



**PROPUESTA DEL PERÍMETRO DE  
PROTECCIÓN DE LAS CAPTACIONES DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A EL  
PROVENCIO (CUENCA)**

**Septiembre 2009**



## INDICE

### **1.- INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Demanda urbana y situación actual de abastecimiento**

#### **1.2. Características constructivas de las captaciones**

### **2.- ESTUDIOS PREVIOS**

#### **2.1. Marco geológico**

##### *2.1.1 Estratigrafía*

##### *2.1.2 Estructura*

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

#### **2.3 Marco hidrogeológico local**

### **3.- PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN**

#### **3.1. Vulnerabilidad del acuífero**

##### *3.1.1. Inventario de focos de contaminación*

##### *3.1.2. Estimación de la vulnerabilidad*

#### **3.2. Perímetro de protección de la captación**

### **4.- BIBLIOGRAFÍA**



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Demanda urbana y situación actual de abastecimiento

La localidad de El Provencio tiene una población censada de 2557 habitantes, llegando a alcanzar en verano los 6000.

Esta población dispone de dos sondeos, perforados en 1987 y 2001, a los que se denominarán en el informe PROVENCIO-1 y PROVENCIO-2. El sondeo PROVENCIO-1, de 157 m de profundidad, presentaba un caudal de explotación en el año 2001 de 28 L/s, presentando notables contenidos en nitratos, próximos a 50 mg/L; el sondeo PROVENCIO-2, de 104 m de profundidad, presentaba en 2001 un caudal de explotación recomendado de 25 L/s y menor contenido en nitratos (tabla 1).

		X (UTM)	Y (UTM)	Z (m s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)
PROVENCIO-1	Sondeo	535299	4360020	700	157
PROVENCIO-2	sondeo	535190	4359930	700	104

*Tabla 1.- Captaciones de abastecimiento en El Provencio.*

Considerando unas dotaciones de 200 L/hab/día, el volumen necesario para satisfacer la demanda de la población es de 6 L/s (520 m<sup>3</sup>/día), aumentando durante los períodos vacacionales a una demanda de 14 L/s (1200 m<sup>3</sup>/día). Aquí no se han contemplado los usos del sector servicios e industrias; sin embargo, no variará mucho la demanda; así, en el año 1999 se extrajeron de la captación 354.000 m<sup>3</sup> (considerando un 15 % de pérdidas y otro 15 % de tomas incontroladas) lo que equivale a un caudal medio de 11.2 L/s (970 m<sup>3</sup>/día).

### 1.2. Características constructivas de las captaciones

El resumen de las características constructivas y litológicas de los sondeos PROVENCIO-1y PROVENCIO-2 se recoge en las figuras 1 y 2, así como su localización.

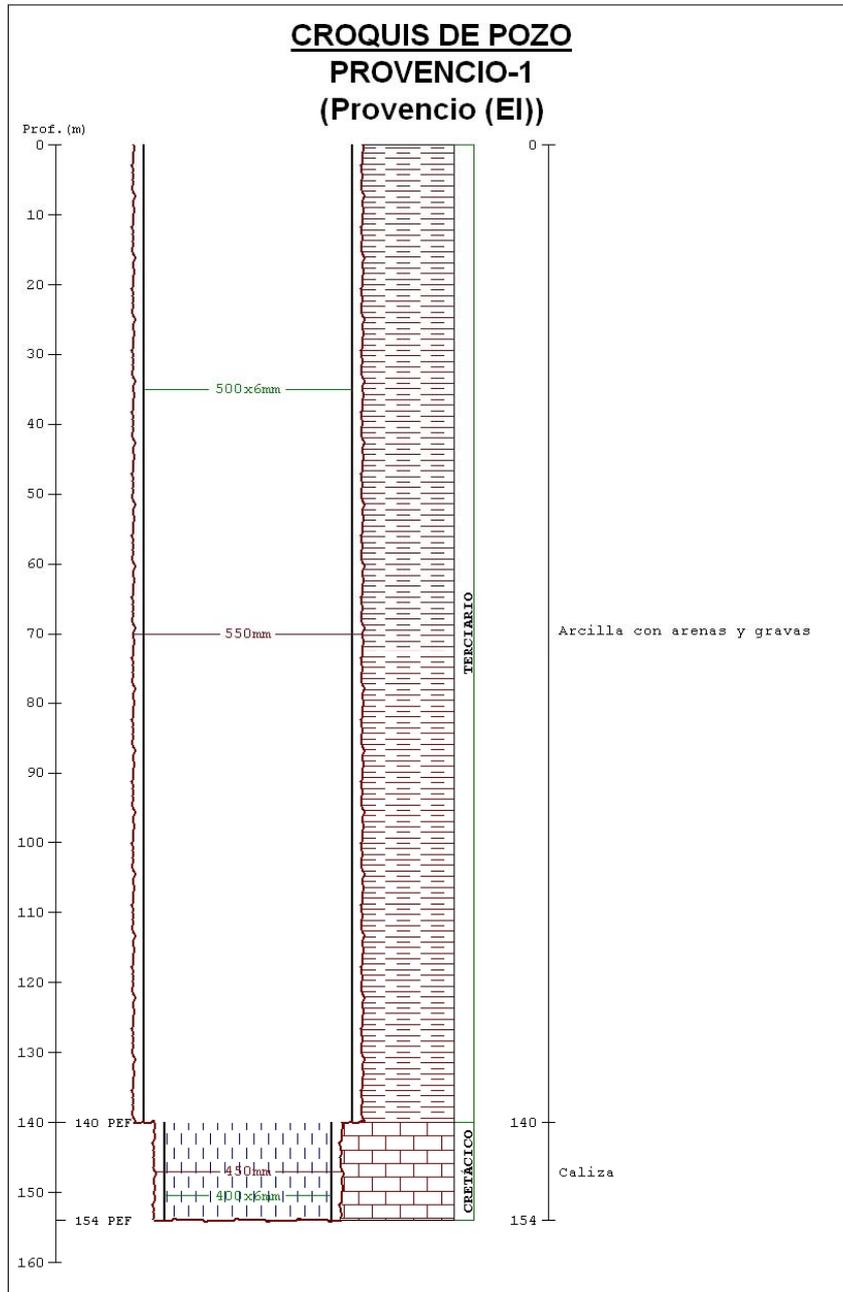
El sondeo PROVENCIO-1 se entubó con tubería de chapa ciega para el tramo 0-140 m, con un diámetro de 500 mm, para el tramo 140-154 se entubó con tubería ranurada de 400 mm. Dicha

tubería se instaló con una reducción. El caudal de explotación máximo es de 28 L/s.

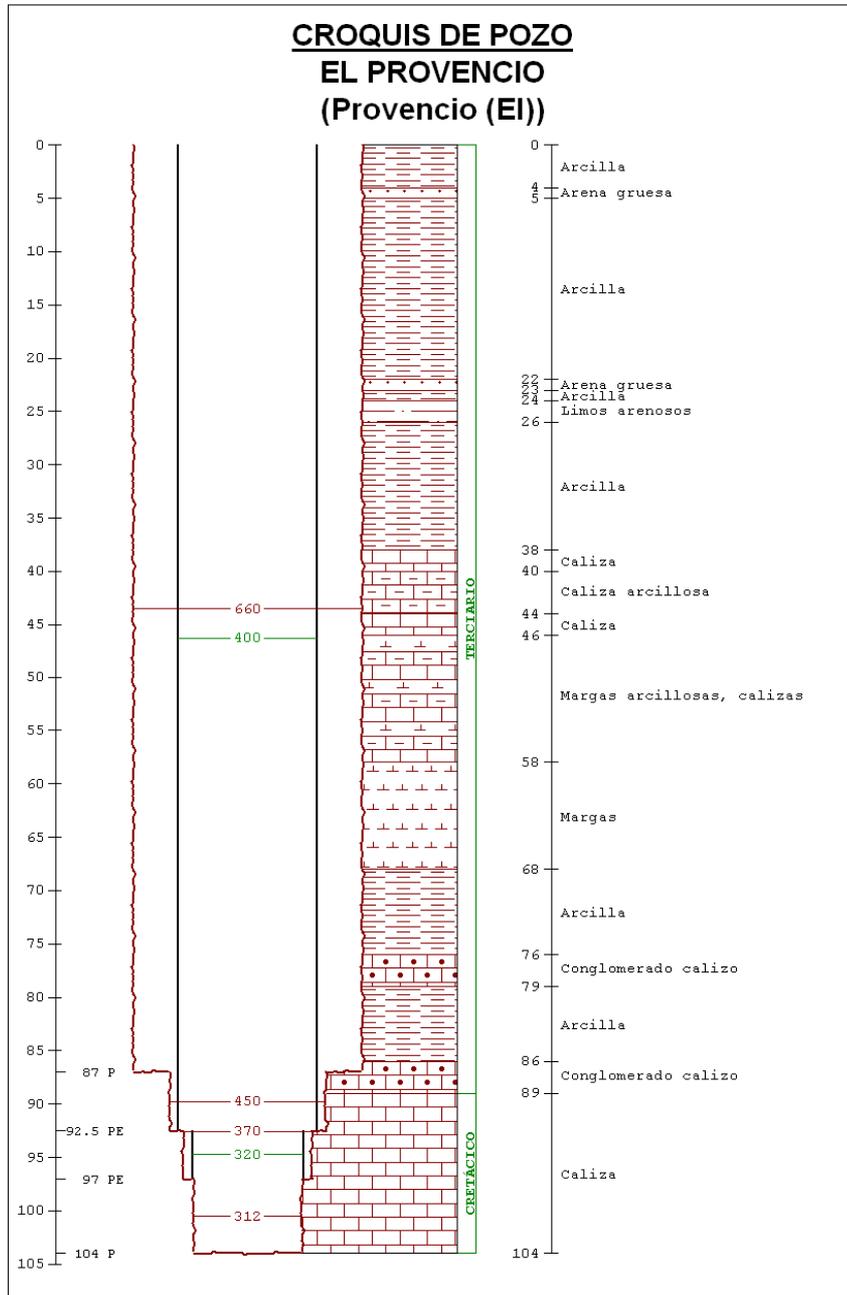
El sondeo PROVENCIO-2 (Martínez, 2002, foto 1) se perforó mediante tres sistemas: circulación inversa, percusión y finalmente rotopercusión por problemas constructivos. Se entubó el sondeo con tubería de chapa de 400 mm de 0-93 m, y de 320 mm de diámetro entre 93-97 m, dejándose el tramo de 97-104 m sin entubar. El caudal de explotación recomendable es de 30 L/s.



