBLES		EVAPORÍTICAS	E-MA	E-A	E-M	E-B	E-MB
	CON AGUAS NO UTILIZABLES O DE MUY BAJA CALIDAD						

Figura 5. Mapa de permeabilidad de la zona de estudio.

La facies hidroquímica de este sistema acuifero es bicarbonatada cálcica y sulfatada cálcica, con conductividades que varían entre 372 y 3100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y una concentración media de nitratos de 26 mg/l. La superficie regada, preferentemente con aguas subterráneas, es de 13344 ha (DGOH-IGME (1988)). Para abastecimiento urbano se calcula un total de 8.7  $\text{hm}^3/\text{año}$ .



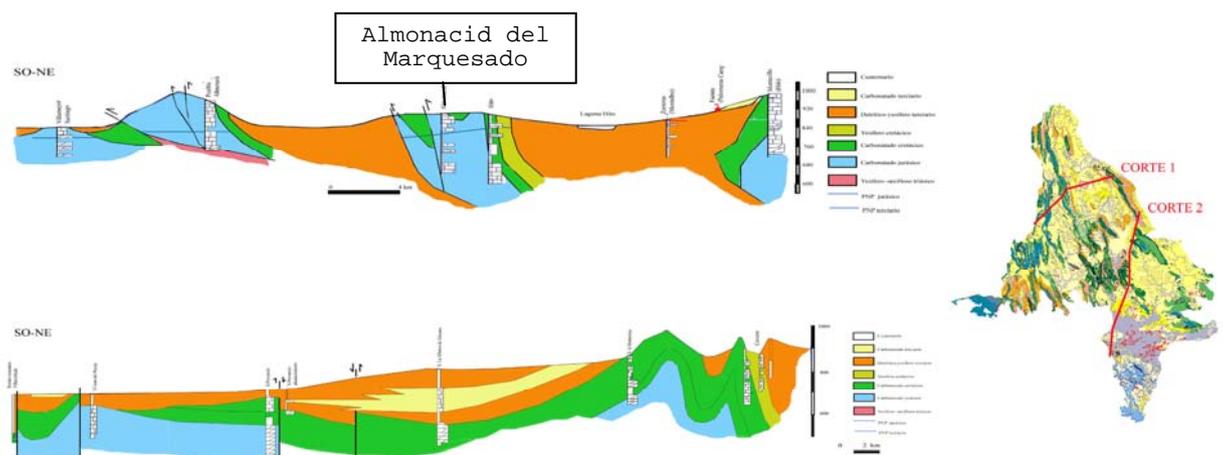
**Figura 6.** Cuenca hidrográfica del Guadiana y delimitación de sus Masas de Agua subterránea. En amarillo la MAS 041.001 “Sierra de Altomira”

### 2.3. Marco hidrogeológico local

La Masa de Agua Subterránea “Sierra de Altomira” presenta una dirección de flujo preferencialmente hacia el sur, a excepción de la zona más septentrional de la misma en la que las aguas se dirigen localmente hacia el norte, hacia la línea de drenaje que supone el río Cigüela. Almonacid del Marquesado se ubica en esta zona en la que el flujo es localmente hacia el norte.

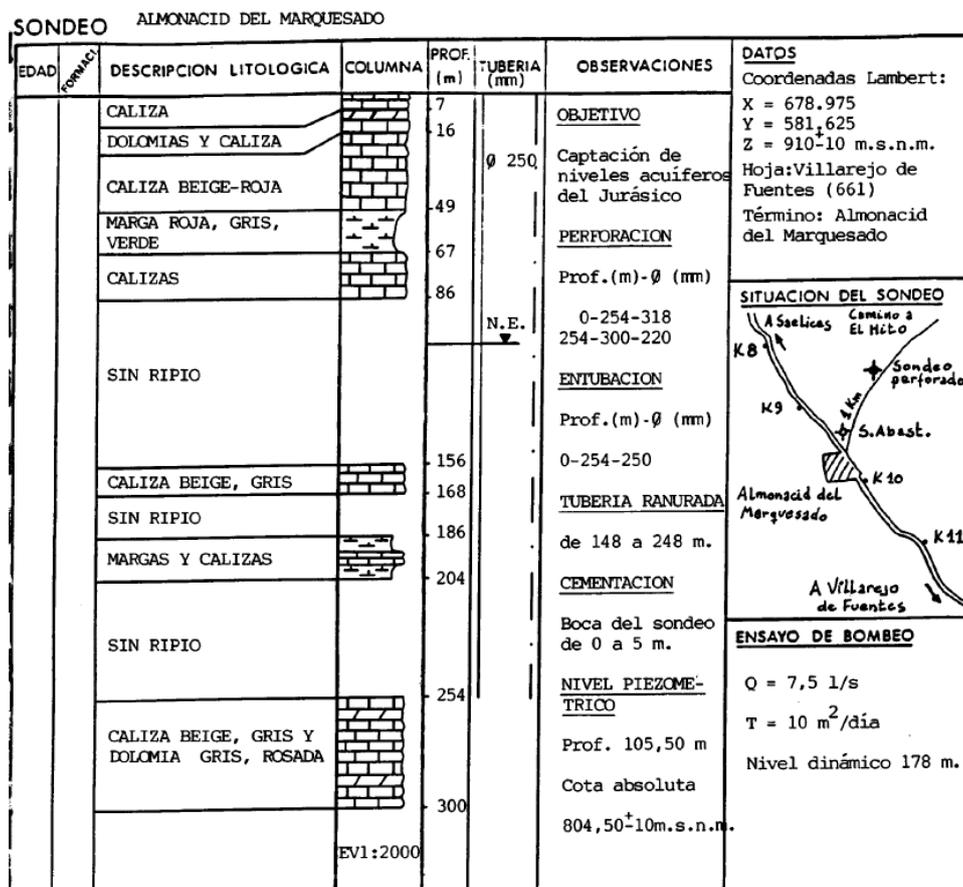
En un estudio todavía inédito del IGME/diputación de Cuenca se han descrito distintos sistemas acuíferos independizados entre sí tanto para los acuíferos jurásicos como para los cretácicos, que pueden tener conexiones entre sí, pero que, debido a la compleja estructura existente, estarán independizados. Según este estudio, la zona de Almonacid se engloba en las estructuras llamadas Subunidad Jurásica *Anticlinal Saelices-Almonacid* y *Almonacid- San Clemente*.

