

**PROPUESTA DEL PERÍMETRO DE
PROTECCIÓN PARA EL SONDEO DE
ABASTECIMIENTO DE SANTA MARÍA
DE LOS LLANOS (CUENCA)**

Septiembre de 2007

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Demanda urbana y situación actual de abastecimiento

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 las captaciones

4.- BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro del convenio de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Excma. Diputación Provincial de Cuenca, se han realizado los trabajos necesarios para definir el perímetro de protección de las captaciones de abastecimiento urbano sitas en Santa María de los Llanos (Cuenca) y que abastecen a dicha localidad.

El 4 de febrero de 2002 se realizó el reconocimiento hidrogeológico de la zona y el 20 de septiembre de 2007 se inventariaron los posibles focos de afección a los sondeos de abastecimiento. Esta información, junto a la recopilación bibliográfica geológica e hidrogeológica realizada, ha servido para la redacción del presente informe.

1.1 Demanda urbana y situación actual de abastecimiento

La localidad de Santa María de los Llanos tiene una población censada de 903 habitantes, llegando a alcanzar en verano los 1 700 habitantes.

Considerando unas dotaciones de 200 L/hab/día, el volumen necesario para satisfacer la demanda de la población es de 2,1 L/s (180,6 m³/día), aumentando durante los periodos vacacionales a una demanda de unos 4 L/s (340 m³/día).

La localidad de Santa María de los Llanos se abastece de dos captaciones (SM-1 y SM-2) de características expuestas en la **tabla 1**. El agua se conduce a un depósito elevado de 400 m³ donde se clora (fotos 1 y 2).

En los últimos años se observa un descenso generalizado del nivel piezométrico, concretado en el sondeo **SM-1** en 11m desde el año 1981 hasta el año 2002.

También se observa un problema de calidad de las aguas con respecto al contenido en sulfatos, superior a los 250 mg/l, máximo recomendado según la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (RD 140/2003).

En la figura 1 se muestra el esquema del sondeo SM-2.

SONDEO	UTM	PROF	PNP(m)	T (m ² /d)	Q (l/s)	PROF Bomba	HIDROQUÍMICA
2228-1-0011 (SM-1)	X = 517372 Y = 4372146 Z = 720	98 m	45,03 675 msnm	660-1560	10	60 m	Sulfatada cálcica C=625-1025 μS/cm
SM-2	X = 517442 Y = 4372075 Z = 719	138	65 655 msnm	No se realizó ensayo	12	70	Sulfatada cálcica C=1100- 1200 μS/cm

Tabla 1. Principales características de las captaciones que abastecen a Santa M^a de los Llanos



Fotos 1 y 2. Sondeos de abastecimiento de Sta. M^a de los Llanos SM-1 y SM2 a la derecha.

SONDEO SANTA MARÍA DE LOS LLANOS 2

Coordenadas X: 517450 **Y:** 4372100 **Z:** 720 m s.n.m.

Método de perforación: Rotopercusión

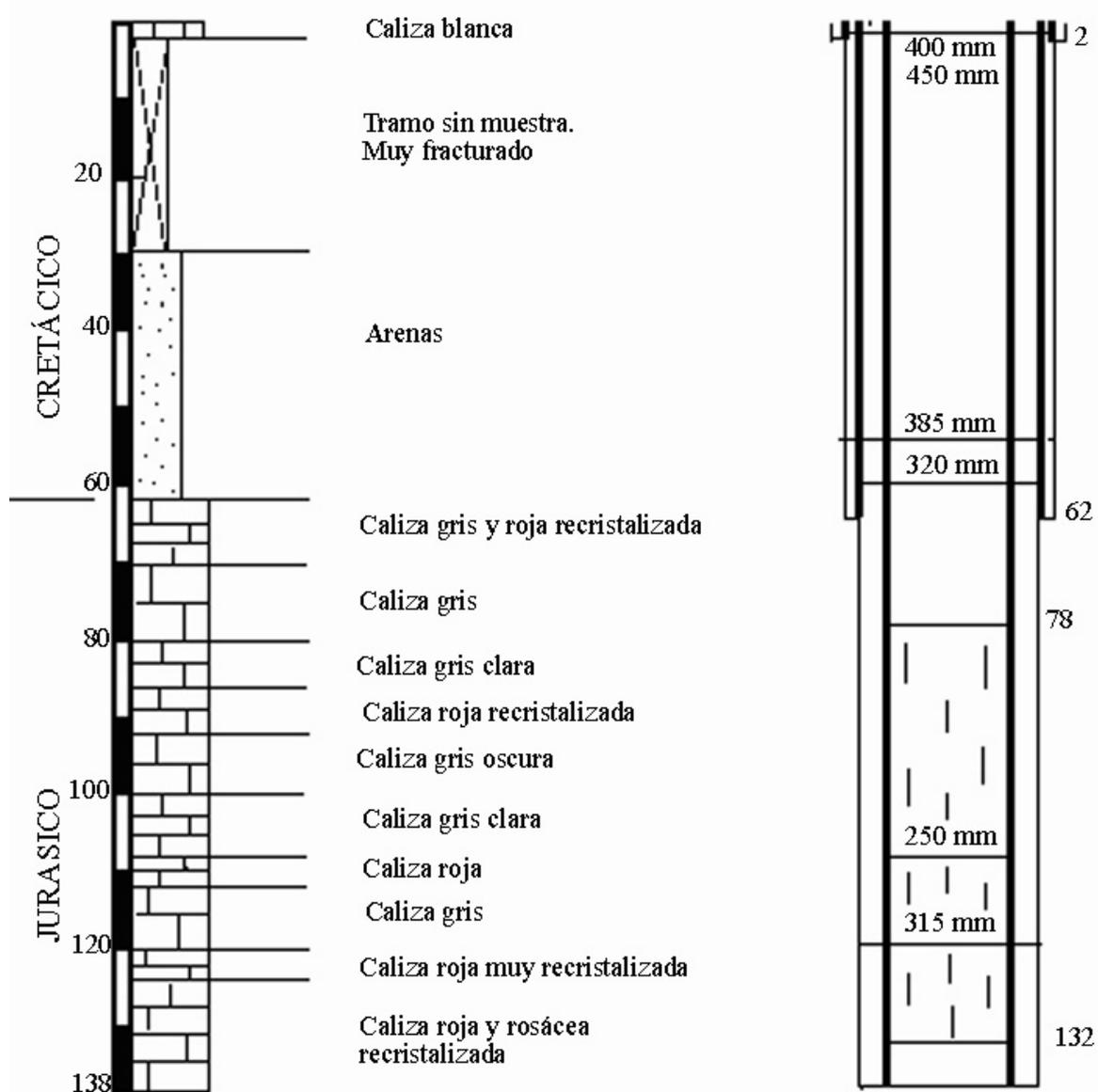


Figura 1.- Croquis constructivo y perfil litológico del sondeo SM-2.

2 ESTUDIOS PREVIOS

2.1 Marco geológico

La geología de la zona ha sido descrita con detalle en el informe hidrogeológico realizado por el IGME en 2002 previo a la perforación de la captación SM-2. (Martínez, 2002). A continuación se presenta un resumen de la misma (figura 2).

La zona de estudio se ubica al sur de la Sierra de Altomira, en la zona de confluencia con la Llanura Manchega. Se encuentran aflorantes materiales del Terciario y del Mesozoico (Cretácico y Jurásico).

Sus principales características se reflejan en la memoria de las hojas geológicas de El Provencio (715) y Belmonte (689) elaboradas por el IGME. En el mapa geológico adjunto se combina la información de estas dos hojas geológicas, que no coinciden en detalle, aunque sí a grandes rasgos. Para el presente informe se ha utilizado la descripción procedente de la memoria de la hoja de El Provencio (715).

2.1.1 Estratigrafía

JURASICO

- (1) **Calizas oolíticas** : Afloran a 1,5 km al Oeste y 4km al Norte de Santa María de los Llanos, como núcleo de los anticlinales NO-SE entre los que se emplaza Santa María de Los Llanos. Se presentan bien estratificadas, en bancos decimétricos a métricos, de tonos grises.