*Foto 1.- Captación El Provencio 2.*



**Figura 1.-**Perfil litológico y constructivo del sondeo PROVENCIO-1.



**Figura 2.-**Perfil litológico y constructivo del sondeo PROVENCIO-2.

## **2.- ESTUDIOS PREVIOS**

### **2.1. Marco geológico**

La zona de estudio se ubica al sur de la Sierra de Altomira, aflorando materiales terciarios detríticos y cuaternarios que presumiblemente cubren los depósitos carbonatados mesozoicos.

Sus principales características se reflejan en la memoria de la hoja de El Provencio (715), elaborada por el IGME (figura 3).

#### **2.1.1. Estratigrafía**

El área de estudio se considera englobada en la Llanura Manchega, constituida en este área por las "areniscas de Villalgordo del Júcar", no aflorantes en el área estudiada, y que se subdividen, a su vez, de base a techo en depósitos detríticos finos y en ocasiones evaporíticos pasando a techo a un microconglomerado rojo, que cambia hacia el sur a las calizas y margas de Minaya.

## **MESOZOICO**

### **Cretácico superior**

**Dolomías, margas, calizas-** Aunque no afloran en el área de estudio, tienen una gran importancia respecto a la definición de acuíferos. Corresponden a las siguientes formaciones: Fm. Margas de Casamedina: 6-17 m de margas gris-verdosas dolomíticas; Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada: masivas con un espesor máximo de 6 m, Fm. Margas de Alarcón: 26 m de margas blancas y grises con niveles dolomíticos intercalados. Pertenecen al Cenomaniense-Turonense.

### **Terciario**

Todos los materiales descritos a continuación afloran en el área estudiada.

**(11) Calizas y margas de Minaya.** Es el relleno terminal del Corredor Manchego. Da origen a relieves poco acusados y tonalidades blanquecinas. Son calizas y margo-calizas blanquecinas de 1,5-20 m de espesor. Se disponen discordantemente sobre materiales detríticos terciarios. Se atribuyen al Plioceno.

## **CUATERNARIO**

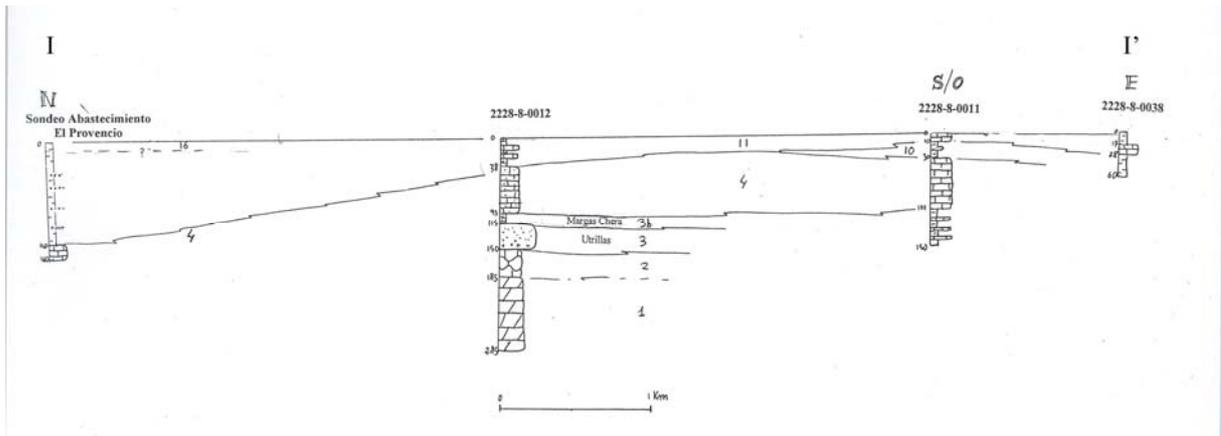
- (12) **Gravas calcáreas y cuarcitas:** Corresponde a una terraza de +80-100 m del río Júcar. Su potencia puede ser de 6 m. Pleistoceno.
- (14) **Manto eólico:** Son arenas bien clasificadas, arcillas y limos, de coloraciones rojizas y pardo-amarillentas. Están asociados a los depósitos aluviales del río Záncara.
- (16) **Terrazas del río Záncara:** Son gravas poligénicas, arenas y limos, predominando en los cantos las calizas sobre las cuarcitas. Se distinguen cuatro niveles de terraza para el río Záncara, situado a +2-3 m, +6-8 m, +15-16 m y +30-35 m.
- (17) **Paleovalle de Santiago de la Torre:** Son arenas gruesas, limos y arcillas con tamaños de canto de 0,5-1 cm de diámetro. Se encuentran colgados +2-3 m por encima del canal del Záncara.
- (18) **Terraza baja del río Rus:** Gravas calcáreas, arenas y arcillas, con un espesor próximo a 7 m.
- (20) **Conos de deyección:** Arenas, arcillas y gravas en la salida de pequeños arroyos encajados.
- (21) **Fondos endorréicos:** Fangos salinos, limos negros y arenas son el resultado de las zonas endorréicas y semiendorréicas en las lagunas desarrolladas sobre arcillas y yesos terciarios.
- (22) **Coluviones:** Son cantos, gravas y arcillas cuyo espesor no supera los 2-3 m.
- (23) **Fondos de valle:** Son arenas, gravas y arcillas, con cantos calizos y origen fluvial.

### ***2.1.2. Estructura***

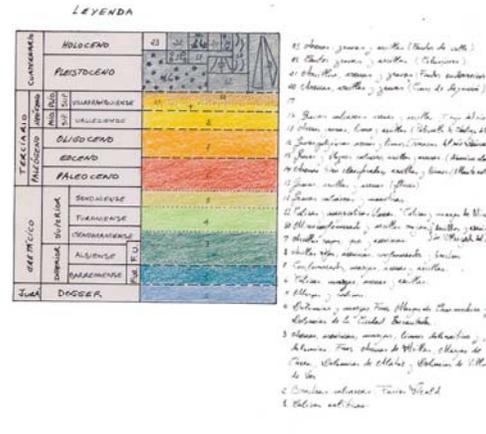
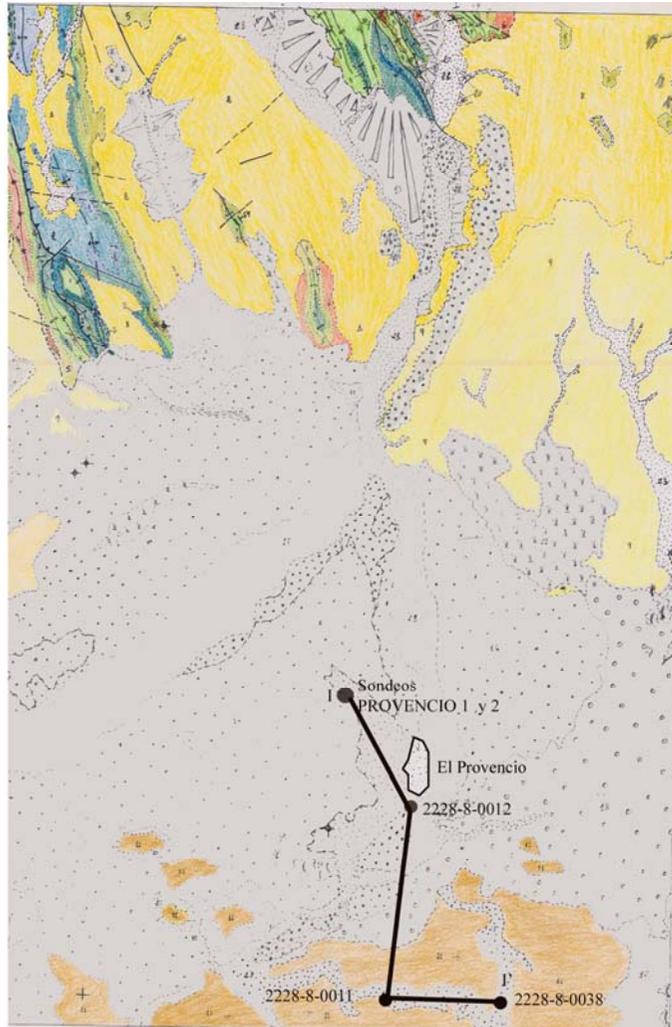
El Provencio se sitúa en las estribaciones septentrionales de la Llanura manchega, que corresponde a una fosa dispuesta de O-E, que contacta mecánicamente con el extremo meridional de Sierra de Altomira.

Esta rellena de materiales terciarios y cuaternarios, que impiden observar la estructura subyacente de los materiales mesozoicos. A partir de una serie de trabajos geofísicos (ITGE, 1988) en el área de estudio, se conoce que el zócalo resistivo se halla a poca profundidad (100 m), entre el río Záncara y el sur de El Provencio, definiéndose una fosa de origen mecánico al norte. A unos 3 km al este de la población, se observa un zócalo resistivo jurásico plegado o fracturado, encontrándose a 200 m de profundidad. El resistivo encontrado puede corresponder tanto a rocas carbonatadas cretácicas como jurásicas.