**SAJ Anticlinal Saelices-Almonacid:** Estrecho anticlinal dispuesto de N a S, de longitud próxima a los 50 km y anchura de 2 a 3 km, junto a varios cabalgamientos y escamas (se han reconocido cinco escamas en Rozalén del Monte), vergentes hacia el O. Su flanco oriental es suave mientras que el occidental está verticalizado e incluso invertido.



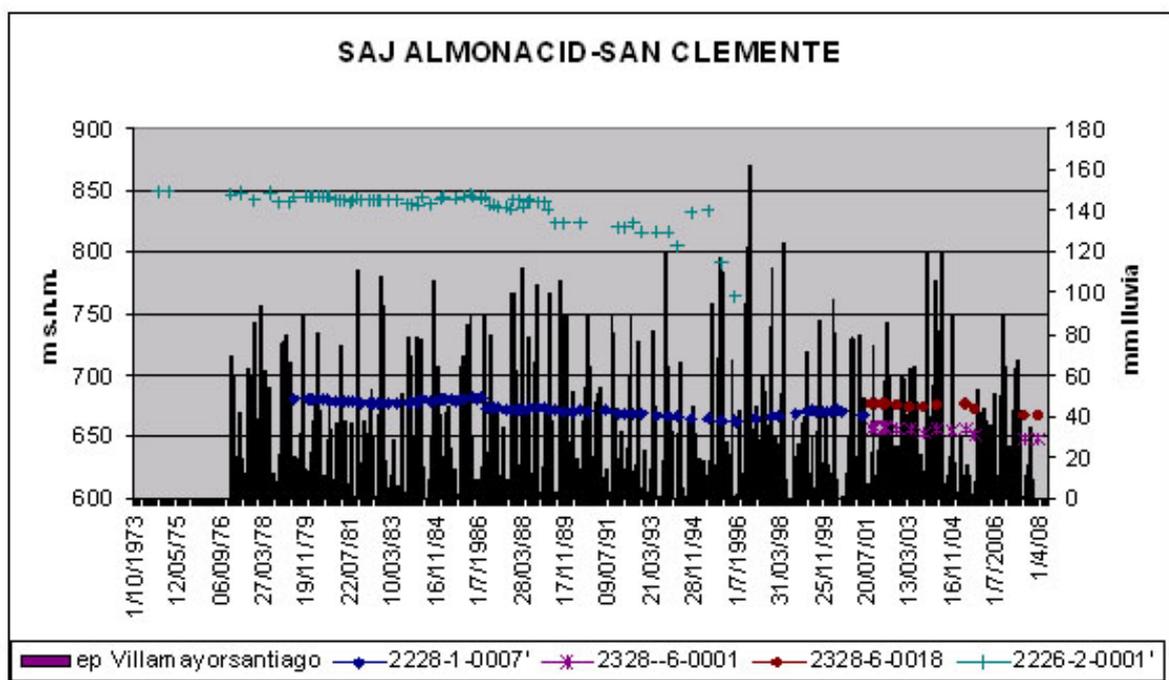
**Figura 7.** Cortes de detalle de la MAS “Sierra de Altomira”

**S.A.J. Almonacid-San Clemente.** Corresponde al de mayor superficie, ocupando casi toda la franja central de la masa. Está limitado por la depresión de Tresjuncos al O y la depresión de El Hito y de Rus al E. Existen pocos afloramientos, encontrándose muy cubierto por los materiales cretácicos, sin embargo se encuentra muy fracturado y karstificado. Así en el sondeo de Almonacid del Marquesado (Figura 8) se identificaron cavernas a 86 m de profundidad. En general el conjunto se encuentra estructuralmente afectado por estrechos pliegues de orientación NO-SE. En la zona meridional se captan todos los tramos acuíferos jurásicos, mientras que al S, donde se encuentran cubiertos por los depósitos cretácicos, se capta el tramo superior. Se dispone de pocos ensayos, con transmisividades bajas al N ( en Almonacid en torno a  $10 \text{ m}^2/\text{día}$ ) incrementándose al S ( $500\text{-}2.000 \text{ m}^2/\text{día}$ ). Los caudales de explotación también se incrementan al S, pasando de 7,5 l/s a los 40 l/s. La circulación del flujo es hacia el S. Aunque al N se define un flujo menor que circula hacia el río Cigüela, como en el caso de Almonacid del Marquesado.



**Figura 8.** Esquema de detalle del sondeo de Almonacid del Marquesado

En el **S.A.J. Almonacid-San Clemente**, se observa que en el N la cota piezométrica se encuentra a 820-850 m s.n.m. mientras que hacia el S, en Las Pedroñeras y San Clemente la cota se encuentra entre 650-680 m s.n.m. Esta diferencia de cota, de hasta 200 m indica la desconexión de los acuíferos jurásicos existentes; así en la parte septentrional su circulación será hacia el río Cigüela, al N y NO mientras que hacia el S drenarán hacia los ríos Saona, Záncara y Rus. La tendencia en todos ellos es la del descenso continuado, interrumpido por la influencia de las lluvias de finales del año 1995, que produjo una recuperación que se mantuvo hasta inicios del año 2000.



**Figura 9.** Evolución piezométrica S.A.J. Almonacid-San Clemente.

Subacuífero jurásico	Cota piezométrica más antigua (m s.n.m.)	Cota piezométrica más moderna (m s.n.m.)	Diferencia (m)
SAJ Saelices	802.17 (2/1980)	797.67 (7/1987)	-4.5
SAJ Sierra de Almenara	775.24 (11/1988)	758.24 (10/2002)	-17
SAJ Almonacid-San Clemente	680.35 (5/1979)	668.46 (5/2001)	-11.89

**Figura 10.** Comparación de los descensos piezométricos para las tres SAJ descritas.

La naturaleza del agua del manantial es bicarbonatada cálcica como se aprecia en los análisis que se adjuntan:

Referencia Toma:	Muestra 1 15-9-93	Muestra 2 16-9-93
Sodio, Na	3 mg/L	2 mg/L
Potasio, K	1 "	1 "
Amonio, NH <sub>4</sub>	Ausencia	Ausencia
Magnesio, Mg	43 "	39 "
Calcio, Ca	79 "	80 "
Cloruros, Cl	7 "	6 "
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	88 "	101 "
Bicarbonatos, CO <sub>3</sub> H	332 "	332 "
Carbonatos, CO <sub>3</sub>	0 "	0 "
Nitratos, NO <sub>3</sub>	34 "	25 "
Nitritos, NO <sub>2</sub>	<0,01 "	<0,01 "
Fosfatos, PO <sub>4</sub>	<0,05 "	<0,05 "
Sílice, SiO <sub>2</sub>	13,5 "	12,6 "
Sólidos disueltos	600 "	599 "
pH	7,6	7,5
Conductividad a 20°C	626 μS/cm	619 μS/cm

Madrid, 29 de Octubre 1993

**Tabla 2.** Características físico-químicas del sondeo de Almonacid del Marquesado

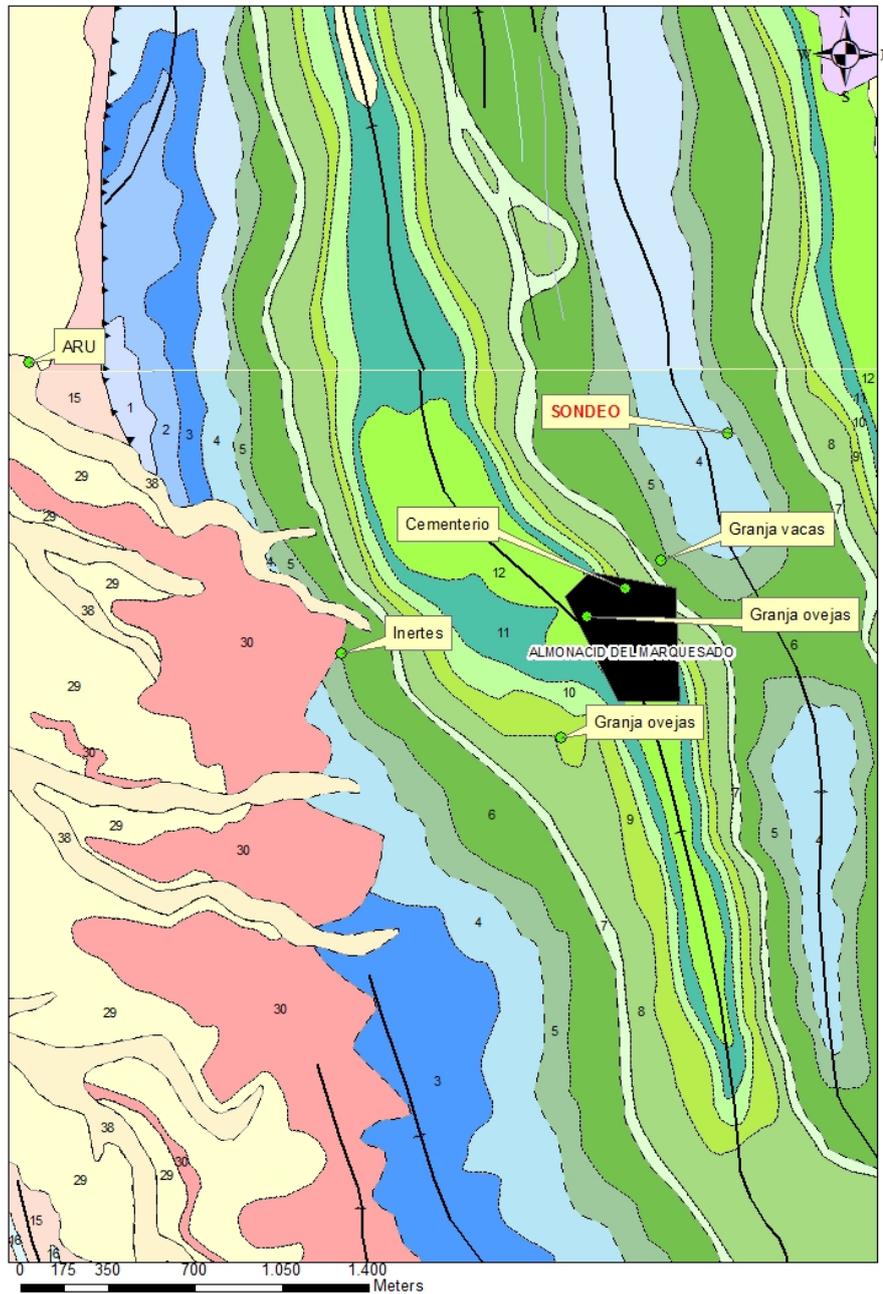
### 3. PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

#### 3.1. Inventario de potenciales focos de contaminación

Según el trabajo realizado por el IGME en la visita a Almonacid del Marquesado el día 23 de febrero de 2011 se observan seis focos potenciales de contaminación en las inmediaciones de la captación que podrían estar influyendo negativamente en la calidad del agua de las mismas. Estos focos, situados en la Figura 11 quedan reflejados en la siguiente tabla:

Foco contaminante	UTM_X	UTM_Y	Distancia captación	Contaminación potencial
ARU (sin tratar)	517542	4409537	2800	Materia orgánica, contaminación bacteriológica, aceites y grasas, detergentes, etc
Vertedero inertes	518795	4408354	1800	Variado
Cementerio	519938	4408620	760	Fosfatos
Granja de vacas	520082	4408734	585	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de ovejas	519679	4408012	1400	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de ovejas	519783	4408502	950	Nitratos, fosfatos y potasio
Campos de cultivo de secano	Areal			Nitratos, fosfatos y potasio

**Tabla 3.** Potenciales focos de contaminación en el entorno de Almonacid del Marquesado.



**Figura 11.** Ubicación de los principales focos de contaminación en el entorno de la captación de Almonacid del Marquesado.

Se observa que los principales focos de contaminación se ubican todos aguas arriba de la captación ya que como se explica en el apartado de hidrogeología local, en la zona de Almonacid el flujo subterráneo es localmente hacia el norte, hacia el río Cigüela.



**Figura 12.** (de izda a dcha y de arriba abajo). (1)Vertido de aguas residuales sin tratar y parcela donde se va a ubicar la depuradora. (2) Zona de pasto de ganadería vacuna. A su través pasa la tubería de agua desde el sondeo al depósito (al fondo). (3)Vertedero de inertes. Punto limpio en construcción. (4) Granja de ovejas, en el núcleo urbano.