CRETÁCICO

- (2) **Facies Weald (Barremiense)** : 40-50 m de margas, calizas y brechas alternantes.
- (3) **Fm. Arenas Utrillas (20-30m) Margas de Chera (30m), Dolomías de Alatoz (7m) y dolomías de Villa Ves (4-12m)**
El conjunto se atribuye una edad Albiense-Cenomaniense.
- (4) **Fm. Margas de Casamedina (6-17m) y dolomías de la Ciudad Encantada (6m)**
El conjunto se atribuye una edad Cenomaniense-Turonense.

(5) Margas (26m) y calizas (20-30m)

El conjunto se data como Senoniense.

TERCIARIO

(6) Calizas, margas y yesos (20m)

Afloran al este de la población, hacia las fuentes de Saona. Se atribuye al Cretácico Superior-Eoceno.

(7) Conglomerados, margas, arenas y arcillas

Se atribuyen al Eoceno-Oligoceno.

(9) Arcillas rojas, yesos y areniscas

Son el relleno plioceno de la Llanura Manchega en el área estudiada. Las lagunas de la región se sitúan sobre los niveles yesíferos de esta Unidad. Se datan como pertenecientes al Plioceno superior.

(10) "Arcillas y areniscas de Villalgordo del Júcar"

Hacia techo de la anterior unidad se incrementa el contenido en detríticos, pasando a un microconglomerado de cemento rojo. Presenta frecuentes intercalaciones de limos y arcillas rojas. A techo empiezan a aparecer niveles carbonatados. Se atribuyen al Plioceno superior.

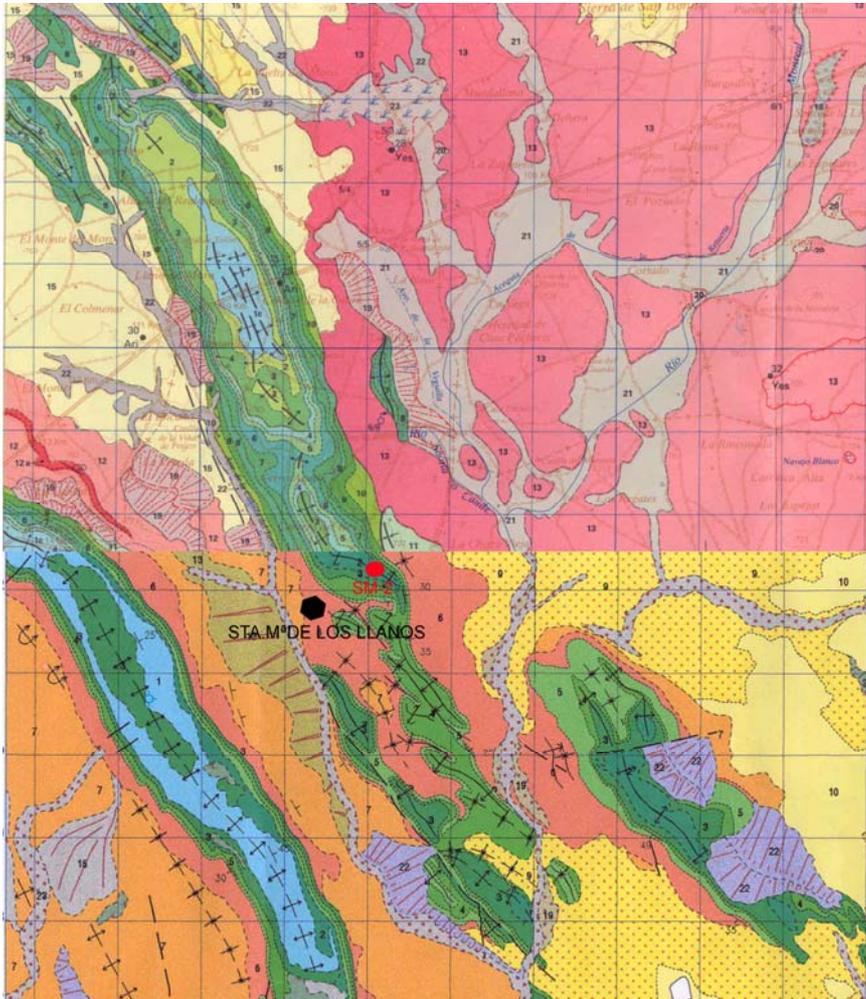
CUATERNARIO

Se distinguen depósitos de diversa génesis, como son **(13) Glacis de hasta 3m de espesor**, **(15) Abanicos aluviales** asociados a los relieves mesozoicos de la sierra de Altomira. Son de gran extensión y su espesor puede llegar a superar los 15 m. También se han descrito las **(19) Terrazas del río Monreal**, **(21) Fondos endorreicos**, **(22) Coluviones** y **(23) Fondos de valle**.

2.1.2 Estructura

El área de estudio se ubica en las estribaciones meridionales de la Sierra de Altomira. Corresponde a un conjunto de pliegues NNO-SSE, de flancos muy verticalizados, en los que afloran materiales jurásicos recubiertos en parte por materiales terciarios y cuaternarios. Los buzamientos son de 70° y 50° en el flanco occidental y menores en el oriental. Asociados al mismo se definen unos pliegues sinclinales y anticlinales que afectan al terciario en su borde meridional. Hacia el S desaparecen los pliegues, quedando cubiertos por depósitos mesozoicos y cenozoicos.

Fig.2.- Mapa geológico de la zona y ubicación de los sondeos (el cuadrículado tiene 1 km de lado).



LEYENDA

PERIODO	SUBPERIODO	Escala	CUATERNARIO	
			Holoceno	Pleistoceno
TERCIARIO	NEOGENO	MED. PLU.	10	11
		SUP. SUP.	12	13
	VILLAFRANQUIENSE	14	15	
	VALLIENSENSE	16	17	
	DULGOCENO	18	19	
PALEOGENO	EOCENO	20	21	
	PALEOCENO	22	23	
CRETACICO	SUPERIOR	SENONIENSE	24	25
		TURONIENSE	26	27
		CENOMANIENSE	28	29
	INFERIOR	ALBIENSE	30	31
		BARREMIENSE	32	33
JURA	DOGGER	34	35	

- 23 Arenas, gravas y arcillas. (Fondos de valle).
- 22 Cantos, gravas y arcillas. (coluviones).
- 21 Arcillas, arenas y gravas. (Fondos endorreicos).
- 20 Arcillas, arenas y gravas. (Conos de deyección).
- 19 Gravas poligénicas, arenas y limos. (Terrazas del Montesa).
- 18 Gravas calcáreas, arenas y arcillas. (Terraza baja del río Rus).
- 17 Arenas gruesas, limos y arcillas. (Paleovalle de Sántigo de la Torre).
- 16 Gravas poligénicas, arenas y limos. (Terrazas del río Zancara).
- 15 Gravas y bloques calcáreos, arcillosos y arenas. (Abanicos aluviales).
- 14 Arenas bien clasificadas, arcillas y limos. (Manto eólico).
- 13 Gravas, arcillas y arenas. (Glacia).
- 12 Gravas calcáreas y cuarcitas.
- 11 Calizas y margo-calizas blancas. "Calizas y margas de Minaya".
- 10 Microconglomerado y arcillas rojas. "Arcillas y areniscas de Villagordó del Juch".
- 9 Arcillas rojas, yesos y areniscas.
- 8 Arcillas rojas, areniscas, conglomerados y brechas.
- 7 Conglomerados, margas, arenas y arcillas.
- 6 Calizas, margas, arenas y arcillas.
- 5 Margas y calizas.
- 4 Dolomías y margas. Fms. Margas de Casamedina y Dolomías de la Ciudad Encantada.
- 3 Arenas, areniscas, margas, limos dolomíticos y dolomías. Fms. Arenas de Ultrillas, Margas de Chera, Dolomías de Alatoz y Dolomías de Villa Ves.
- 2 Brechas calcáreas. Facies Weald.
- 1 Calizas oolíticas.

2.2 Marco hidrogeológico regional

Regionalmente, la zona estudiada se encuentra dentro de la U.H. 04.01 "Sierra de Altomira" (figura 3). El acuífero está constituido por rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico, con una potencia de hasta 1100 m, siendo su permeabilidad en general alta. Los niveles piezométricos se encuentran entre 600-900 m s.n.m.

Los sondeos SM-1 y SM-2 afectan a los depósitos carbonatados jurásicos con una cota piezométrica de 675 y 655 m.s.n.m. respectivamente y cuyo techo se encuentra a una profundidad de 45 y 65 m.