Con las columnas litológicas de los sondeos de la zona se ha elaborado la figura 4 en la que se observa la presencia del Cretácico a 140 m en la zona de los sondeos y la disminución hacia el S de los depósitos terciarios que lo cubren.



**Figura 4.-** Corte geológico I-I' del área de El Provencio.

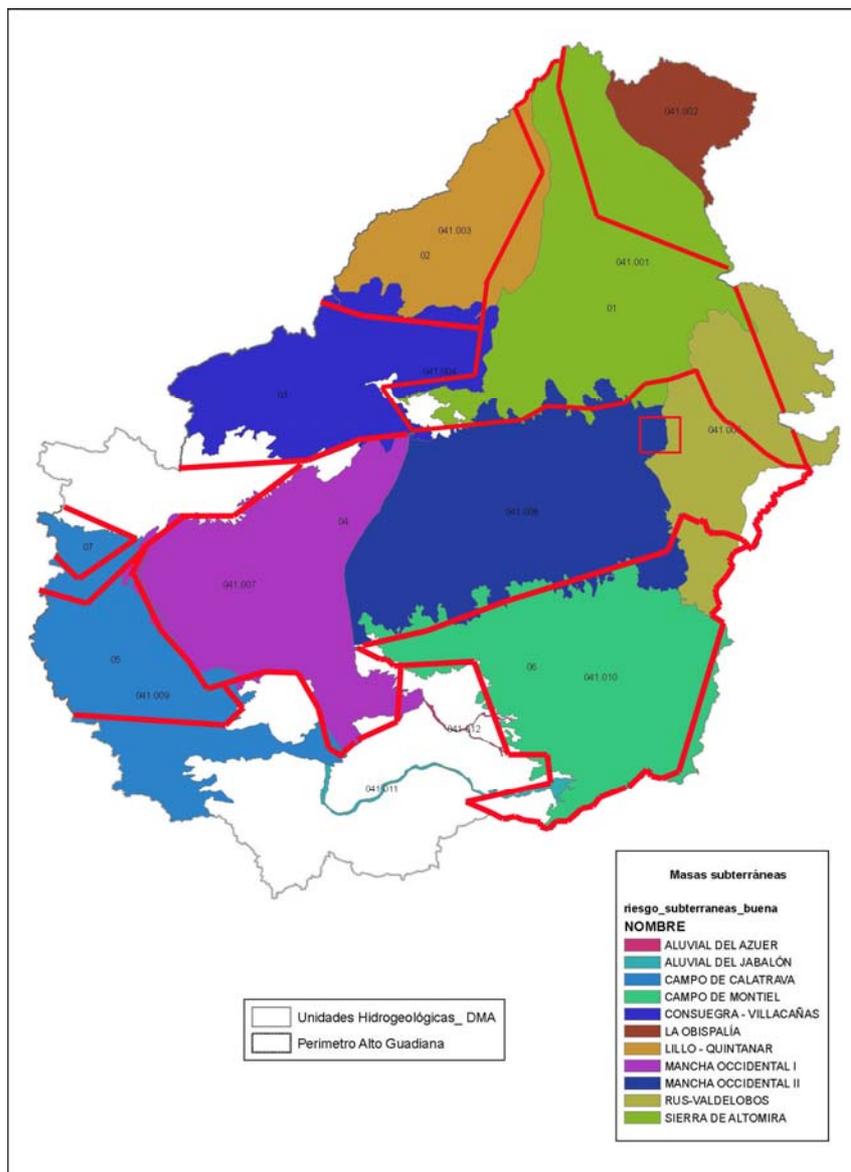


**Figura 3.-** Mapa geológico del área de estudio.

MAPA GEOLÓGICO INÉDITO (borrador elaborado por el IGME) del área de estudio.

## 2.2. Marco hidrogeológico regional

Regionalmente, la zona estudiada se encuentra entre dos m.a.s. de la Cuenca del Guadiana: Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos, estando situadas las captaciones en la primera de las mencionadas (figura 5).



**Figura 5.-** Relación entre las m.a.s. y las antiguas UH.. En el rectángulo se indica el área de estudio.

La m.a.s. Mancha Occidental II, corresponden al anteriormente conocido como Sistema acuífero 23. Como formaciones acuíferas se diferencian un acuífero inferior de materiales mesozoicos (cretácico y jurásico) y un acuífero superior terciario en el que se engloban

también materiales cuaternarios. Entre ambos niveles acuíferos se encuentra un nivel intermedio detrítico que actúa como acuitardo (tabla 2).

Tramo	Edad	Materiales	Espesor (m)	T (m <sup>2</sup> /día)	S
Acuífero superior	Plioceno-Cuaternario	Detríticos	Hasta 60	< 500	0.01-0.1
	Mioceno Superior	Calizas y margas	Hasta 200	Hasta 20.000	0.015-0.05
Acuífero inferior	Cretácico Superior	Calizas	25	200-5000	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>
	Jurásico medio	Calizas	60	6000	
	Jurásico inferior	Calizas y dolomías	80	500-5000	

**Tabla 2.-** características de la m.a.s. Mancha Occidental II.

Dentro del acuífero inferior, se distinguen a su vez, de base a techo, tres tramos acuíferos entre los que se sitúan depósitos y materiales detríticos y margosos de menor permeabilidad: calizas y dolomías del Jurásico Inferior, Calizas oolíticas del Jurásico medio y Calizas blancas del Cretácico Superior. De todas ellas, el acuífero más productivo es el del Jurásico Inferior.

En el acuífero superior se diferencian niveles detríticos terciarios y cuaternarios que constituyen acuíferos de interés local y un tramo calizo terciario, de gran importancia por su continuidad espacial, espesor (hasta 200 m) y elevada transmisividad.

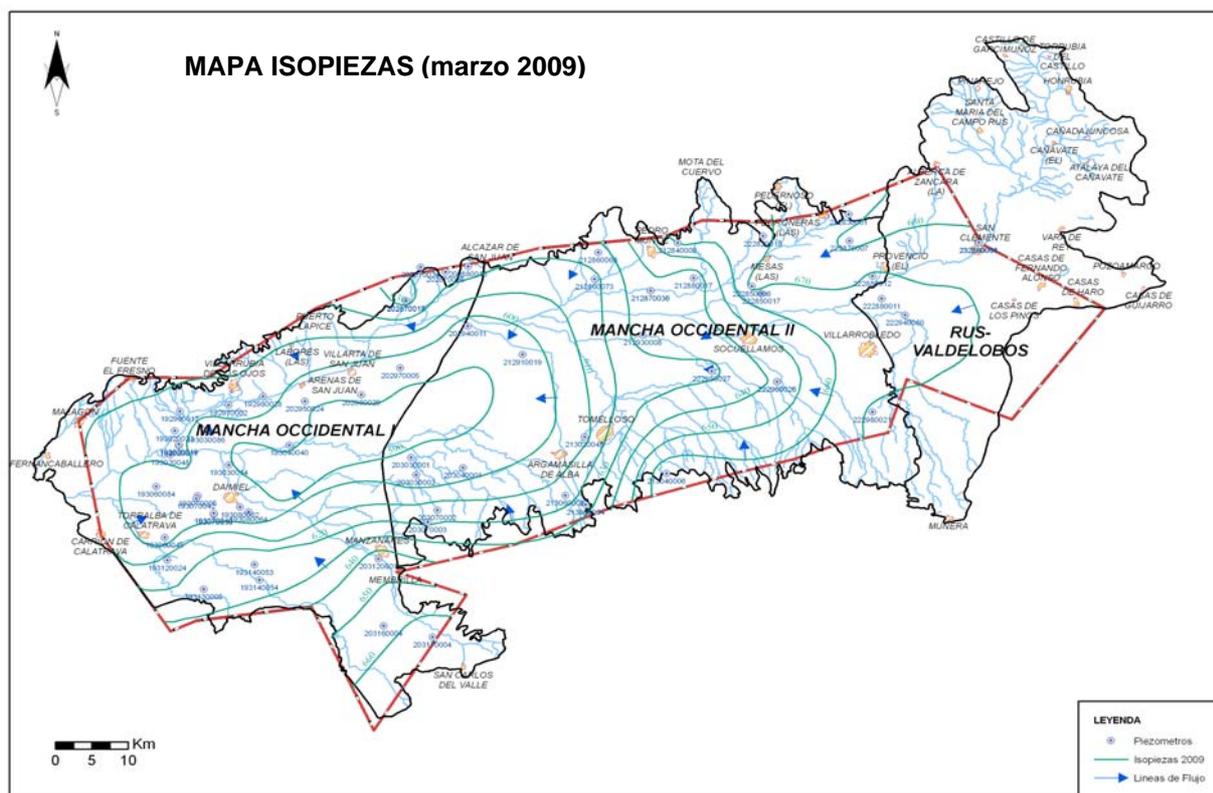
Esta m.a.s. recibe el agua proveniente de la infiltración de la lluvia, de los cursos de agua superficial y subterráneamente de los aportes provenientes de las vecinas m.a.s. 04.01 Sierra de Altomira y 04.05 Rus Valdelobos.

Esta ma.s. ha estado condicionada por el incremento del regadío en los años 70 del siglo pasado. La circulación del flujo es hacia el SO hacia los Ojos del Guadiana y las Tablas de Daimiel. El gradiente se ha ido acentuando con la explotación agraria, pasando de 1.5 ‰ en septiembre de 1980 a 5 ‰ en febrero de 1997. Las oscilaciones de la piezometría en la zona oriental se recogen en la tabla 3 .