### **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 su realización existen distintos métodos, como el método GOD utilizado en el presente estudio. Este método propuesto por

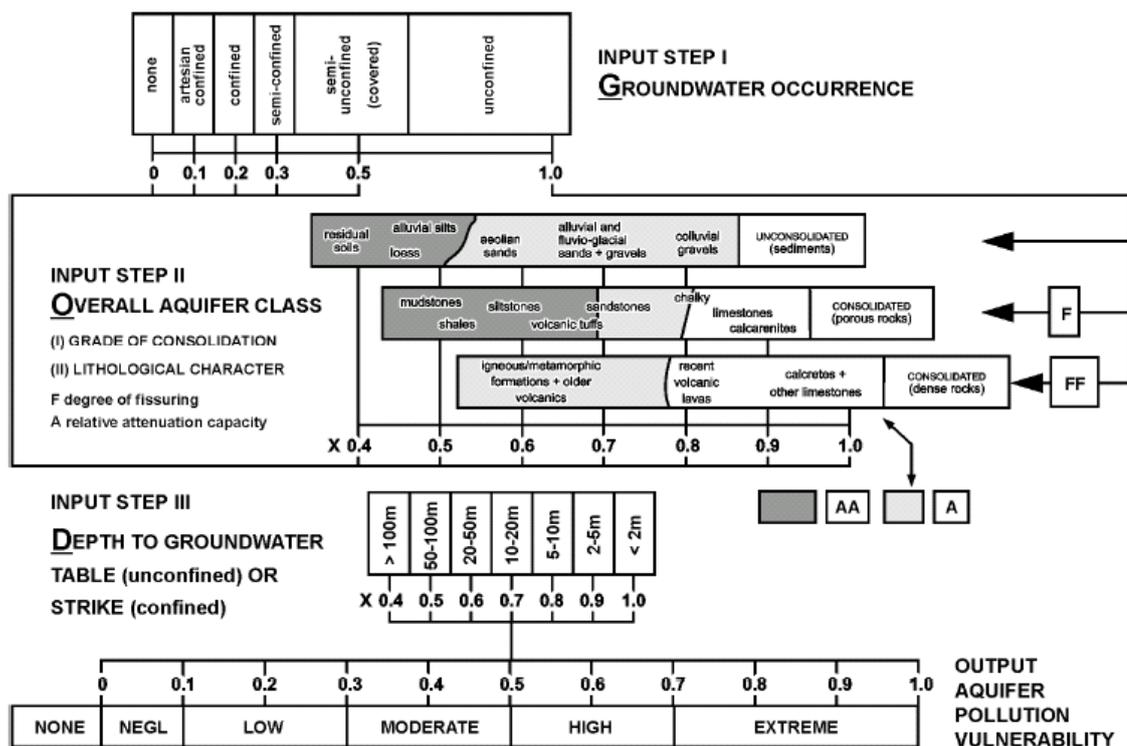
Foster (1987) se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables (G, O, D) las cuales conforman el acrónimo:

G- tipo de acuífero.

O- litología de cobertura del acuífero

D- profundidad del agua o del acuífero.

En la Figura 13 (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 13.** Esquema de la valoración del índice GOD.

La captación drena los materiales carbonatados jurásicos del por medio de un sondeo de 300 m de profundidad y caudal de explotación suficiente para satisfacer la demanda del pueblo.

La zona se ha dividido en celdas de aproximadamente 580m x 580 m cada una, para las que se calculará independientemente el valor de cada uno de los parámetros GOD teniendo en cuenta el tipo de acuífero, profundidad del nivel piezométrico, materiales suprayacentes y características generales del flujo subterráneo.

Aunque el sondeo se encuentra perforado directamente sobre las calizas jurásicas, vamos a considerar que las calizas drenadas por el sondeo se encuentran en condición de semiconfinamiento, como se puede deducir de la presencia de 18 metros de margas en el mismo sondeo. Para estas celdas se va a asignar un valor de  $G = 0.4$ . Las celdas en las que afloran los materiales terciarios se asigna un valor de  $G = 0.2$  y en las que aflora el Cretácico  $G = 0,3$

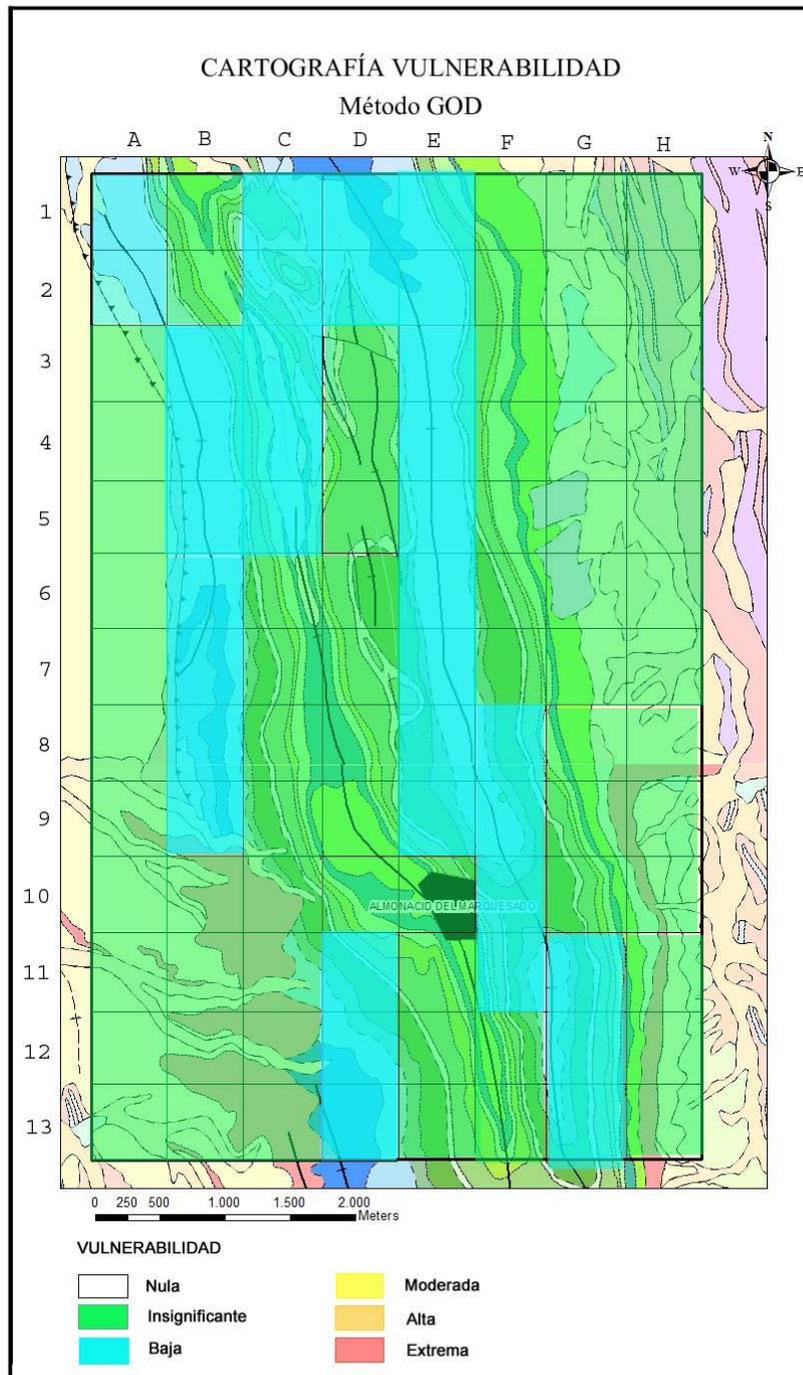
En cuanto a la capacidad protectora que ofrecen los materiales que se encuentran por encima del acuífero, se asigna un valor de  $O = 0.9$  en las celdas con materiales carbonatados jurásicos,  $O = 0.8$  en las celdas en las que aflora el cretácico y  $O = 0.7$  en las que aflora el terciario.