El presente perímetro de protección se realiza para las captaciones SM-1 y SM-2 previstas para el abastecimiento de Santa María de los Llanos.

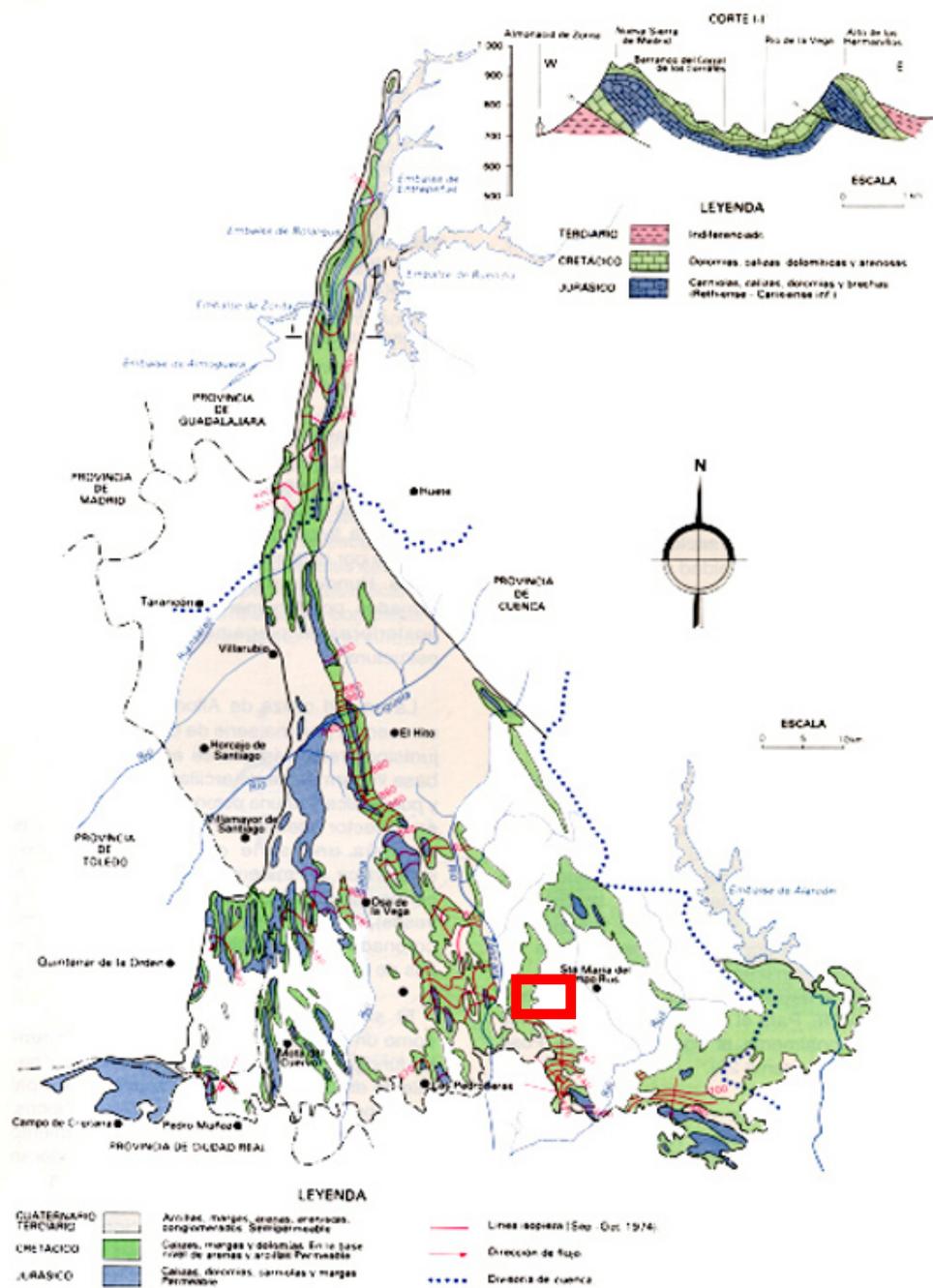


Figura 3.- Situación del área estudiada en la U.U.H.H. 04.01 “Sierra de Altomira” En el rectángulo se indica el área de estudio.

2.2. Marco hidrogeológico local

2.2.1. Formaciones acuíferas

Las formaciones susceptibles de constituir acuíferos corresponden a las **calizas jurásicas y calizas cretácicas** (Martínez, 2002).

Las Calizas jurásicas afloran en los núcleos de los pliegues anticlinales próximos a la población: el situado al oeste, a 1,5 km y el ubicado en el anticlinal del noreste. Se pueden subdividir en dos acuíferos; el anticlinal occidental y el nororiental.

En el *acuífero del anticlinal occidental* se sitúan las captaciones 2228-1-0001 (Abastecimiento de reserva de Mota del Cuervo), 2228-1-0004 y un nuevo sondeo a menos de 500 m del 1-0001 (denominado "Junto Mota"); todas estas captaciones se sitúan sobre las calizas jurásicas (figura 4). Ya hacia el S, a 11 km hacia Las Mesas, se alcanza este acuífero bajo los materiales cretácicos, en los sondeos (fuera del área de estudio) de Abastecimiento de Las Mesas (2228-2-0018) y del IRYDA (2228-2-0041), a 92 m (598 m s.n.m.) y a 189 m de profundidad (501 m s.n.m.), respectivamente. En estos dos últimos sondeos se captan conjuntamente aguas del Cretácico Superior y del Jurásico. No obstante las cotas piezométricas son muy parecidas, entre 677-684 m s.n.m (tabla 2). Las transmisividades obtenidas en diversos ensayos de bombeo se encuentran entre 60-1658 m²/día.

En el *acuífero del anticlinal nororiental* se ubican las captaciones 2228-1-0007, 2228-1-0011(SM-1), 2228-1-0013 y, más alejado, el de Cañada Marina. El 2228-1-0011 presenta una transmisividad de 660-1560 m²/día; se recomendó su explotación con 10 L/s. El nivel piezométrico, entre junio de 1981 a febrero de 2002 ha descendido de 34,06 m a 45,03 m (673 a 686 m s.n.m.). En el 2228-1-0007 se realizó un valvuleo con un caudal de 4,2 L/s determinándose una transmisividad baja, de 3 m²/día; no se ha podido medir el nivel piezométrico por posible obturación en el sondeo aunque se dispone de medidas del periodo (mayo de 1979 a mayo de 2001) (figura 5).