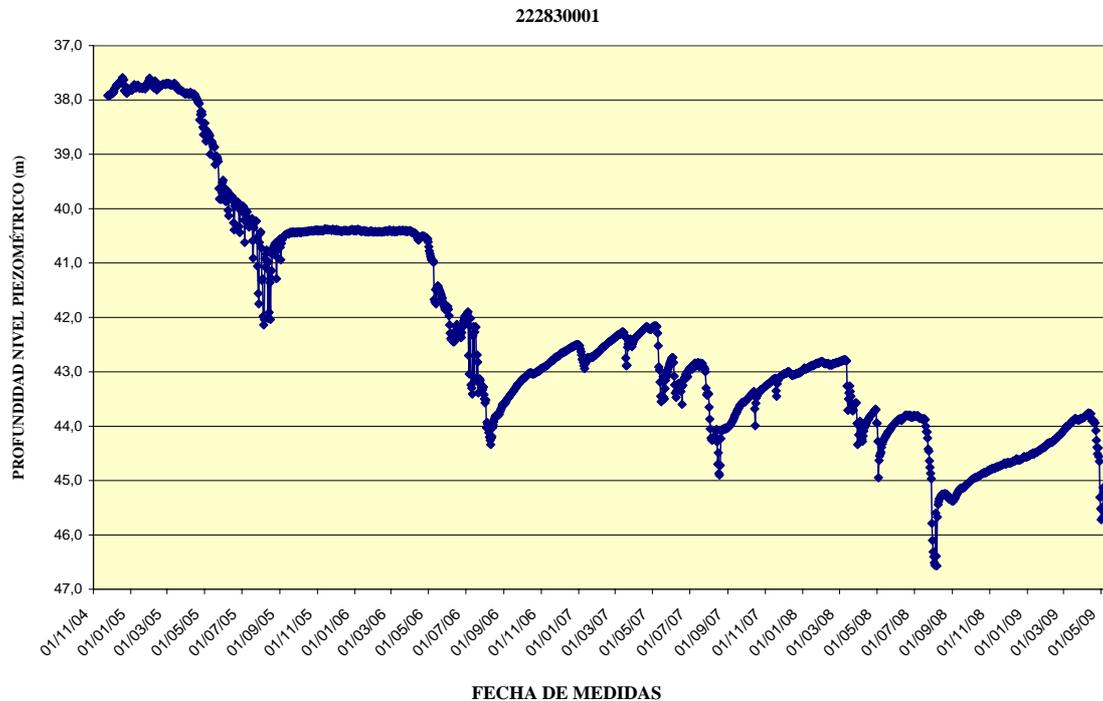
	Ascenso medio (m)
1974/75-1985/86	-9
1986/87-1994/95	-16
1995/96-1996/97	+5
TOTAL	-20

*Tabla 3.- Oscilación de la piezometría en Mancha Occidental II..*

Se dispone de la piezometría de mancha Occidental a marzo de 2009 (figura 6). En el mismo se aprecia la circulación hacia el SO, con un gradiente de 2.5 ‰ y una cotas piezométricas del orden de 670-680 m s.n.m. en el área de estudio.



*Figura 6.- Piezometría de Mancha Occidental en marzo de 2009.*



**Figura 7.-** Evolución piezométrica del punto 2228-3-0001.

Para el punto 222830001 (figura 7) se dispone de medidas continuas desde noviembre de 2004 hasta la actualidad. Este piezómetro se encuentra en el extremo nordeste de la masa de agua subterránea Mancha Occidental II. La evolución que se observa es, en general, una alternancia de periodos de descenso de los niveles seguido de fases con una ligera recuperación parcial. Todos los años, entre los meses de abril y septiembre, se produce un descenso de nivel de alrededor de 3-4 m, mientras que la recuperación que se produce durante los periodos de otoño-invierno no supera los 2,5 m. De esta forma, desde noviembre de 2004 hasta noviembre de 2008 se ha acumulado un descenso de nivel de 7 m. El nivel piezométrico más profundo hasta la fecha, 46,6 m, se ha producido en agosto de 2008.

### 2.3. Marco hidrogeológico local

Las formaciones susceptibles de constituir acuíferos en el área de estudio corresponden a acuíferos locales como gravas, arenas y limos cuaternarios y depósitos detríticos terciarios, y acuíferos de mayor entidad como son los depósitos carbonatados terciarios y los mesozoicos.

**Las gravas, arenas y limos cuaternarios** predominan al norte de la población y corresponden a los depósitos de terraza del río Záncara. Son niveles superficiales, con profundidades entre 3-12 m, cuyo flujo irá presumiblemente asociado al del río Záncara (tabla 4).

CAPTACIÓN	COTA (m s.n.m.)	NAT	PROF.(m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)	USO	CAUDAL (L/s)
Captación 1	700	P+S		8,5 (5/00)		
Captación 2	700	P	10	6,2 (5/00)	R	4,4
Captación 4	700	P	7	Seco (5/00)		
Captación 5	700	P	3,8	3,3 (5/00)	R	
Captación 8	700	P+S	13	7,8 (5/00)	R	
Captación 9	700	P	14	11,1 (5/00)	R	
Captación 10	700	P	15	12,1 (5/00)	R	
Captación 13	699	P	15	7,72 (5/00)	R	

**Tabla 4.-** Captaciones empleadas en depósitos cuaternarios (nat.-naturaleza, prof.-profundidad, P-pozo, S-sondeo, R-riego).

La conductividad de las aguas asociadas a los depósitos cuaternarios se encuentra entre 572-1987  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La calidad química de las aguas muestra, para la captación 1, presentan elevados contenidos en sulfatos (284 mg/L) y de nitratos (36 mg/L) correspondiendo a una facies sulfatada cálcica.

	Fecha	C.E.	Mg	Ca	SO4	HCO3	NO3	Cl
Captación 1	5/00	728	27	125	284	109	36	9

**Tabla 5.-** Características químicas (en mg/L y conductividad eléctrica en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

**Los depósitos detríticos terciarios** se definen al N de la población. Son niveles de arcillas rojas, yesos y areniscas (descritos en la geología como 8, 9 y 10) situados discordantes sobre las calizas cretácicas, correspondiendo las formaciones acuíferas a las pasadas de arenas y gravas. Así el actual sondeo de abastecimiento a El Provencio presenta un espesor de 140 m de estos materiales. También se define al SE de El Provencio. En la captación 20, a 5 km de la localidad, se atravesaron 100 m de estos depósitos. Otras captaciones que los explotan se describen en la tabla

6.

	COTA (m s.n.m.)	PROF. (m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)	ESPESOR ACUIFERO (m)	USO	CAUDAL (L/s)
Captación 3	700		16,7 (5/00)			
Captación 11	700	70	24,4 (8/5/00)	20	R	14-17
Captación 20	700	155	18,8 (9/5/00)	100		

**Tabla 6.** Captaciones en depósitos detríticos terciarios.

Los **depósitos calizos terciarios** corresponden a calizas carstificadas y calizas margosas miocenas. Al sur de El Provencio existe un gran número de captaciones, principalmente sondeos de riego (tabla 7), con unas profundidades hasta de 60 m, que captan dichas formaciones, que presentan un espesor de a 20-30 m. Los caudales de explotación son del orden de 50-250 m<sup>3</sup>/h (14-70 L/s). Los niveles piezométricos, en 1985, se encontraban a una profundidad no superior a 30 m (680-690 m s.n.m.), con una dirección de flujo hacia el sur, pero condicionada por el bombeo existente.

Sus aguas son bicarbonatadas o sulfatadas cálcicas. El antiguo abastecimiento de El Provencio, presentaba unas aguas con 197-376 mg/L de sulfatos, 19-80 mg/L de nitratos y unas conductividades entre 700-1007 µS/cm.

Las **calizas cretácicas**, a su vez, se pueden subdividir como dos tramos acuíferos: las formaciones carbonatadas senonienses y las turonienses (tabla 8).

Las dolomías turonienses presentan a base unas margas grises (se han reconocido espesores superiores a 40 m en el 2228-8-0011) que las separan de las arenas Utrillas. Son dolomías estratificadas en gruesos bancos y recristalizadas, cuyo espesor en la hoja no suele superar los 6 m, aunque se han captado en los sondeos 2228-8-0011 y 8-0012 con un espesor total de 55-71 m.

CAPTACION	COTA (m s.n.m.)	NAT.	PROF. (m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)	ESPESOR ACUIFERO (m)	USO	CAUDAL (L/s)
Antiguo abastecimien- to Provencio 2228-8-0002	701	P	36	7,5 (11/72)			
Captación 15	700	S		13,9 (5/00)			
2228-8-0005	703	S	45	11,5 (10/74)		R	45
2228-8-0015	700	S	25	17,4 (8/85)			
2228-8-0021	698	S		16,36 (8/85)			
2228-8-0019	708	S	40	20,43 (8/85)		R	
2228-8-0022	700	S	41	14,04 (8/85)		R	
2228-8-0027	700	S	25	12,7 (8/85)	21	R	
2228-8-0029	695	S	20	16,57 (8/85)			
2228-8-0034	705	S	30	19,49 (8/85)	5	R	
2228-8-0037	707	S	33				
2228-8-0038	702	S	60	22,56(9/85)			
2228-8-0039	705	S	80	22,56(9/85)		R	11

**Tabla 7.-** Captaciones en depósitos carbonatados miocenos (nat.-naturaleza, prof.-profundidad, P-pozo, S-sondeo, R-riego).

Sobre las anteriores se disponen unas margas blancas, con niveles dolomíticos, de espesor variable (hasta 26 m) y encima de estas, calizas micríticas en torno a 20-30 m (Senoniense).

La distribución espacial de estas calizas está condicionada por la tectonización del basamento. Al sur de El Provencio las calizas cretácicas se encuentran a 30-40 m de profundidad, mientras que hacia el norte el techo de este acuífero se encontrará a mayor profundidad, a 140 m en el caso del sondeo de abastecimiento a El Provencio, debido a la existencia posible de una fosa.