La profundidad a la que se encuentra el techo de la formación acuífera variará para cada celda y se ha estimado en función del dato que se tiene de la cota del nivel piezométrico en el momento de su perforación ( $NP = 105,50$ , año 1993). Considerando que se estima un descenso generalizado de los niveles piezométricos en toda la masa de agua subterránea, y en concreto, de aproximadamente 12 m para la subunidad jurásica Saelices-Almonacid (Martínez y Díaz, IGME, inédito) se asignará un valor de  $D = 0,5$  para las celdas donde aflora el jurásico y  $D = 0,4$  para el resto de las celdas.

La cartografía de vulnerabilidad mediante este método ofrece dos zonas diferenciadas en función de los parámetros asignados a cada celda antes descritos y que se ajustan a la siguiente distribución:

Vulnerabilidad baja: en las zonas en las que afloran los materiales jurásicos

Vulnerabilidad insignificante: zona en la que afloran los materiales cretácicos y terciarios, disponiéndose por encima de los materiales que drena el sondeo.



**Figura 14.** Cartografía de vulnerabilidad empleando el método GOD

### **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 la captación utilizada para el abastecimiento de Almonacid del Marquesado, 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 riesgo 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 m<sup>2</sup>. 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

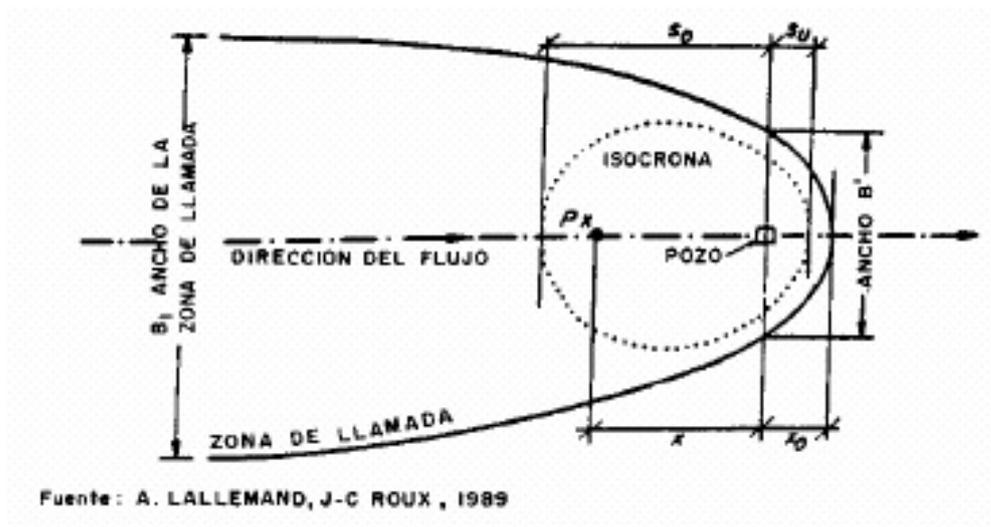
$Q$  = caudal de bombeo ( $m^3/s$ )

$k$  = 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 15.** Método de Wyssling para el cálculo del tiempo de tránsito

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Almonacid del Marquesado no se dispone de datos hidráulicos precisos, utilizando valores medios de origen bibliográfico acordes con la información litológica, cartográfica e hidrogeológica existente (columnas litológica del sondeos, ensayo de bombeos, reconocimientos de campo, etc.).

Como espesor del acuífero se ha tomado el espesor saturado encontrado en el sondeo (194,5 m)

El gradiente hidráulico se ha establecido en función de los datos de campo que se disponen, en concreto de los piezómetros de la CHG en Rozalén, Saelices, y Puebla de Almenara así como en el sondeo de Almonacid ( $i = 0,0005$ )

Como porosidad eficaz se ha tomado el valor proporcionado por Iglesias (1985) para un acuífero calcáreo jurásico en régimen de semiconfinamiento ( $S = 0,0005$ )

Se va a realizar el perímetro para la captación que actualmente abastece de agua a la localidad de Almonacid del Marquesado.

Almonacid del Marquesado	
Espesor saturado del acuífero (m)	194.5
Porosidad eficaz	0.0005
Permeabilidad horizontal (m/día)	0.051
Permeabilidad horizontal (m/s)	$5.9 * 10^{-9}$
Caudal de bombeo (l/s)	5
Caudal de bombeo (m <sup>3</sup> /s)	0.005
Gradiente hidráulico	0.0005

**Tabla 4.** 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 y ajustado a las peculiaridades del terreno.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para s según el método Wyssling.