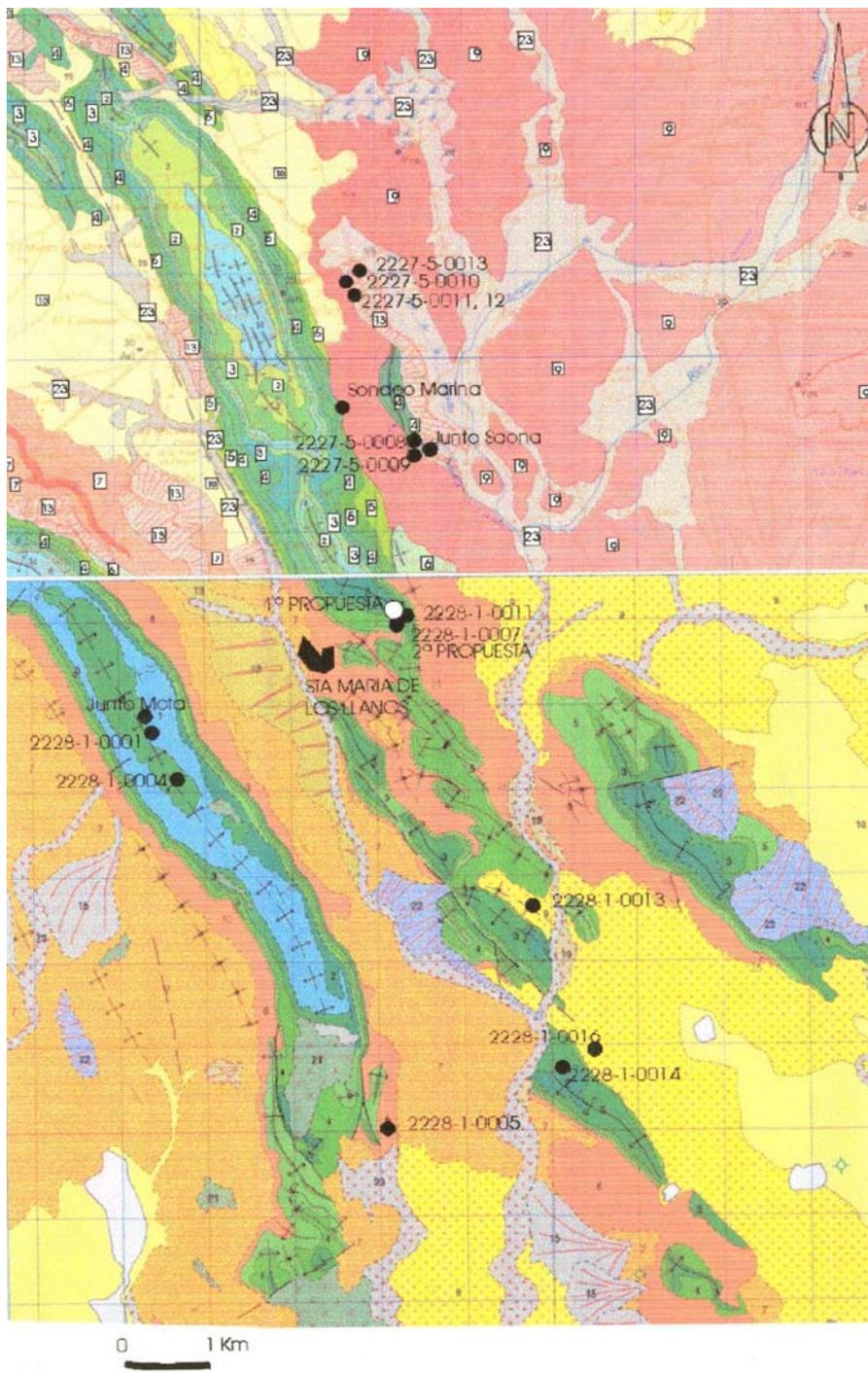


Figura 4.- Situación de los puntos acuíferos del área estudiada (Martínez, 2002).

Nº DE INVENTARIO	COTA (m s.n.m.)	PROF (m)	PNP(m)/ COTA PIEZOMETRICA (m s.n.m.)	ESPEJOR ACUIFERO (m)	USO	CAUDAL AFORO (L/s)
2228-1-0001	750	172	25,0 (725) (4/74)		AU	18
2228-1-0004	750	150	53,8 (696,2) (11/72) 66,3(683,7)(2/02)		SU	
2228-1-0007	722	234,5	39,75(682,25)(5/79)		SU	
2228-1-0013	695	102			R	48,6
2228-1-0011 SM-1	720	98	34,03(6/81) 45,03(673,97)(2/02)	83	AU	25
Junto Mota	760		75,58(684,42)(2/02)		GR	
Cañada Marina	750	147	47 (703)(4/69) 42 (708)(11/69) 43,9 (705,1)(3/75)	-		2,5
2228-2-0018 S. LAS MESAS	685	195	10,5 (674,5)(9/87) 8,3 (676,7)(3/00)	68	AU	151
2228-2-0041 IRYDA	690	215	7,18 (682,8)(3/00)	65	AU	70

Tabla 2.- Captaciones que afectan a las formaciones jurásicas (prof.-profundidad, AU-abastecimiento urbano, PNP-profundidad nivel piezométrico, G-ganadería, R-riego, SU- sin uso).

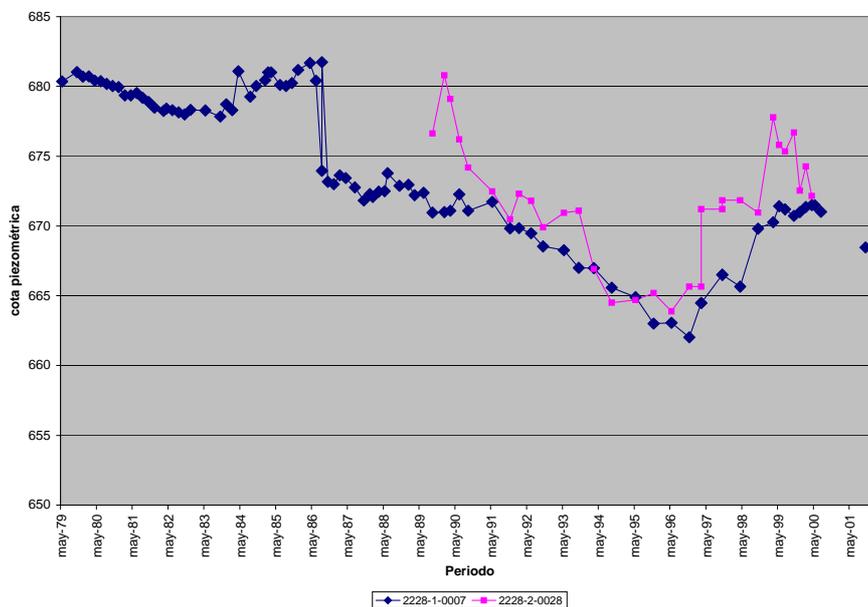


Figura 5.- Evolución de la cota piezométrica en los sondeos 2228-1-0007 y 2228- 2-0028.

En la figura 5 se observa que, para los puntos 2228-2-0028 y 2228-1-0007, existe un comportamiento similar, con un descenso entre noviembre de 1975 a noviembre de 1996, produciéndose una suave recuperación desde entonces; sin embargo la tendencia general

es la de un descenso continuado.

No todo el material carbonatado jurásico constituye una única formación acuífera; se definen dos tramos carbonatados acuíferos separados por un paquete, con un espesor mínimo de 70-100 m, de margas y calizas margosas muy poco permeables. Esta disposición se ha reconocido en el sondeo 2228-1-0007 y en el sondeo de abastecimiento a Belmonte, a 15 km al NE, situado en una estructura similar a la de Santa María de Los Llanos.

También en un paraje denominado Cañada Marina, a unos 3 km al N de Santa María de los Llanos, junto al flanco del pliegue anticlinal se perforaron 147 m en 1969; en 1975 el nivel piezométrico estaba cerca de 44 m ó 705 m s.n.m., realizándose un ensayo con 2,5 L/s resultando una transmisividad muy baja, de 1,5 m²/día. Aunque parece emboquillado en Cretácico, la baja transmisividad y la calidad de sus aguas parecen indicar que se trata del acuífero jurásico.

Las **calizas cretácicas** que corresponden a las de edad Senoniense (más superficiales) y las turonienses son las que constituyen acuíferos. La estructura de la zona, sin embargo, condiciona el funcionamiento hidráulico y la posible desconexión de algunas zonas. Así los pliegues NNO-SSE, cuyo núcleo aflorante está constituido por materiales jurásicos o del Cretácico inferior ejercen de divisoria de las aguas de los acuíferos cretácicos, siendo unos flancos muy verticalizados. Se pueden definir a grandes rasgos, dos entidades acuíferas tomando como referencia el anticlinal sobre el que se sitúa Santa María de Los Llanos:

- 1) Al NE, el acuífero de Saona;
- 2) Al sur, el acuífero del Cerro Espinillo.

El *Acuífero de Cerro Espinillo*, sito a unos 5 km al S de Santa María de Los Llanos, se capta en el sondeo de Cerro Espinillo (2228-1-0005)(figura 3). El espesor conjunto de estas formaciones puede alcanzar los 100 m aunque conforme se avanza hacia el S disminuye, así en el sondeo de abastecimiento a Las Mesas (2228-2-0018), a 8 km al SE, alcanza los 58 m y en el sondeo IRYDA (2228-2-0041), a 10 km al SE, alcanza los 65 m; ambos sondeos también alcanzan el acuífero jurásico (tabla 3).

La cota piezométrica para el 2227-1-0005, se encontraba, en febrero de 1997, a 672 m s.n.m. Es previsible que el agua circula hacia el S, hacia Las Mesas.

Los caudales de explotación y/o aforados de los sondeos de la zona son elevados (3 a 83 L/s). Se ha aforado el 2228-1-0005 en dos ocasiones, obteniéndose una transmisividad de 4 000-9 800 m²/día para unos caudales de 4 a 55 L/s.