En las figuras 8 y 9 se recogen las distintas captaciones del área de estudio, su relación con los acuíferos en superficie y en un corte interpretativo hidrogeológico en el que se observa que los acuíferos cuaternarios tienen una cota piezométrica superior, por lo que, aparte de su relación con el río Záncara, pueden gotear hacia los acuíferos terciarios.

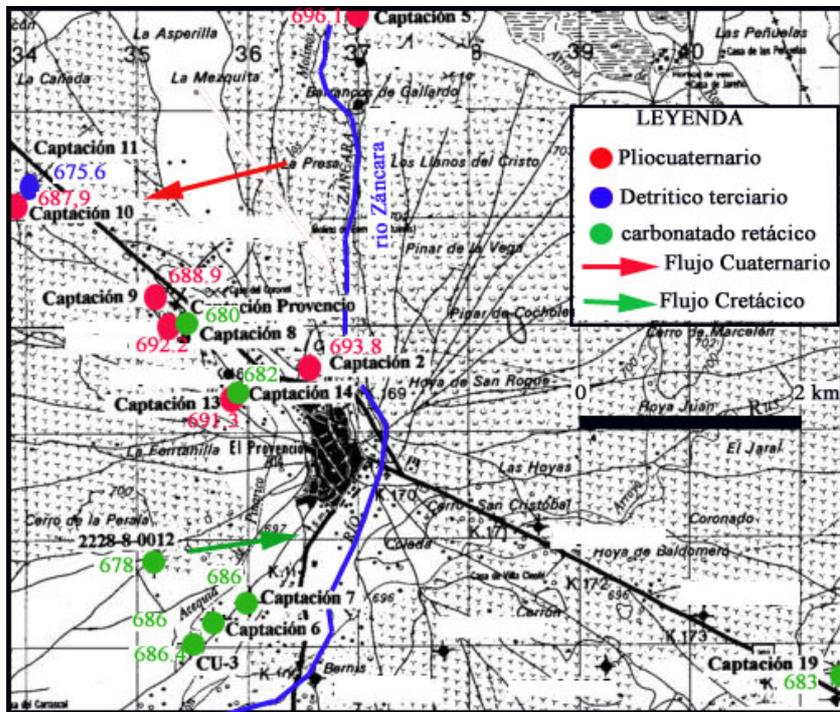


Figura 8.- Distribución superficial de los puntos de agua y asociación con los distintos acuíferos.

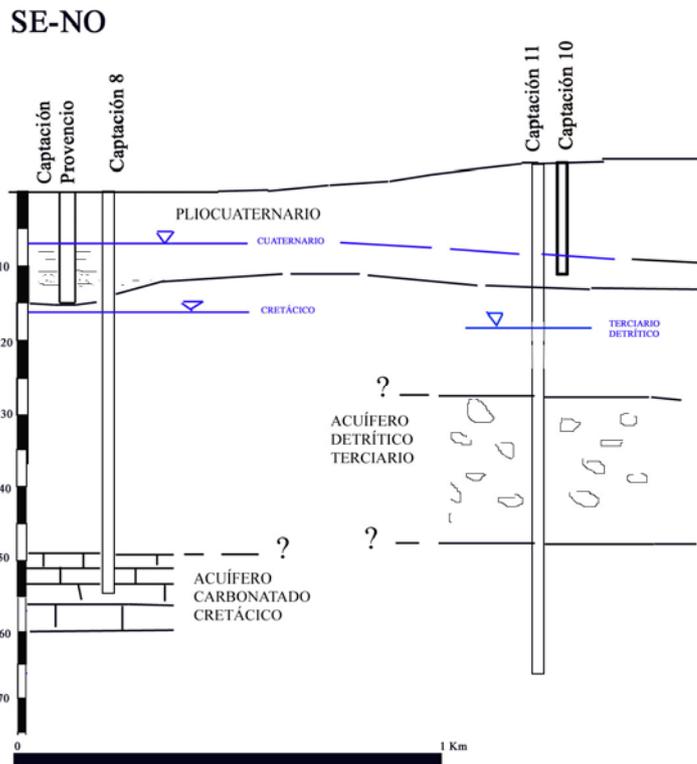


Figura 9.- Corte hidrogeológico interpretativo de la relación entre acuíferos.

El sondeo Provencio-1 se aforó en noviembre de 1987 con 65 L/s y 400 m<sup>2</sup>/día de transmisividad. Al oeste, en el área de las Mesas, otra captación se ha aforado con 47 L/s y 9800

m<sup>2</sup>/día de transmisividad. El sondeo Provencio-2, aforado en 2001, presenta una transmisividad elevada, de 3100 m<sup>2</sup>/día.

La evolución piezométrica al sur muestra un mantenimiento del nivel desde septiembre de 1997, entre 13,6 y 16,6 m (685 m s.n.m.). En la figura 6, para la piezometría de marzo de 2009, se puede estimar un gradiente del 2.5 ‰.

En el sondeo 2228-8-0012, que afecta al acuífero jurásico, también se atraviesan formaciones del Cretácico inferior (36 m de arenas Utrillas y 35 m de una brecha caliza carstificada correspondiente a la Facies Weald), que pueden constituir formaciones acuíferas.

CAPTACIÓN	COTA (m s.n.m.)	NAT.	PROF. (m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)	ESPESOR ACUIFERO (m)	USO	CAUDAL (L/s)
PROVENCIO-1	700	S	157	20 (8/5/00)		A. Provencio	21
CU-3	700	PZ		13,6 (2/5/00)		PZ	
Captación 6	700	S	50	14 (8/5/00)	10 m (40-50 m)	R	
Captación 7	700	S	50	14 (8/5/00)		R	
Captación 14	698	S	54	16,1 (9/5/00)	6 m (48-54 m)	R	14-16
Captación 17	700	S	40			SU	
Captación 18 Bar Juan	700	S	70			A	
Captación 19	700	S	100	16,8 (9/5/00)		R	42
2228-8-0011	706	S	150	13,5 (28/9/75) 23,17 (3/99)	66 m (tramo de 35-101 m)	PZ	-
2228-8-0012	695	S	285	13,92 (2/99) 16,02 (5/99) 17,1 (8/5/00)	57 m (tramo de 38-93 m) 35 m (tramo de 150-185 m).	PZ	-
PROVENCIO-2	700	S	104	23,2 (5/01)		AU	30

**Tabla 8.-** Captaciones de calizas cretácicas. (Nat-naturaleza, prof-profundidad, PZ-piezómetro, S-sondeo, A-abastecimiento, R-riego, SU-sin uso).

Las calizas cretácicas presentan valores elevados (1044-1782 µS/cm) encontrándose los más elevados al sur de El Provencio. Estas conductividades son asociables al alto contenido en sulfatos, aportados por los yesos existentes en los depósitos detríticos terciarios suprayacentes. En general (tabla 9) son aguas sulfatadas cálcicas con contenidos notables en nitratos (27-50

mg/L) que muestran una influencia antrópica en la recarga regional del acuífero y un posible goteo proveniente de los materiales terciarios, de espesor variable.

Las aguas del abastecimiento de El Provencio muestran entre 1990-2006 una evolución ascendente de la conductividad entre 892 a máximos de 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que los nitratos, posiblemente por la incorporación del sondeo PROVENCIO-2, descienden a partir de 2002 de 40 mg/l a una horquilla entre 25 y 35  $\text{mg}/\text{l}$ , mostrando un ascenso continuado desde 2003. (figura 10).

	Fecha	C.E.	Mg	Ca	SO4	HCO3	NO3	Cl
PROVENCIO-1	12/90	892	19	160	554		40	46
	1/91	1100	31	180	430		62	40
	10/92	1288		224	486		43	43
	2/93	1187	49	188	351		50	39
	1/95	1210	41	226	540		45	
	6/95	1453	39	274	714		35	
	9/98	1440	32	256	630		44	39
	4/00	1320	56	232	545		40	46
	5/00	1315	51	259	592	202	48	32
Captación 7	5/00	2723	77	460	1215	183	37	39
Captación 19	5/00	1190	38	235	420	274	44	32
PROVENCIO-2	5/01	1335	64	233	606	195	27	36

Tabla 9.- Análisis físico-químicos de las aguas del cretácico.

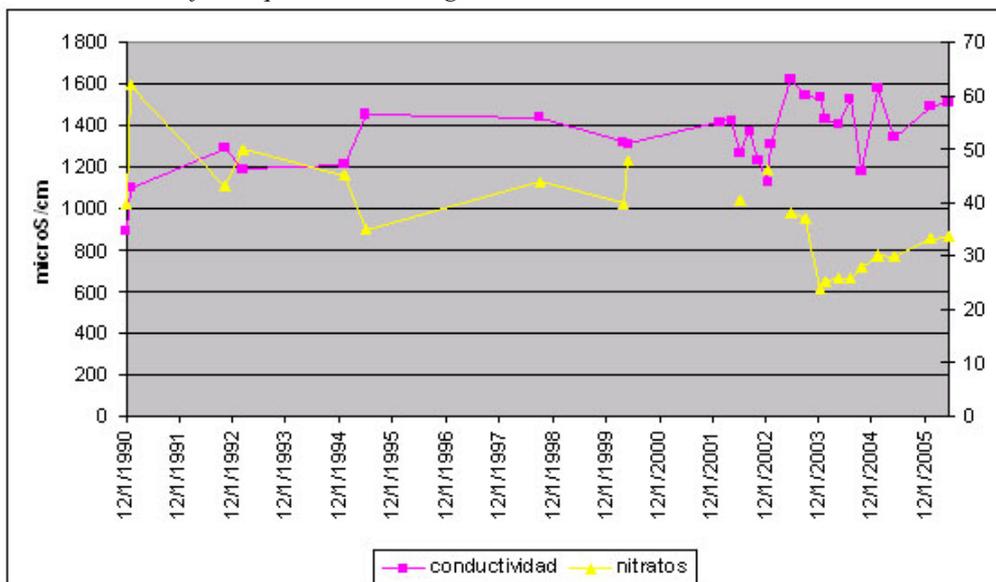


Figura 10.- Variación de la conductividad y nitratos en el sondeo Provencio-1.