Almonacid del Marquesado	
S0 (aguas arriba)	38
Su (aguas abajo)	37.5

**Tabla 5.** Valores del radio del perímetro de restricciones absolutas

Como se muestra en la fotografía (Figura 16), el sondeo ya cuenta con una caseta que proteja la captación y un perímetro vallado de aproximadamente 25 m de lado por lo que no sería

necesario la construcción de otro nuevo. En esta zona se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación.



**Figura 16.** Captación de Almonacid del Marquesado y perímetro vallado.

### 3.3.2 *Perímetro de restricciones máximas*

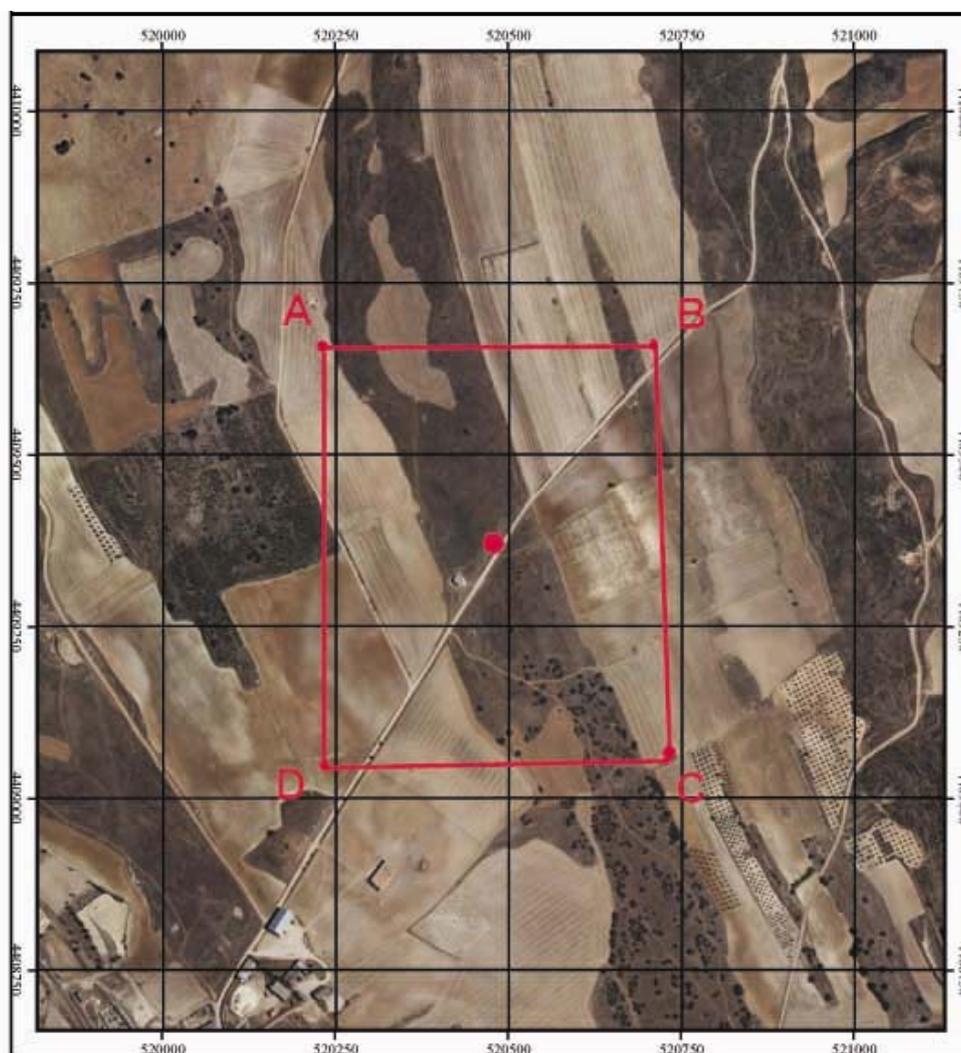
Para determinar **la zona de protección próxima** se considera como el espacio (sII) que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 60 días. Queda delimitada entre la zona de protecciones absolutas y la isocrona de 60 días.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para sII.

Sondeo Almonacid del Marquesado	
S0 (aguas arriba)	293
Su (aguas abajo)	289

**Tabla 6.** Valores del radio del perímetro de restricciones máximas.

Por criterios de seguridad y atendiendo a criterios hidrogeológicos, se delimitará como zona de restricciones máximas, una superficie cuadrangular con el eje mayor en la dirección principal del flujo subterráneo (de S a N) que se extenderá 295 m aguas arriba de la captación y 290 m aguas abajo. Las coordenadas de dicho perímetro se encuentran en la Tabla 8. Dentro de este perímetro no queda englobado ninguno de los focos de contaminación inventariados excepto la posible contaminación areal derivada de la aplicación de fertilizantes en los campos de cultivo de cereal. Según la Tabla 9, el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas quedaría prohibida dentro de este perímetro.



**Figura 17.** Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones máximas.

### 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.

Sondeo Almonacid del Marquesado.	
S0 (aguas arriba)	2367
Su (aguas abajo)	2181

**Tabla 7.** Valores del radio del perímetro de restricciones moderadas

Los resultados obtenidos con este método se han adecuado a las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, habiendo extendido ligeramente el perímetro hacia el sur y hacia el oeste para garantizar la protección aguas arriba de la captación de las calizas jurásicas aflorantes y que constituyen el material acuífero.

Las coordenadas de dicho perímetro se encuentran en la Tabla 8 y su representación cartográfica en la Figura 18.

Dentro de este perímetro quedan englobados alguno de los focos de contaminación: vertedero de inertes, granjas, cementerio así como los campos de secano y el propio núcleo de población. Según la Tabla 9, el permiso para que estas actividades puedan seguir realizándose estará condicionado a informe técnico que asegure que la actividad no afecta negativamente a la calidad del agua de la captación.