Nº DE INVENTARIO	COTA (m s.n.m.)	PROF. (m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)/ COTA PIEZOMETRICA (m s.n.m.)	USO	CAUDAL (L/s)
2228-5-0019	675		4,05 (665)(3/00)	PZ	
2228-1-0005 Cerro Espinillo	705	150	21,0 (684) (11/74) 33,2 (671,8)(2/97)	R	4-55

Tabla 3.- Captaciones en calizas cretácicas del acuífero de Cerro Espinillo (Leyenda: prof.-profundidad, pz-piezómetro, R-riego).

El *Acuífero de Saona* es de mayor extensión. Su recarga puede producirse a varios km al Norte, en los relieves de Los Hinojosos, teniendo un punto de descarga en los baños de Saona (150-200 L/s en septiembre de 1978, en la actualidad seco) aunque en el entorno existen numerosas captaciones para regadío, equipados con motores de 150.000 L/h (40-42 L/s) y niveles muy someros (1 m en febrero de 2002 ó una cota piezométrica de 709-716 m s.n.m.) (tabla 4).

Nº DE INVENTARIO	COTA (m s.n.m.)	PROF. (m)	PROF. NIVEL PIEZOMETRICO(m)/ COTA PIEZOMETRICA (m s.n.m.)	USO	CAUDAL (L/s)
2227-5-0008 Fuente Saona	710			-	150-200 (9/78) 0 (2/02)
2227-5-0009	710	42	2,73 (707,27)(6/85)	R	40-42
Junto Saona	710	90	1 (709)(2/02)	R	
2227-5-0010	718	60	4,9 (713,1)(6/85)	R	

Tabla 4.- Captaciones en calizas cretácicas del acuífero Saona. (Leyenda: prof.-profundidad, R-riego).

2.2.2. Hidroquímica

En general las aguas subterráneas del área estudiada presentan una notable influencia de actividad antrópica, con presencia notable de nitratos.

Para caracterizar las aguas de los depósitos jurásicos se han utilizado los datos de los abastecimientos de Las Pedroñeras (fuera de la zona de estudio) y el sondeo junto al de Mota. Son aguas de conductividad en torno a 600-800 µS/cm y bajos contenidos en sulfatos

(< 100 mg/L). Sin embargo, las aguas de Santa María de los Llanos muestran una conductividad elevada (625-1025 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con incrementos anómalos del contenido en sulfatos (89-420 mg/L) que no va parejo a un incremento de nitratos. El contenido en nitratos se encuentra entre 22-29 mg/L.

Los sondeos de abastecimiento de Las Mesas e IRYDA (situados a 8-10 km al S) captan aguas de las formaciones cretácicas y jurásicas. Su conductividad es mayor (1969-2823 $\mu\text{S}/\text{cm}$), altos contenidos en sulfatos (738-1300 mg/L) y de nitratos (alcanzando los 50 mg/L).

Las aguas asociadas a los depósitos calizos del Cretácico superior presentan una conductividad alta en ambos acuíferos (de Cerro Espinillo y de Saona), entre 1430-2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona de Las Mesas (tabla 5). Se dispone de pocos análisis; en el sondeo junto a Saona las aguas son sulfatadas cálcicas, de elevada conductividad (3 613 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y altos contenidos en sulfatos (1 420 mg/L) y nitratos (34 mg/L) Al Sur, en Las Mesas, el sondeo Taray, próximo al 2228-2-0041, a 10 km al SE de Santa María de los Llanos, presenta contenidos en sulfatos de 662 mg/L y alto en nitratos (36 mg/L).

2.2.3. Sondeos de abastecimiento de Santa María de los Llanos

La formación captada por los sondeos SM-1 y SM-2 corresponde a materiales carbonatados del Jurásico (Barremiense) los cuales cuentan en el sondeo SM-2 con una potencia de 73m y en el sondeo SM-1, de 83 m. Correspondería al acuífero jurásico del anticlinal nororiental.

Por encima de dichos materiales se disponen materiales del Cretácico inferior formados por una serie de arenas de 30 m de espesor correspondiente a la formación detrítica Utrillas. Por encima de esta formación, en el sondeo SM-2 se perforaron 30 m de materiales muy fracturados en los que se perdió circulación y no se pudo recoger muestra. Se atribuye un espesor total de la Formación Utrillas de 60 m.

El nivel piezométrico en SM-2 se situó el día de su perforación (18-21 de junio de 2002) a 65 m de profundidad(665 m s.n.m.).

Al no realizarse ensayo de bombeo , se asume una transmisividad par el sondeo SM-2 similar a la reportada para el sondeo SM-1, sito a 100m y el cual afecta a las mismas calizas jurásicas,

esto es, una transmisividad del orden de 1000 m²/día. El acuífero es de naturaleza libre y la dirección de flujo hacia el sur se ha considerado determinada por la estructura anticlinal.

3 PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

La propuesta de perímetro de protección se va a realizar para las captaciones de abastecimiento SM-1 y SM-2 de Santa María de los Llanos.

3.1 Vulnerabilidad del acuífero

3.1.1 *Inventario de focos de contaminación*

El entorno de los sondeos de abastecimiento es área dedicada al cereal de secano. 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.).

En la visita al lugar el día 20 de septiembre de 2007 se inventariaron otros posibles puntos de afección puntual al acuífero, los cuales serán tenidos en cuenta en el estudio de vulnerabilidad y consiguiente propuesta de perímetro de protección. Estos puntos, su ubicación y sus características se recogen en la tabla 5 y figura 6, fotos 3 y 4.

FOCO DE CONTAMINACIÓN	UTM X	UTM Y	Altitud (m)	Distancia a sondeos (m)	OBSERVACIONES
Vertedero	5144479	4371132	720	3000	Vertedero de inertes y orgánicos gestionados por ConserMancha.
Cantera	515091	4369662	725	3350	
Gasolinera	515011	4370818	740	2650	
Vertido aguas residuales	516382	4370793	706	1650	Aguas vertidas sin tratamiento previo en acequia sin revestir con final en Río Záncara. Las aguas se infiltran al terreno en escasos metros.
Cementerio	516429	4371067	715	1400	
Carretera	517375	4371786	715	315	