Las **calizas jurásicas** aunque no afloran, se alcanzan a una profundidad de 185 m (510 m s.n.m.) en el sondeo 2228-8-0012, a unos 500 m al sur de la población. Son calizas oolíticas,

en bancos centimétricos a métricos, de tonos gris claro (tabla 10).

CAPTACION	COTA (m s.n.m.)	NAT.	PROF. (m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)	ESPESOR ACUIFERO (m)	CAUDAL (L/s)
2228-8-0012	695	S	285	18,0 (2/88)	100 m (tramo de 185-285 m)	-

**Tabla 10.-** Captaciones en depósitos jurásicos.

Las aguas en los materiales jurásicos son difíciles de estudiar, al no disponer de captaciones que únicamente afecten a este acuífero. El 2228-8-0012 es un sondeo que capta aguas del Jurásico y Cretácico, aunque sus características fisico-químicas son anómalas: un pH próximo o superior a 10, con elevados contenidos en CO<sub>3</sub> (2-40 mg/L) y valores bajos en nitratos (0-3 mg/L) para la zona, teniendo contenido en NO<sub>2</sub> (0,01-0,05 mg/L) y NH<sub>4</sub> (0,05-0,55 mg/L)(tabla 11).

2228-8-0012	C.E.	pH	Mg	Ca	SO4	Na	SiO2	CO3	HCO3	NO2	NH4	NO3	Cl
19/9/91	1499	7,7	64	278	914	50	1,2		40	0,03	0,29	1	38
29/6/92	736	7,5	65	263	864	37	0,5		27	0	0	2	37
27/4/94	728	9	23	232	632	47	0,4	10	31	0,05	0,05	3	35
18/6/96	2723	10,4	1	175	428	41	4	30	0	0,46	0,25	2	31
5/3/99	1190	10,6	6	124	310	37	0,6	24	13	0,62	0	1	41

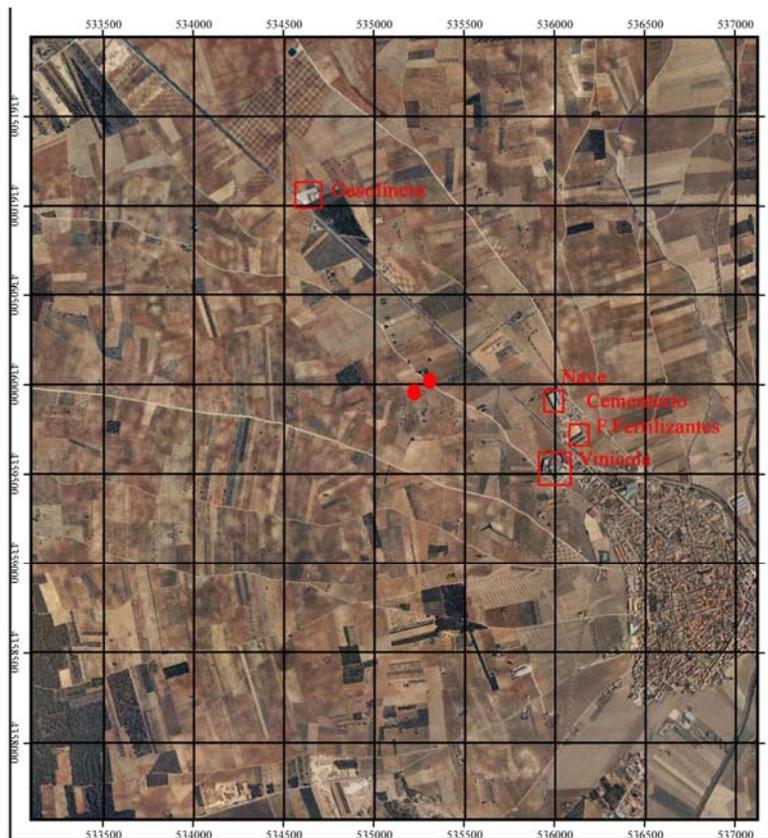
**Tabla 11.-** Características químicas (en mg/L y C.E. en  $\mu\text{S/cm}$ ) de las aguas subterráneas de la captación 2228-8-0012.

### 3. PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

#### 3.1. Vulnerabilidad del acuífero

##### 3.1.1. Inventario de focos de contaminación

El entorno de los sondeos de abastecimiento es área dedicada fundamentalmente de cultivo de la viña. Estos cultivos pueden suponer una contaminación agraria de tipo difuso por empleo de abonos orgánicos e inorgánicos, así como por aplicación de productos fitosanitarios de diversa índole (pesticidas, plaguicidas, etc.) ( figura 11).



*Figura 11.- Ubicación de los focos de contaminación puntuales.*

##### 3.1.2. Estimación de la vulnerabilidad

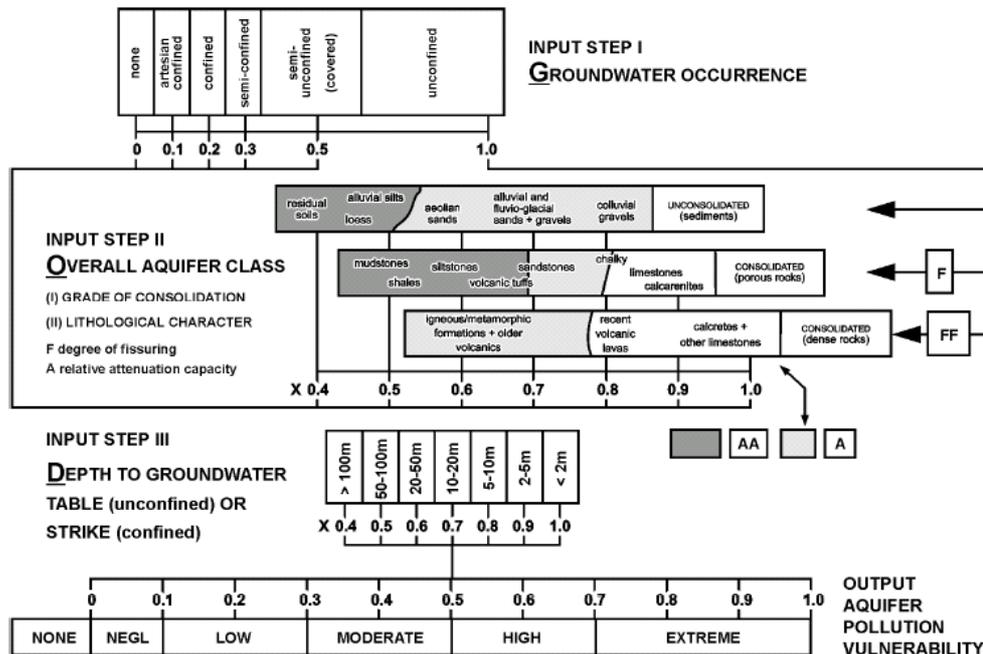
Una de las metodologías más adecuadas para la determinación de la vulnerabilidad es la realización de una cartografía de vulnerabilidad. Para ello se pueden usar distintos métodos, aunque uno de ellos es el índice GOD. Este método propuesto por Foster (1987), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables que son las que nominan el acrónimo:

G- tipo de acuífero.

O- litología de la cobertura

D- profundidad del agua o del acuífero.

En la figura 12 (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 12. Índice GOD (Foster e Hirata, 1991).

Para el presente estudio se ha considerado el acuífero carbonatado cretácico, considerándole de carácter semiconfinado, al considerar que puede existir recarga por infiltración a través de los materiales detríticos terciarios (G=0.3).

Como O (litología de cobertura) según la columna litológica del sondeo PROVENCIO-2, se han considerado predominantes las arcillas, con un valor de  $O=0.5$ .

Respecto al parámetro D, se ha empleado el techo del acuífero, que se encuentra a 86 m de profundidad, equivalente a  $D=0.5$ .

Así la vulnerabilidad determinada para el entorno del acuífero mediante el método GOD, equivale a

$GOD=0.3 \times 0.5 \times 0.5 = 0.075$  que corresponde a una vulnerabilidad del acuífero **NEGLIGIBLE**.

Sin embargo, si se aplica al acuífero pliocuaternario existente en el área de estudio, el acuífero se considera semilibre ( $G=0.5$ ), la litología corresponde a depósitos inconsolidados gravosos-limosos ( $O=0.7$ ) y la profundidad del nivel piezométrico se sitúa entre 3.3-12m ( $D=0.9-0.7$ ) lo que supone un índice GOD de 0.245- 0.315 y una vulnerabilidad entre **BAJA A MODERADA** para el acuífero pliocuaternario.

Por lo tanto, el acuífero carbonatado cretácico presenta una vulnerabilidad del sistema negligible, aunque se produzca contaminación en el área de recarga del acuífero, tanto de los afloramientos cretácicos de la Sierra de Altomira, como proveniente de la infiltración a través de los materiales suprayacentes.

### 3.2. Perímetro de protección de la captación

Las zonas de salvaguarda son aquellas masas de agua utilizadas para la captación de agua destinada a consumo humano que proporcione un promedio de más de 10 m<sup>3</sup> diarios o que abastezcan a más de 50 personas. Estas zonas pueden tener una extensión menor a las masas de agua subterráneas y pueden corresponder a parte de los perímetros de protección a elaborar dentro del presente proyecto. Por ello, en este apartado, se establecerán los perímetros en relación con las posibles zonas de salvaguarda que se hayan definido en las masas de agua definidas en la provincia de Cuenca.

Habitualmente es recomendable 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 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.

En el presente documento se propone el perímetro de protección para los sondeos PROVENCIO-1 y PROVENCIO-2.

El hecho de ser un acuífero confinado, con el techo de la formación situado a 87 m, con una profundidad del nivel piezométrico de 23 m, implica que la protección del acuífero estará favorecida por la Zona no Saturada (ZNS), constituida por alternancia de calizas, arenas, margas y arcillas.

Para determinar **la zona de protección** se ha de considerar que el acuífero es confinado y que está cubierto por diferentes litologías que pueden actuar como protección natural del acuífero.

El **método de Rehse** para el cálculo del poder depurador de los materiales (IGME, 1991) contempla que el poder depurador viene dado por:

$$M_x = M_{zns} + M_{zs}$$

Donde  **$M_x$**  es el **poder depurador** sobre la totalidad del transporte,  **$M_{zns}$**  es el **poder depurador en el trayecto vertical (zona no saturada)** y  **$M_{zs}$**  es el **poder depurador en el trayecto horizontal (zona saturada)**.

La depuración será completa cuando  $M_x$  sea mayor o igual a 1.

Aplicado al caso de los sondeos PROVENCIO 1 y 2, se obtiene lo siguiente:

$M_{zns}$  = Suma de los diferentes espesores de materiales en la ZNS multiplicado por el Índice de depuración de cada uno de estos materiales según Rehse (tabla 12).

Tramo de arcillas :

$$\begin{aligned} M_{zns} &= \text{Espesor del tramo} \times \text{Índice de depuración de Rehse} \\ &= 38 \times 0,5 = 19, \quad 28 \times 0,5 = 14 \end{aligned}$$

Tramo de calizas y margas :

$$M_{zns} = 20 \times 0,0025 = 0.05$$

**Poder depurador total de la zona no saturada =  $19 + 0.05 + 14 = 33.05$ .**

Si  $M_r$  es mayor o igual a 1 la depuración en la zona no saturada es completa y según Rehse **no es necesario determinar ningún perímetro de protección de calidad** ya que se considera que los materiales de la Zona no saturada suponen una barrera depuradora natural que garantiza la protección del acuífero.

M	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	H	$I_r = 1/H$
1	Humus, 5-10% humus, 5-10% arcillas	1,2	0,8
2	Arcilla sin grietas de desecación limoarcillosas. Arena muy arcillosa	2	0,5
3	<i>Silt</i> arcilloso a <i>silt</i>	2,5	0,4
4	<i>Silt</i> , arena siltosa, arena poco siltosa y poco arcillosa	3-4,5	0,33-0,22
5	Arena de fina a media	6	0,17
6	Arena de media a gruesa	10	0,1
7	Arena gruesa	15	0,07
8	Grava siltosa rica en arena y arcilla	8	0,13
9	Grava poco siltosa, mucha arena	12	0,08
10	Grava fina a media rico en arena	25	0,04
11	Grava media a gruesa con poca arena	35	0,03
12	Guijarros	50	0,02

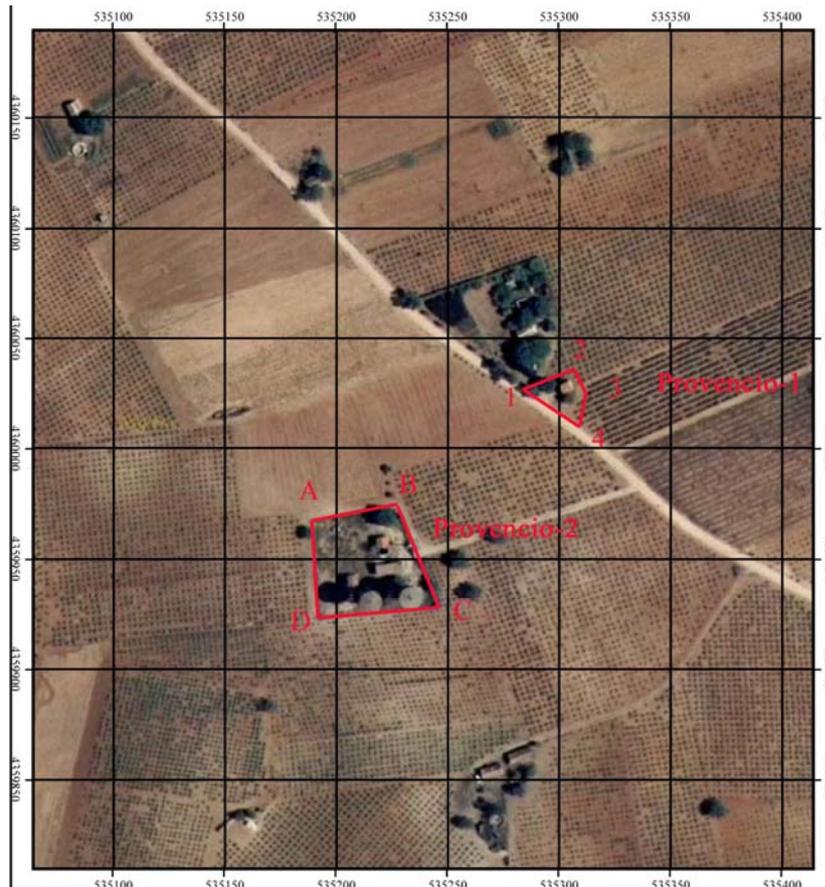
C	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	H ( m)	$I_s = 0,5/H$
1	Margas	10	0,05
2	Arenisca con capas arcillosas. Arcillas micoesquistos y filitas	20	0,025
3	Basaltos y rocas volcánicas	30	0,017
4	Grauwaca, arcosas, areniscas arcillosas-sietosas	50	0,01
5	Granito, Miorito-granodiorito, diorita, sionita	70	0,007
6	Cuarcitas, areniscas con sílex	100	0,005
7	Caliza	200	0,0025

**Tabla 12 .-** Estimación de  $I_r$  para el método Rehse y modificación de Bolsenkötter.

Así se propone una **zona de restricciones absolutas** que contemple el vallado y protección del área que englobe los sondeos de PROVENCIO-1 Y PROVENCIO-2.

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 2 m y aislamiento del exterior. El vallado propuesto corresponde a un cuadrado de 15m x 15m aproximadamente (figura 13), de coordenadas las indicadas en la Tabla 13. Las actividades a restringir dentro de este vallado se recogen en la tabla 14.



*Figura 13. Propuesta de perímetro de protección con restricciones absolutas.*

Como se ha visto por Rehse, no se contempla la zona de restricciones máximas pero si la de **de restricciones moderadas**. Al corresponder a un acuífero confinado, que tiene sobre el techo del primer nivel explotado una capa confinante de arcillas, arenas, calizas y margas de 87-140 m de espesor, la cual actúa como protección natural del acuífero, interceptando los posibles contaminantes que pudieran infiltrarse. No obstante el contenido en nitratos de las aguas captadas en los sondeos (27 a 50 mg/L) indica que en la zona de recarga que presente el acuífero cretácico si se ve influenciado por la actividad antrópica y puede recibir estos aportes por el goteo de las formaciones terciarias superiores. Por ello se define una **zona de protección con restricciones moderadas y no de restricciones máximas**, considerando para

la definición de la misma el **método del radio fijo-ecuación de flujo volumétrica** (no considerando la recarga). Mediante este método se obtiene un círculo que sobreprotege la captación aguas abajo de la misma y proporciona un radio aguas arriba de la captación aproximadamente la mitad del que se obtendría con otros métodos (modelos matemáticos, etc) por lo que se hace necesario modificar el círculo obtenido en función de criterios hidrogeológicos (IGME, 1991).

La ecuación volumétrica es la siguiente:

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

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

$m * H\pi R^2$  = Volumen de agua contenido en el cilindro de acuífero

Siendo:

**Q** = caudal bombeado

**t** = tiempo de tránsito hasta la captación

**m** = porosidad eficaz del acuífero (se emplea el coeficiente de almacenamiento).

**H** = espesor saturado en la captación (se emplea el espesor de caliza captado)

**R** =radio del perímetro de protección

Si consideramos un caudal bombeado de 25 L/s para cada sondeo, un tiempo de tránsito de cuatro años, el coeficiente de almacenamiento del acuífero carbonatado confinado estimado en 0.0005, de calizas confinadas y un espesor saturado H, a partir de la columna del sondeo 2228-8-0011 correspondiente a la caliza atravesada, de 70 m. El radio del perímetro de protección obtenido para ambas captaciones es de **5.3 km**. Atendiendo a consideraciones hidrogeológicas y a la existencia al N, de una fosa como indica la geofísica, así, al norte de las captaciones se define una fosa que puede desconectar hidráulicamente el flujo proveniente del N y solo recibir aporte subterráneos procedentes del este. En este caso, el perímetro se extendería hacia el SO dado que la dirección del flujo general es hacia el SO; asimismo la forma circular se ajusta a una forma poligonal (figura 14, tabla 13). Las actividades restringidas o condicionadas se recogen en la tabla 14.