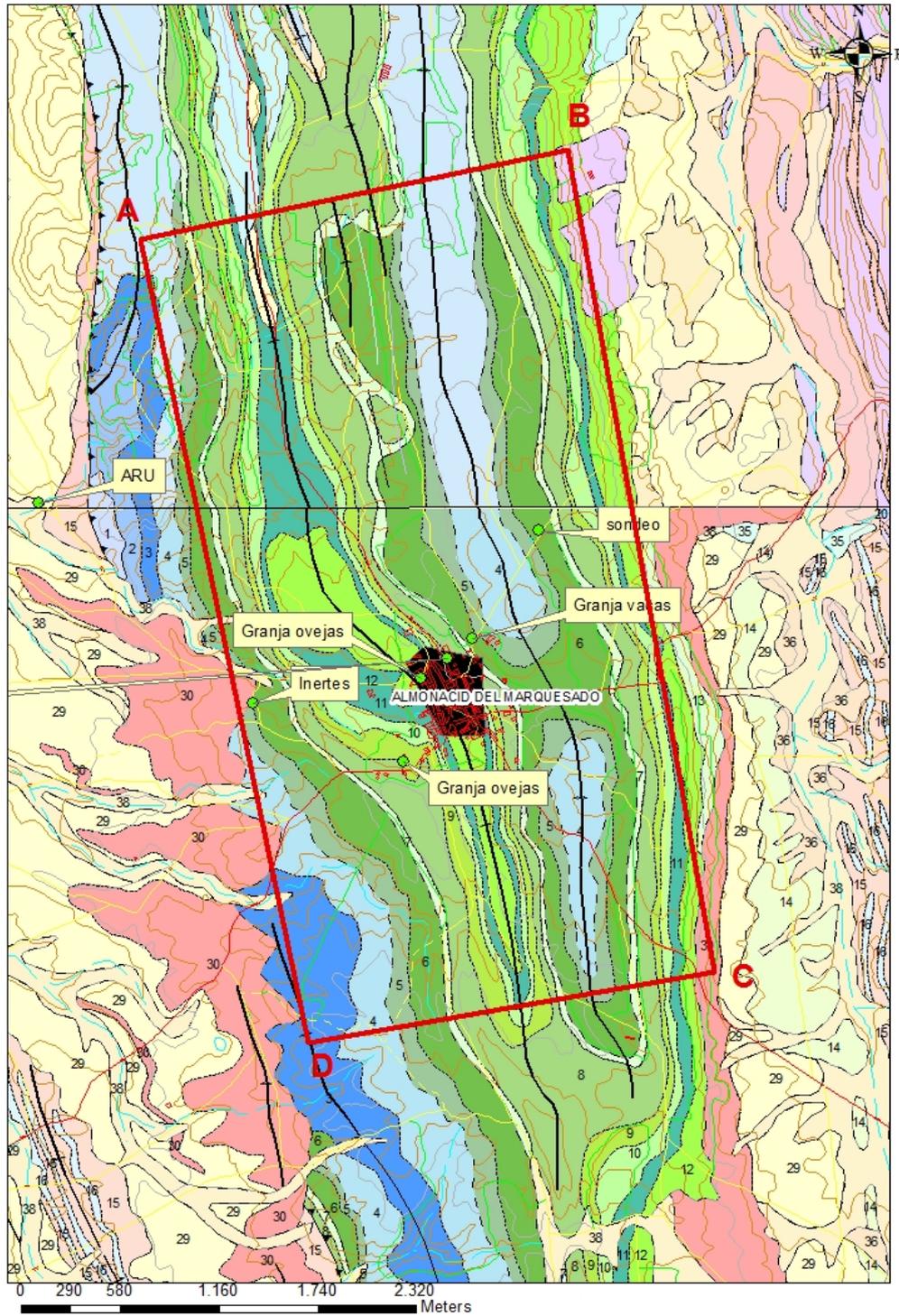


Figura 18. Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones moderadas.

### 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 de la captación del sondeo se calcula el descenso en el nivel piezométrico que podrían provocar sondeos 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 = 10 m<sup>2</sup>/día

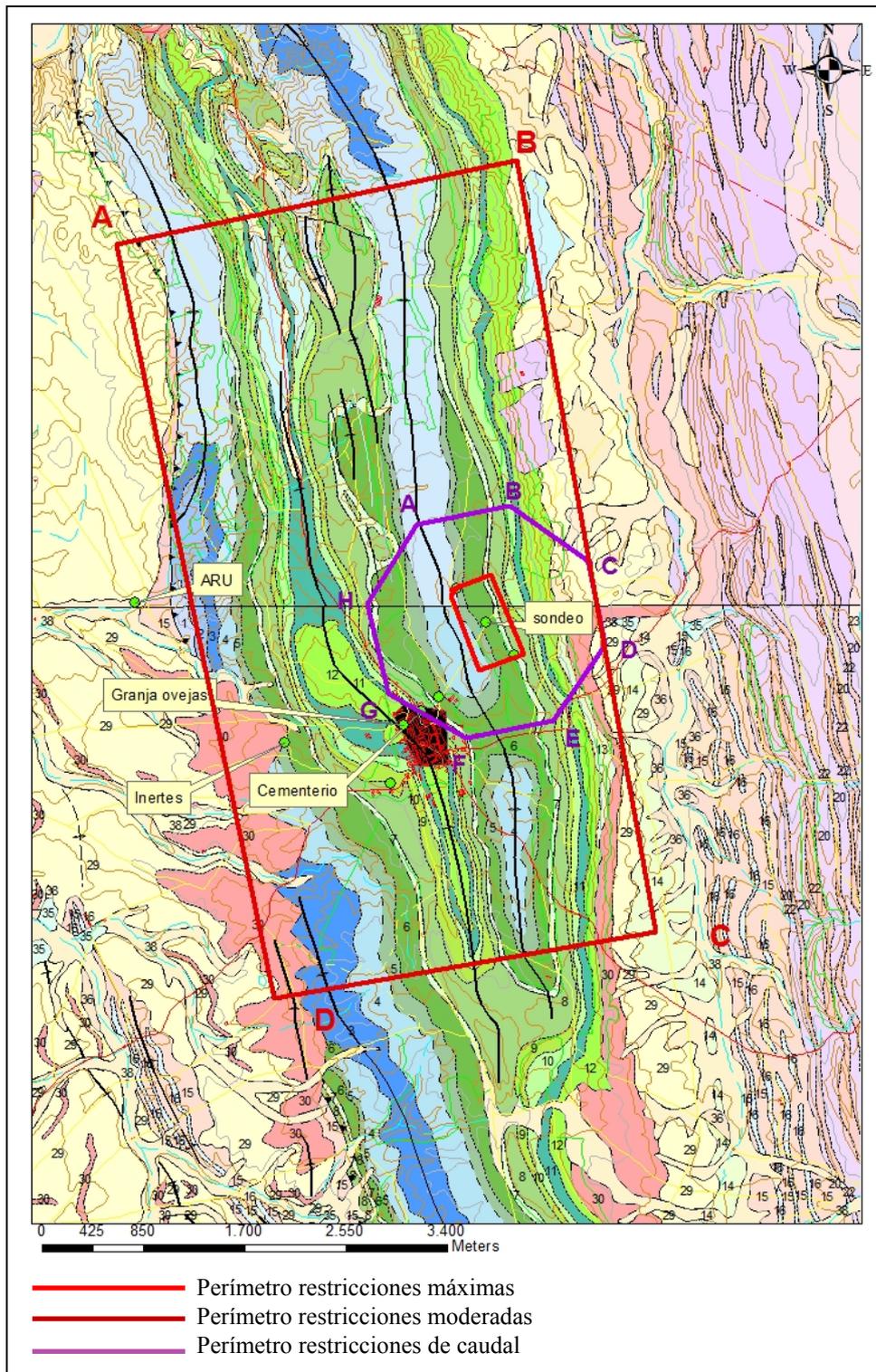
Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger: 5 l/s) = 432 m<sup>3</sup>/día

t = Tiempo de bombeo (generalmente 120 días)

r = Distancia al sondeo de captación (1000 m)

S = Coeficiente de almacenamiento = 0.02

Con los datos indicados se obtiene el descenso provocado por un sondeo, que explote 5 l/s durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia de la captación. El hipotético descenso obtenido de **5.7 m** se puede considerar asumible ya que es inferior al 10% del espesor saturado considerado de 194.5 m. Su representación cartográfica se puede observar en la Figura 19 y sus coordenadas en la Tabla 8.



**Figura 19.** Resumen cartográfica de los perímetros de protección propuestos.

	Nº PUNTO	UTM_X	UTM_Y	z
<b>ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS</b>	A	520233	4409652	910
	B	520698	4409652	910
	C	520719	4409098	910
	D	520267	4409084	910
<b>ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS</b>	A	518132	4411102	895
	B	520640	4411601	870
	C	521512	4406781	880
	D	519121	4406340	900
<b>ZONA DE RESTRICCIONES DE CAUDAL</b>	A	519900	4410203	900
	B	520671	4410360	870
	C	521357	4409890	850
	D	521357	4409216	860
	E	521044	4408565	910
	F	520309	4408421	900
	G	519647	4408782	900
	H	519503	4409529	890

**Tabla 8.** Coordenadas UTM propuestas para los distintos perímetros de protección de los sondeos de abastecimiento a Sotos.

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 9:

	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 9.** Definición de las actividades restringidas o prohibidas dentro del perímetro de protección.

Tras la definición de los correspondientes perímetros de protección se observa, como señalado antes, que en el perímetro de restricciones máximas se ha de restringir el uso de fertilizantes y pesticidas. Así mismo, en esta zona también se prohíbe la instalación futura

de granjas y canteras.

En el perímetro de restricciones moderadas se ha de acompañar de informe técnico que asegure la no afección de las distintas actividades inventariadas que pudieran estar afectando negativamente a la calidad de agua del sondeo.

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 afección 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, febrero de 2011

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. Martínez, C; García, A.

**IGME (1984):** Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Iglesias, A; Villanueva, M.

**IGME ( Inédito ):** Mejora del conocimiento en las MASb Sierra de Altomira (041.001) y Rus Valdelobos (041.005). Martínez, M; Díaz, J.

**IGME (1998).** Mapa geológico "Villarejo de Fuentes" nº 661. E 1/50.000 Segunda serie-Primera Edición. Madrid.

**IGME (1998).** Mapa geológico "Palomares del Campo" nº 633. E 1/50.000 Segunda serie-Primera Edición. Madrid.

## **ANEXO**

## LEYENDA

CUATERNARIO	HOLOCENO		38	Gravas, arenas y limos	
	PLEISTOCENO		37	Limos, arcillas y gravas	
Terciario	NEOGENO	MIOCENO SUPERIOR	TUROLIENSE	36	Arcillas y cantos
			VALLESIENSE	35	Arenas, arcillas y cantos
		MIOCENO INFERIOR	AGENIENSE	34	Arcillas y limos grises
				33	Arcillas, arenas, cantos y costras
			OLIGOCENO	32	Calizas y calizas y margas
				31	Arcillas y margas
	PALEOGENO	OLIGOCENO	30	Brechas y conglomerados	
			29	Arcillas y limos rojos con niveles de conglomerados y arenas	
		EOCENO	28	Yesos masivos	
			27	Arcillas rojas y yesos	
		PALEOCENO	ARVERNIENSE	26	Areniscas y conglomerados
			SUEVIENSE	25	Arcillas rojas, limos y arenas
			24	Calizas y calizas y margas	
			23	Limos y arcillas rojas con niveles de arenas	
CRETÁCICO	SUPERIOR	SENONIENSE	22	Calizas y calizas y margas	
			21	Areniscas y conglomerados ocre	
			20	Arcillas y limos ocre con niveles de arenas	
			19	Yesos y arcillas y yesos	
		TURONIENSE	18	Conglomerados y arenas	
			17	Arcillas y limos rojos	
			16	Areniscas y conglomerados	
			15	Arcillas, limos y arenas rosáceas	
	INFERIOR	GENOMANIENSE	14	Arcillas, margas y yeso	
			13	Calizas blancas, margas y arcillas	
		ALBIENSE	F.U.	12	Calizas, dolomías y brechas
			F.W.	11	Margas con niveles dolomíticos
		DOGGER	10	Dolomías	
			9	Margas dolomíticas	
JURÁSICO	LIAS	8	Margas dolomíticas y dolomías tableadas		
		7	Arenas silíceas-Fm. Utrillas		
		6	Calizas brechoideas e intraclásticas		
		5	Arcillas, margas, calizas dolomíticas y dolomías		
		4	Calizas nodulosos y margas		
		3	Dolomías, calizas dolomíticas y carniolas		
		2	Calizas y dolomías tableadas		
		1	Dolomías y carniolas		