Tabla 5. Inventario de focos de contaminación



Foto 3: Vertido Aguas residuales



Foto 4: Vertedero de residuos inertes

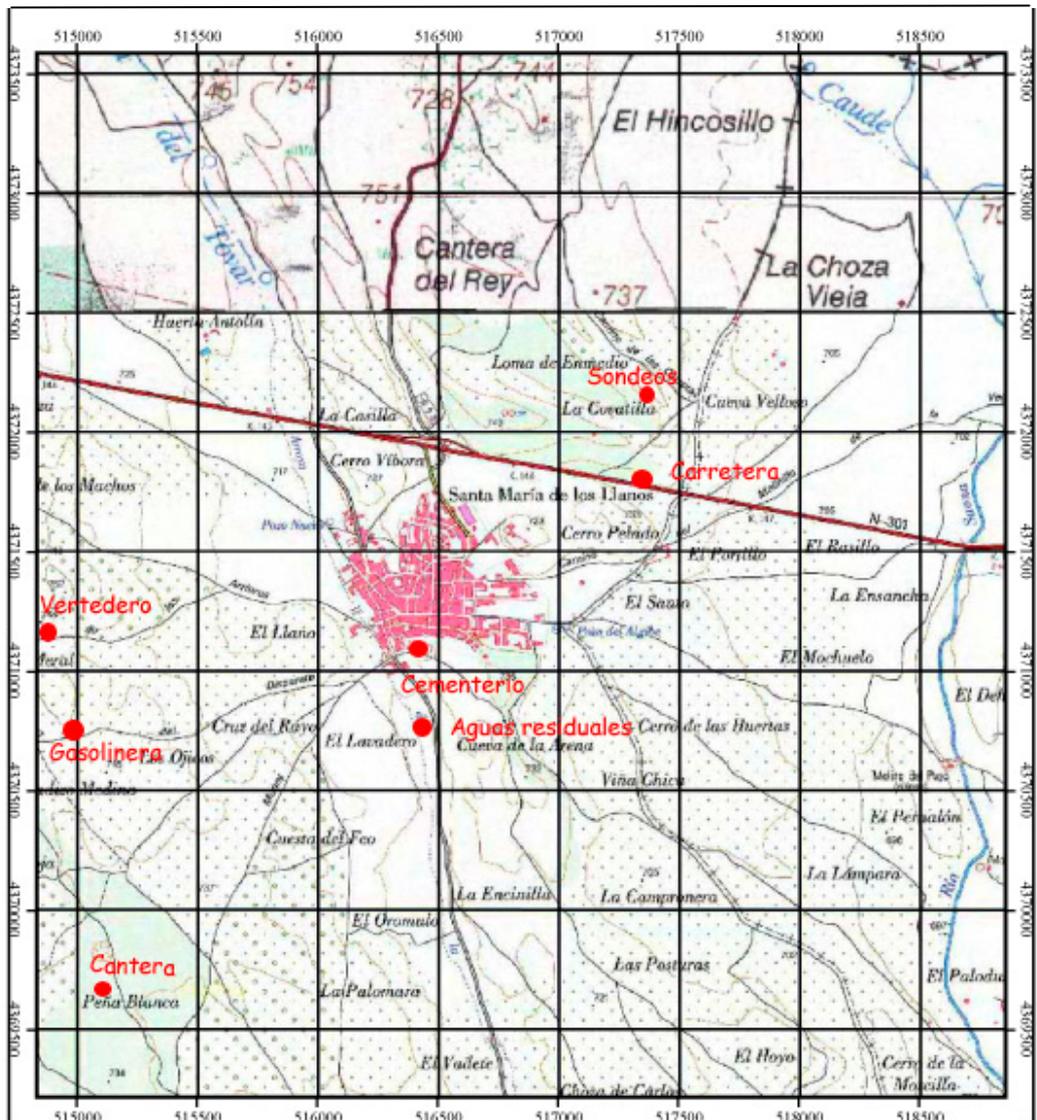


Figura 6.- Ubicación focos de contaminación

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 DRASTIC. Este fue desarrollado para 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 que van 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 sección subsaturada (I) y el menor (1) para la topografía (T) (tabla 6).

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).

Esto se aplica a celdas cuadradas de 500 x 500 m.

El rango posible de valores del índice DRASTIC está comprendido entre 23-226 siendo mas 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

Para el presente estudio se ha considerado acuífero libre de naturaleza carbonatada, de espesor saturado 73 m.

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

- La profundidad del nivel piezométrico se ha tomado la obtenida el día 18-21 de junio de 2002 :

$$NP = 65 \text{ m ; Cota piezométrica} = 665 \text{ msnm (D = 1)}$$

- Respecto a la recarga se ha tomado una infiltración de $235 \text{ hm}^3/\text{año}$ para una superficie de 5000 km^2 . La recarga resultante es de unos 50 mm , y el índice DRASTIC $R = 1$.
- Para la litología del acuífero se ha considerado un valor DRASTIC de $A = 8$ correspondiente calizas jurásicas moderadamente carstificadas.
- Para el suelo se ha considerado el caso más desfavorable, el de suelo ausente $S=10$, en las celdas donde aflora el jurásico carbonatado. En las celdas donde aflora el Cretácico, tanto detrítico como carbonatado también se le ha asignado valor $S=10$. En las celdas donde aflora el terciario, los materiales presentan una composición variada. , desde yesos y arcillas a areniscas, arenas y calizas. En estas celdas el valor utilizado para caracterizar los suelos es $S= 6$, correspondiente con un suelo margoso-arenoso.
- El índice DRASTIC para la topografía da un valor de $T = 10$ correspondiente a una superficie del terreno horizontal-subhorizontal con unas pendientes de $0-5\%$.
- El valor adjudicado al parámetro I (impacto de la zona no saturada) toma valor de $I=6$ para todas las celdas excepto en aquellas en las que las calizas jurásicas constituyentes de acuífero afloran y en las que se considera una zona no saturada formada por calizas karstificadas con $I = 10$. El valor de $I = 6$ se corresponde con materiales de naturaleza variada formados por calizas, areniscas, arcillas, arenas, yesos, etc.
- Para la conductividad hidráulica se ha utilizado la información proveniente del ensayo de bombeo del sondeo SM-1. Éste arrojaba una transmisividad de $660-1560 \text{ m}^2/\text{día}$. Considerando un espesor saturado de 73 m , se obtiene un conductividad hidráulica de $9 \text{ a } 21 \text{ m/día}$ y un parámetro DRASTIC de $C = 4$.

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 6.- 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	

Como se observa en la figura 7, la **vulnerabilidad es muy baja** para casi la totalidad de la zona de estudio excepto en el cuadrante noroccidental en el que se encuentran aflorantes los materiales jurásicos constituyentes de acuífero en profundidad. En ésta esquina y según el método DRASTIC, se obtiene una **vulnerabilidad baja**.

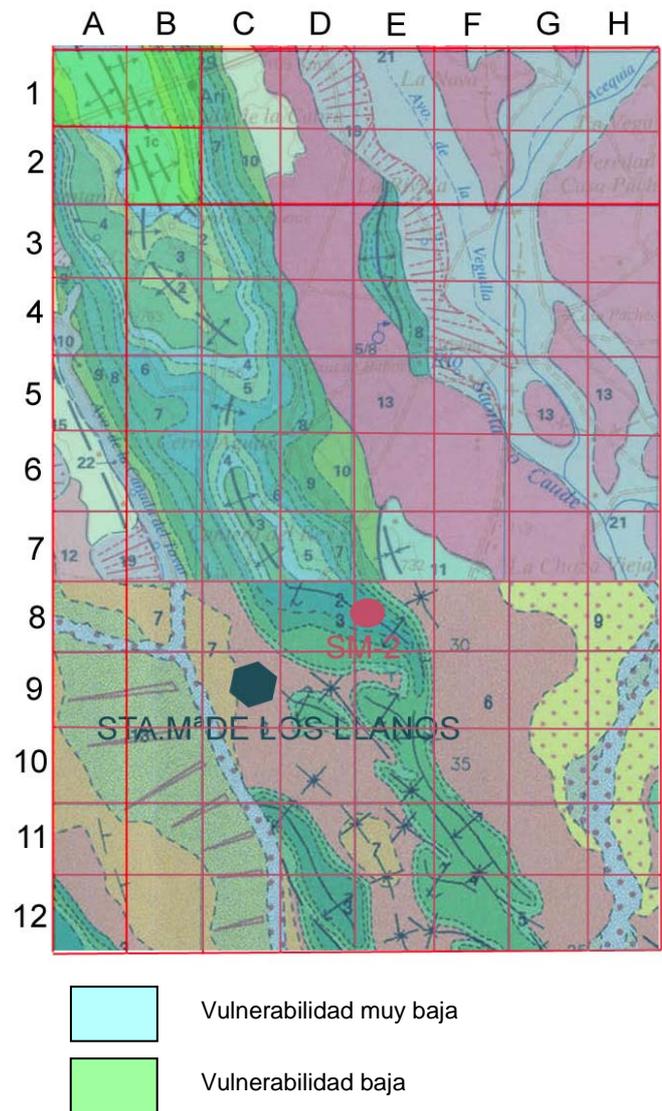


Figura 7. Mapa de estimación de la vulnerabilidad mediante el método DRASTIC.

3.2. Perímetro de protección de las captaciones

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 m². Suele estar vallada.
- Zona próxima o de restricciones máximas: tiempo de tránsito 50 días. Protege de la contaminación microbiológica con criterios hidrogeológicos. En algunos estudios se ha usado el descenso del nivel piezométrico o el poder autodepurador.
- Zona alejada o de restricciones moderadas: se usa el tiempo de tránsito de varios años en función de los focos contaminantes, criterios hidrogeológicos o ambos.

El acuífero captado por el sondeo se ha considerado de comportamiento libre a efecto de los cálculos correspondientes, con un espesor saturado de 73 m, espesor de la zona no saturada de 65 m y dirección de flujo hacia el sur.

Para la definición de zona de restricciones absolutas se propone aplicar un área fija que contemple el vallado y protección del área que encierre a cada uno de los sondeos, SM-1 y SM-2. El vallado responde a un cuadrado de 10m x 10m de lado de coordenadas las descritas en la tabla 7. 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 (figura 8).