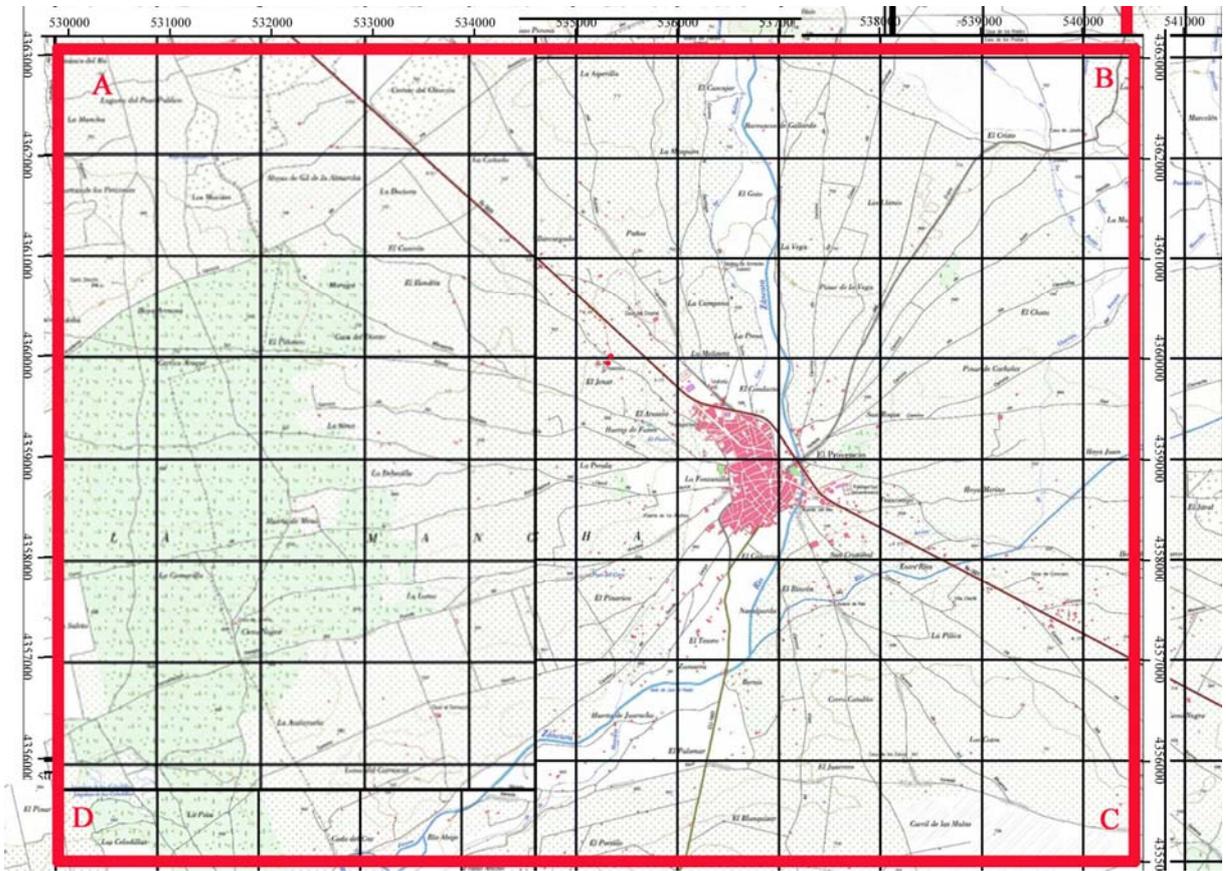


Figura 14. Propuesta de perímetro de protección moderado.

### 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 los sondeos de abastecimiento de PROVENCIO-1 y PROVENCIO-2 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:

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

Donde:

D = Descenso del nivel piezométrico (0.33 m)

T = Transmisividad = 3100 m<sup>2</sup>/día

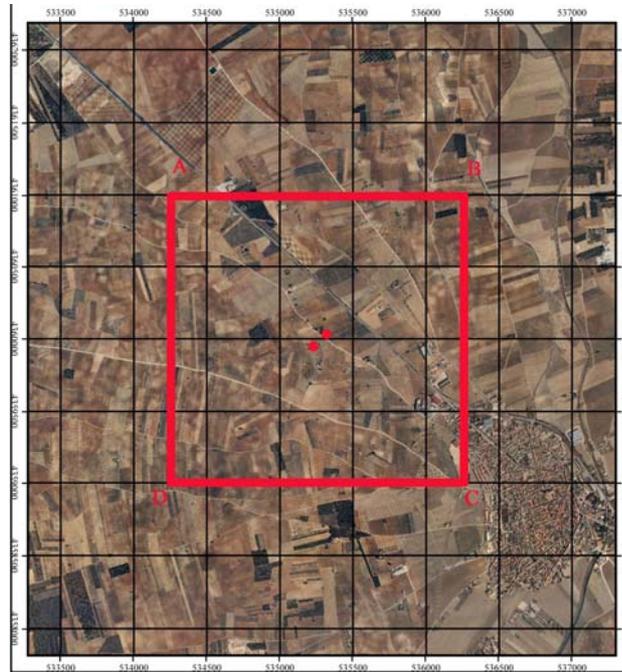
Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger: 25 l/s) = 2160 m<sup>3</sup>/día

t = Tiempo de bombeo (generalmente 120 días)

r = Distancia al sondeo de captación (1000 m)

S = Coeficiente de almacenamiento = 0.0005

Con los datos indicados se obtiene el descenso provocado por un sondeo, que explote 25 l/s durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia. El descenso obtenido de 0.41 m se considera razonable, puesto que es inferior al 10% del espesor saturado de la captación a proteger (del orden de 2 m). Su representación se ha realizado adaptando ambos radios en una figura poligonal única (tabla 13, figura 15). En la misma se contempla la posibilidad de protección del acuífero, aunque este se encuentre confinado, en cuanto a implantación de otras captaciones.

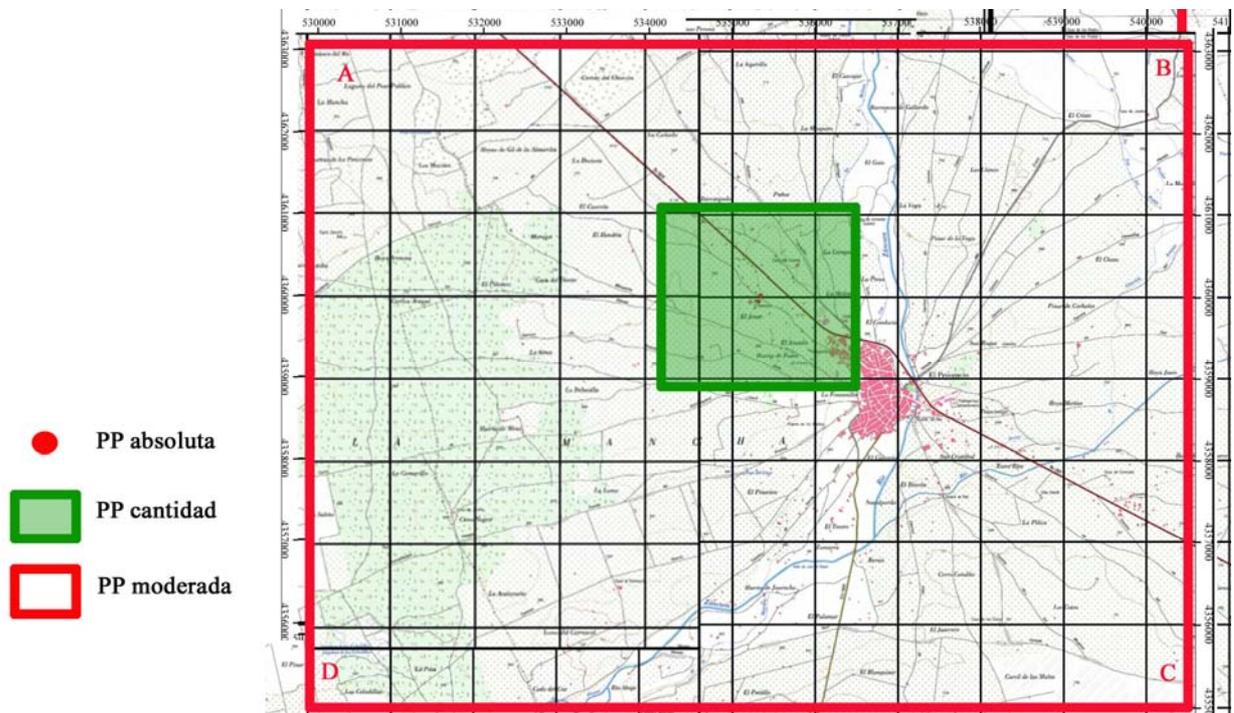


*Figura 15. Propuesta de perímetro de cantidad.*

	Nº PUNTO	UTM (X)	UTM (Y)	Z (m s.n.m.)
<b>ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS</b>	A	535190	435965	700
	B	535230	435975	700
	C	535245	4359930	700
	D	535195	4359922	700
	1	535282	4360025	700
	2	535308	4360035	700
	3	535312	4360025	700
<b>ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS</b>	A	530000	4363000	700
	B	540500	4363000	700
	C	540500	4355000	700
	D	530000	4355000	700
<b>ZONA DE PROTECCIÓN DE LA CANTIDAD</b>	A	534500	4361000	700
	B	536500	4361000	700
	C	536500	4359000	700
	D	534500	4359000	700

*Tabla 13. Coordenadas de los perímetros propuestos.*

En la figura 16 se recogen los perímetros propuestos.



*Figura 16. Todos los perímetros propuestos.*

Madrid, septiembre de 2009

El autor del informe

Fdo. Marc Martínez Parra

	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 14.** Definición de las actividades dentro del perímetro de protección restringidas o condicionadas.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

**Foster S. (1987):** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy. TNO Comm. on Hydrog. Research. Proceed. and Information # 38: 69-86. The Hague.

**Foster S. y Hirata, R. (1991):** Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: 1-81. Lima.

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

**Martínez, M. (2000):** Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable a la localidad de El Provencio (Cuenca).

**Martínez, M. (2002):** Informe final del sondeo de abastecimiento público de agua potable a la localidad de El Provencio (Cuenca).

**IGME-CHJ (1992):** Propuesta de normas de explotación de Unidades Hidrogeológicas en el sistema hidráulico Alarcón-Contreras. 1991-1992.

**Martínez Cortina, L.(2003):** Marco hidrológico de la cuenca alta del Guadiana. En "Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Coletto, C.; Martínez-Cortina, L.; Llamas, M.R. (Ed.). Fundación Marcelino Botín.