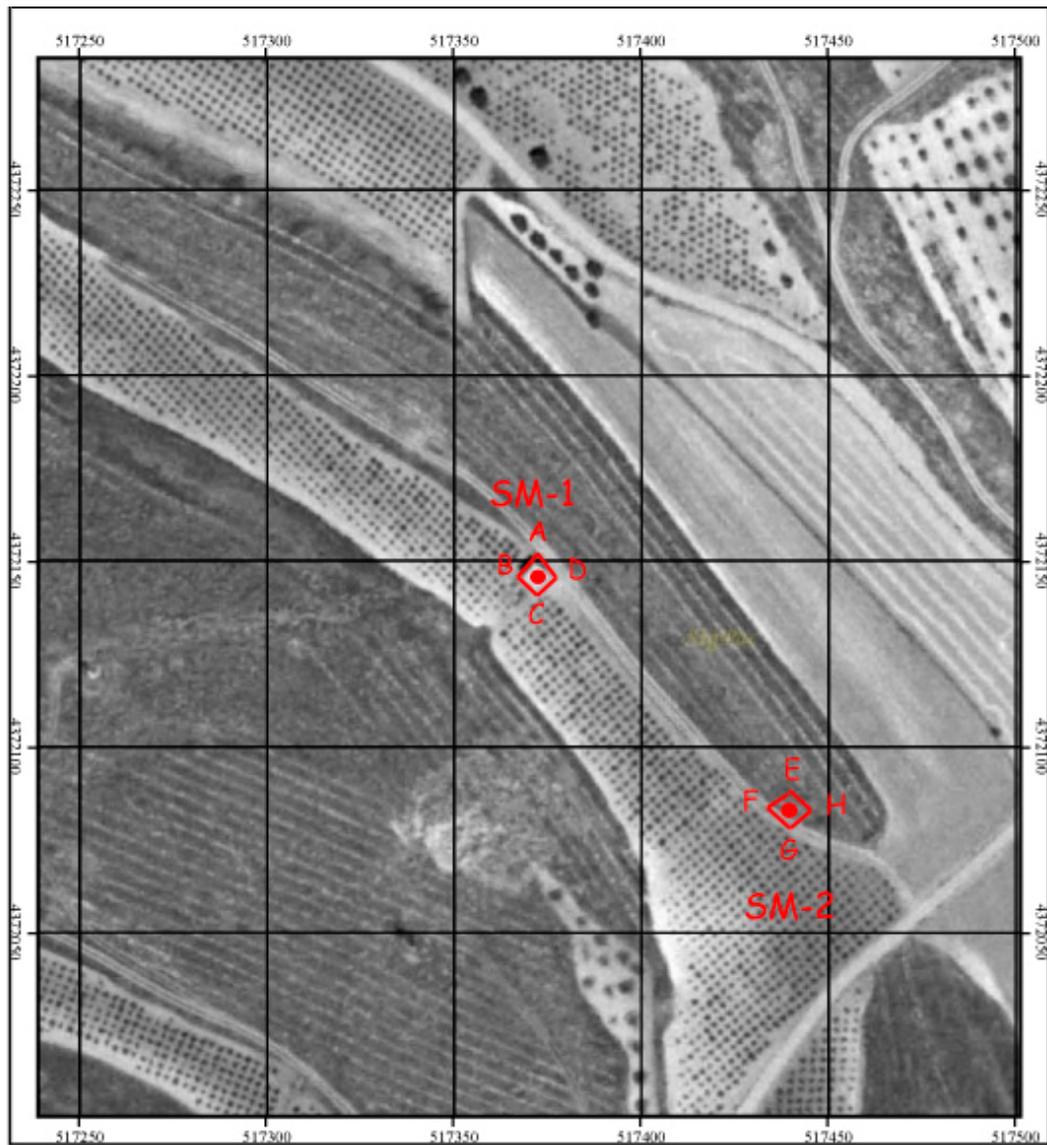


Figura 8. Propuesta de perímetro de protección con restricciones absolutas.

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** (Martínez y García, 2003):

La ecuación volumétrica es la siguiente:

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

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

$m \cdot H \pi R^2 =$ Volumen de agua contenido

Siendo:

Q = caudal bombeado

t = tiempo de tránsito hasta la captación

m = porosidad eficaz del acuífero

H = espesor saturado en la captación

R = radio del perímetro de protección

Para el cálculo de este perímetro se van a tomar los supuestos más desfavorables en cuanto al alcance de una posible contaminación. Aún a sabiendas que ambas captaciones SM-1 y SM-2 no bombean siempre con los caudales de explotación máximos adjudicados a cada una de ellas ni lo hacen de manera continua ni simultánea, a efectos de los cálculos se va a considerar un caudal total resultante de la suma de ambos caudales de manera continua. Este supuesto arroja un caudal total de 22 l/s o 1900 m³/día. El tiempo de tránsito considerado mínimo para que una posible contaminación bacteriológica desaparezca es de 50 días, la porosidad eficaz estimada para un acuífero libre jurásico carbonatado es de 0,02 (Villanueva e Iglesias, 1984) y el espesor saturado en la captación es de 73 m. El radio del perímetro de protecciones máximas obtenido es de 145 m (Figura 9, tabla 7).

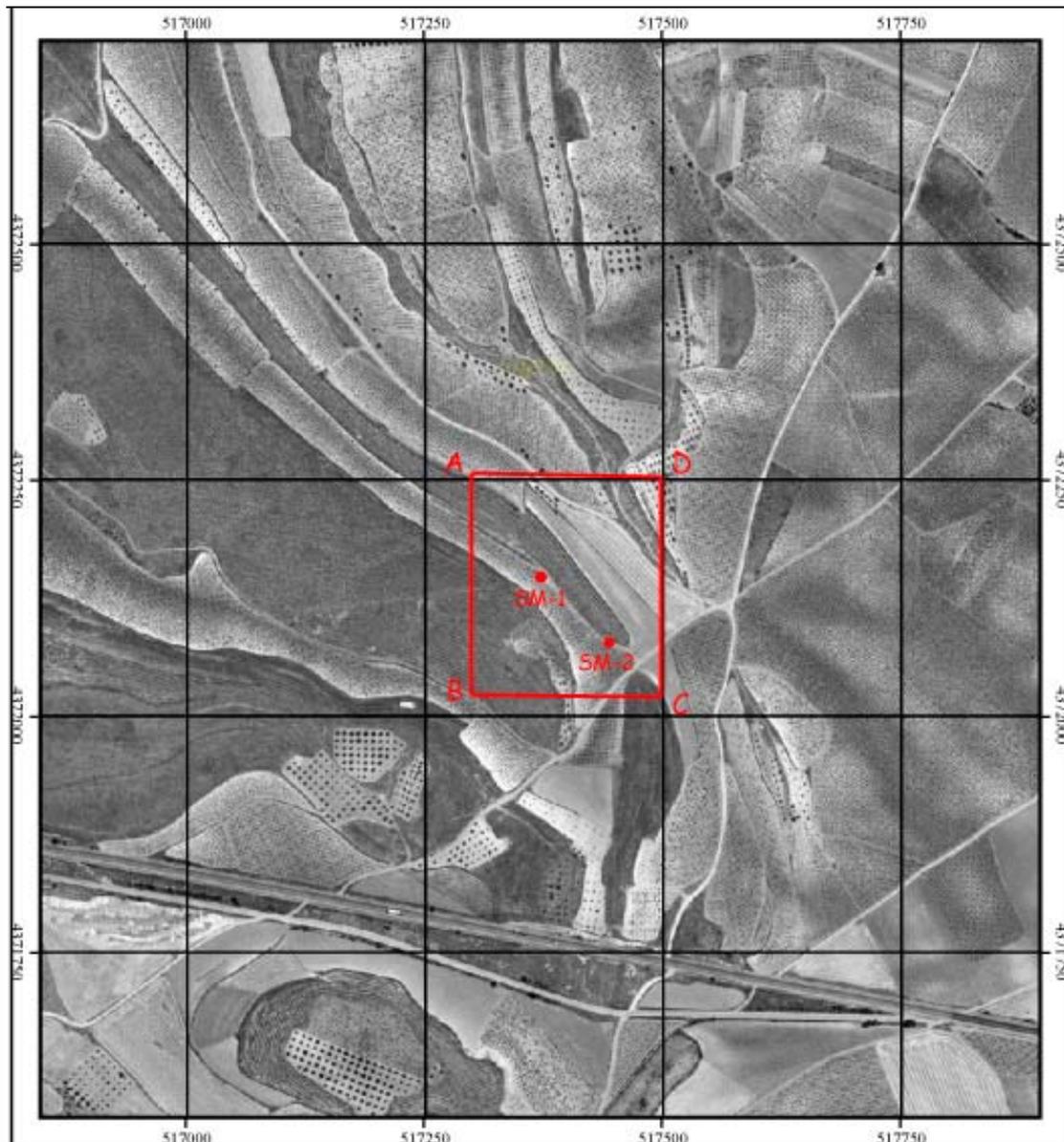


Figura 9. Propuesta de perímetro de protección con restricciones máximas.

Para la definición de la **zona alejada o de restricciones moderadas**, se van a tener en cuenta los mismos supuestos que para el perímetro de protecciones máximas y un tiempo de tránsito de 5 años. Así, el radio del perímetro obtenido es de 1230 m. Considerando que la dirección preferencial de flujo es hacia el sur, se ha considerado pertinente alargar dicho perímetro hacia el norte hasta abarcar el área noroccidental del mapa DRASTIC en el que afloran las calizas jurásicas, constituyente del área de recarga más próxima (figura 10, tabla 7).

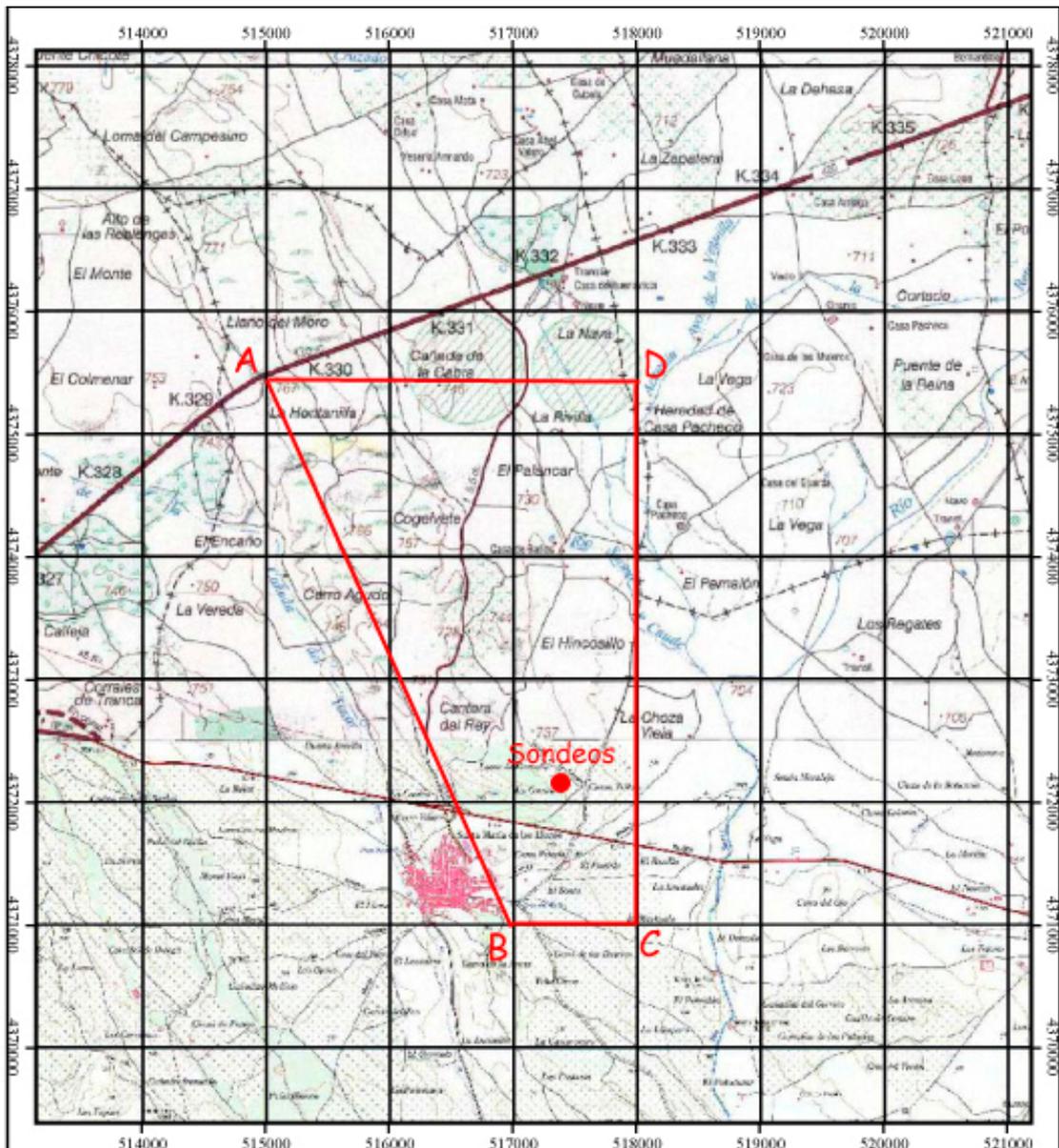


Figura 10. Propuesta de perímetro de protección con restricciones moderadas.

El perímetro de protección de la cantidad se recomienda que coincida con el perímetro propuesto para la zona de protecciones moderadas. Pevio a la perforación de nuevos sondeos dentro de dicho perímetro se hace obligatoria la realización de un ensayo de bombeo y un informe técnico con los caudales de explotación máximos permitidos para que no se afecte negativamente a los sondeos municipales ni a los complejos lagunares sitios a escasos kilómetros al sur de la población. También se recomienda la realización de un inventario de sondeos privados para conocer los caudales extraídos en la zona por particulares previo a la concesión de nuevos derechos de extracción.

		PUNTO	UTM (X)	UTM (Y)	Z (m s.n.m.)
RETRICCIONES ABSOLUTAS	SM-1	A	517371	4372149	720
		B	517366	4372146	720
		C	517372	4372141	720
		D	517376	4372146	720
	SM-2	A	517441	4372080	720
		B	517438	4372075	720
		C	517442	4372072	720
		D	517446	4372075	720
RESTRICCIONES MÁXIMAS		A	517290	4372255	725
		B	517290	4372025	715
		C	517505	4372025	715
		D	517500	4372255	725
RESTRICCIONES MODERADAS		A	515500	4375400	750
		B	517000	4371000	720
		C	518000	4371000	720
		D	518000	4375400	720

Tabla 7. Poligonal envolvente del perímetro de protección de la calidad propuesto.

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la tabla 8.

Según dicha tabla, dentro del perímetro de **protecciones máximas** queda prohibido el uso de plaguicidas y fertilizantes por lo que los campos de cultivo incluidos dentro de este perímetro han de someterse a control periódico por parte de la autoridad competente para asegurar el abandono de dichas prácticas. Así mismo, se restringe toda actividad ganadera e industrial y todo tipo de vertidos.

En la zona establecida como de **protección moderada** de la calidad estarán prohibidos los vertidos de aguas residuales urbanas en fosas sépticas y cauces públicos, vertederos y vertidos industriales. Los vertidos superficiales de aguas residuales urbanas sobre el terreno tendrán que estar sujetos a supervisión técnica. La ganadería extensiva está permitida. La ganadería intensiva así como la agricultura estará sometida a un Código de buenas prácticas agrarias y ganaderas que aseguren el correcto uso de fertilizantes y herbicidas, vertidos de restos de animales, almacenamiento de estiércol, etc, de manera que la calidad del agua no se vea afectada. Así mismo, el permiso para asentamiento de cementerios, industrias, canteras o campings deberá estar sujeta a un informe técnico previo. Los actuales focos de contaminación puntuales en Santa María de los Llanos se ubican fuera del perímetro de protección moderada y no suponen un riesgo para la calidad de las agua del abastecimiento.

	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	•	•			•		
ACTIVIDADES INDUSTRIALES	Cementerios	•	•				•	
	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 8. Definición de las actividades restringidas o condicionadas dentro de cada perímetro de protección.

Madrid, septiembre de 2007

La autora del informe

Fdo. Esther Alonso Marín

4.- BIBLIOGRAFÍA

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

Martínez, M. (2002): Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable a la localidad de Santa María de Los Llanos (Cuenca).

Martínez, C; García A (2003): Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio.