

**ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE
PERÍMETROS DE PROTECCIÓN A LAS
CAPTACIONES DE ABASTECIMIENTO
URBANO SITAS EN TORRALBA (CUENCA)**

Julio 2005

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. ESTUDIOS PREVIOS**
 - 2.1. Situación actual del abastecimiento**
 - 2.2. Demanda urbana**
 - 2.3. Marco geológico**
 - 2.4. Marco hidrogeológico regional**
 - 2.5. Marco Hidrogeológico local**
 - 2.6. Vulnerabilidad del acuífero**
 - 2.6.1. Inventario de focos de contaminación*
 - 2.6.2. Estimación de la vulnerabilidad*
- 3. PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE LAS CAPTACIONES**
- 4. CONCLUSIONES**
- 5. BIBLIOGRAFIA**

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 los perímetros de protección en las captaciones de abastecimiento urbano sitas en Torralba (Cuenca) y que abastecen a la denominada Mancomunidad de Servicios “El Puerto” constituida por las localidades de Torralba, Arrancacepas, Castillo-Albaráñez, Olmeda de la Cuesta y Olmedilla de Eliz, en la provincia de Cuenca.

Se realizó el 25 de abril de 2005 el reconocimiento hidrogeológico de la zona, que junto con la información geológica e hidrogeológica compilada, se ha empleado para la redacción del presente estudio.

2. ESTUDIOS PREVIOS

2.1. Situación actual del abastecimiento

Para el abastecimiento del conjunto de poblaciones que constituyen la Mancomunidad de “El Puerto”, además de sus propias captaciones, que no son objeto del presente estudio, emplean las siguientes:

- **Sondeo “Torralba I o Sta Quiteria”:** 210 m de profundidad. Coordenadas UTM X 562815 Y: 4462245, situado a una cota piezométrica de 988 m s.n.m. La bomba está situada a 138 m. Abastece a Torralba y Cañaveras (foto 1, 2). Está equipado con una bomba que extrae 8 L/s.

- **Sondeo “Torralba II o del Puerto”:** 262 m de profundidad. Coordenadas UTM X: 563050 Y: 4462100, situado a una cota piezométrica de 1.086 m s.n.m. Se ejecutó en abril de 1996, con un diámetro de perforación de 380 mm (0-160 m) y de 250 mm (160-262 m). Se efectuó un ensayo de bombeo en mayo de 1996, recomendándose un caudal de 5 L/s con la bomba situada a 246 m de profundidad. Abastece a los municipios de Torralba, Arrancacepas, Castillo-Albaráñez, Olmeda de la Cuesta y Olmedilla de Eliz (IGME, 2000). En diciembre de 1994, debido a problemas de turbidez, se retiró la bomba y no se emplea (foto 4) (figura 1).

- **Sondeo “Torralba III o Canteras”:** 320 m de profundidad. Coordenadas UTM X:562950 Y: 4462075, situado a una cota piezométrica de 1.060 m s.n.m. Se ejecutó en noviembre de 2000, con un diámetro de perforación de 385 mm (0-136 m) y de 315 mm (136-320 m). Se efectuó un ensayo de bombeo en abril de 2001, recomendándose un caudal de 6 L/s. Dicho sondeo presenta problemas de turbidez, por lo que se ha recomendado disminuir el caudal de extracción a 3 L/s , situando la bomba a 230 m.No obstante se siguen extrayendo los 6 L/s. Abastece a los municipios de Torralba, Arrancacepas, Castillo-Albaráñez, Olmeda de la Cuesta y Olmedilla de Eliz.(foto 3, figura 2).

La Mancomunidad de servicios “El Puerto” dispone de 9 depósitos. El depósito principal envía el agua a un depósito de 200 m³ sito junto al sondeo “Torralba II”.

Junto al sondeo “Torralba I” se encuentra el depósito de 40 m³ para las localidades de Torralba y Cañaveras, aunque también se dispone de otro depósito de impulsión al que se eleva el agua de este sondeo para el resto de poblaciones. El resto de depósitos corresponden a los propios de las poblaciones.

La conducción de abastecimiento tiene una longitud total de 11.400 m, cuyo estado general es bueno.

Las redes de distribución (tabla 1), que datan de 1965 a 1978, se encuentran en estado general regular.

LOCALIDADES	TIPO TUBERIA	LONGITUD (m)
Torralba	PVC	5345
Arrancacepas		1612
Castillo-Albaráñez		1209
Cañaveras		2140

Tabla 1.- Características de la red de distribución (IGME-DPC, 2001).



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4

Fotos 1, 2. Sondeo Torralba y detalle. **Foto 3.-** Sondeo de la Cantera o Torralba III .
Foto 4. Sondeo Torralba II, actualmente en desuso y depósito anejo.

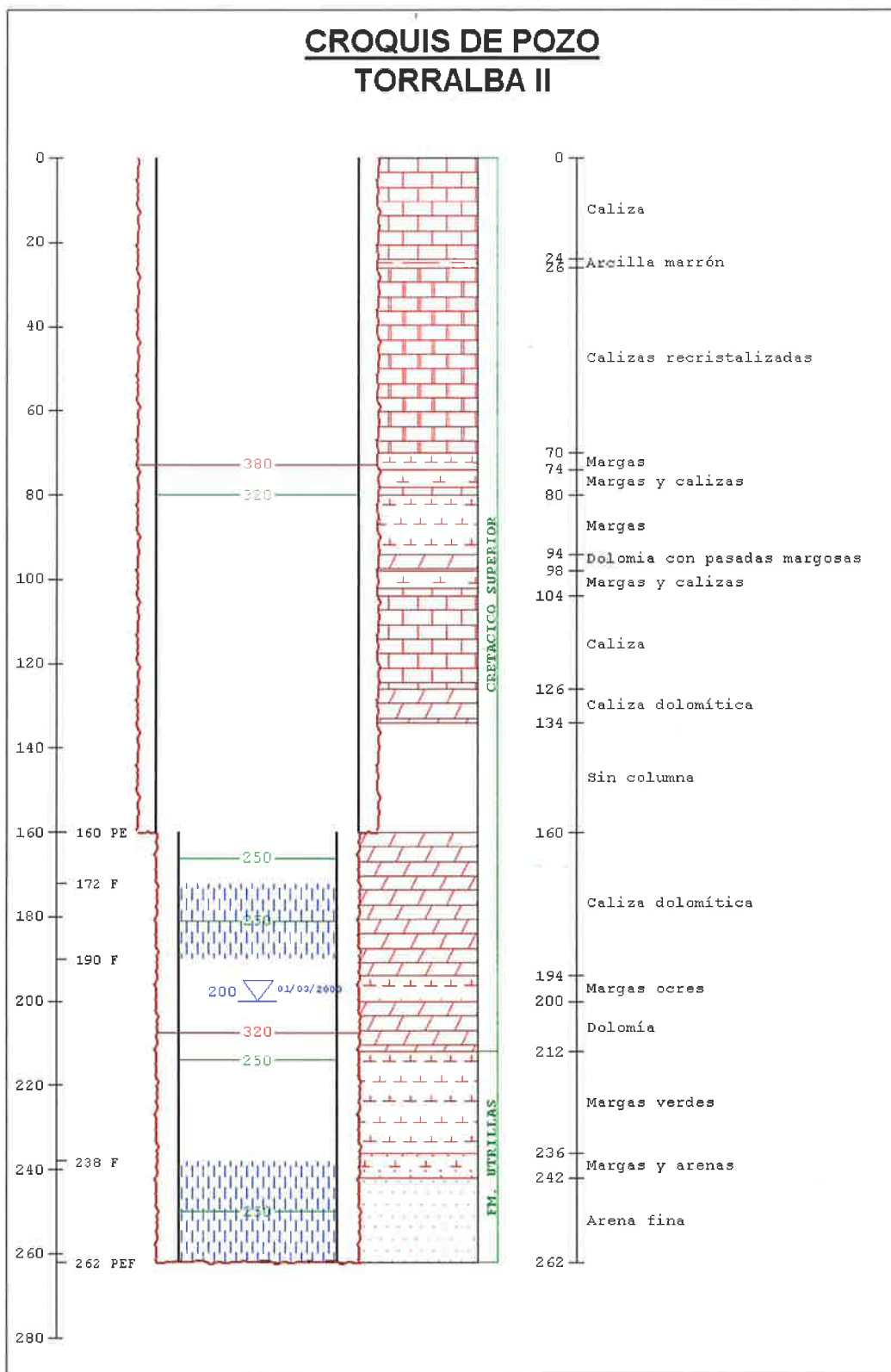


Figura 1.- Croquis constructivo del sondeo Torralba II (IGME, 1996b).

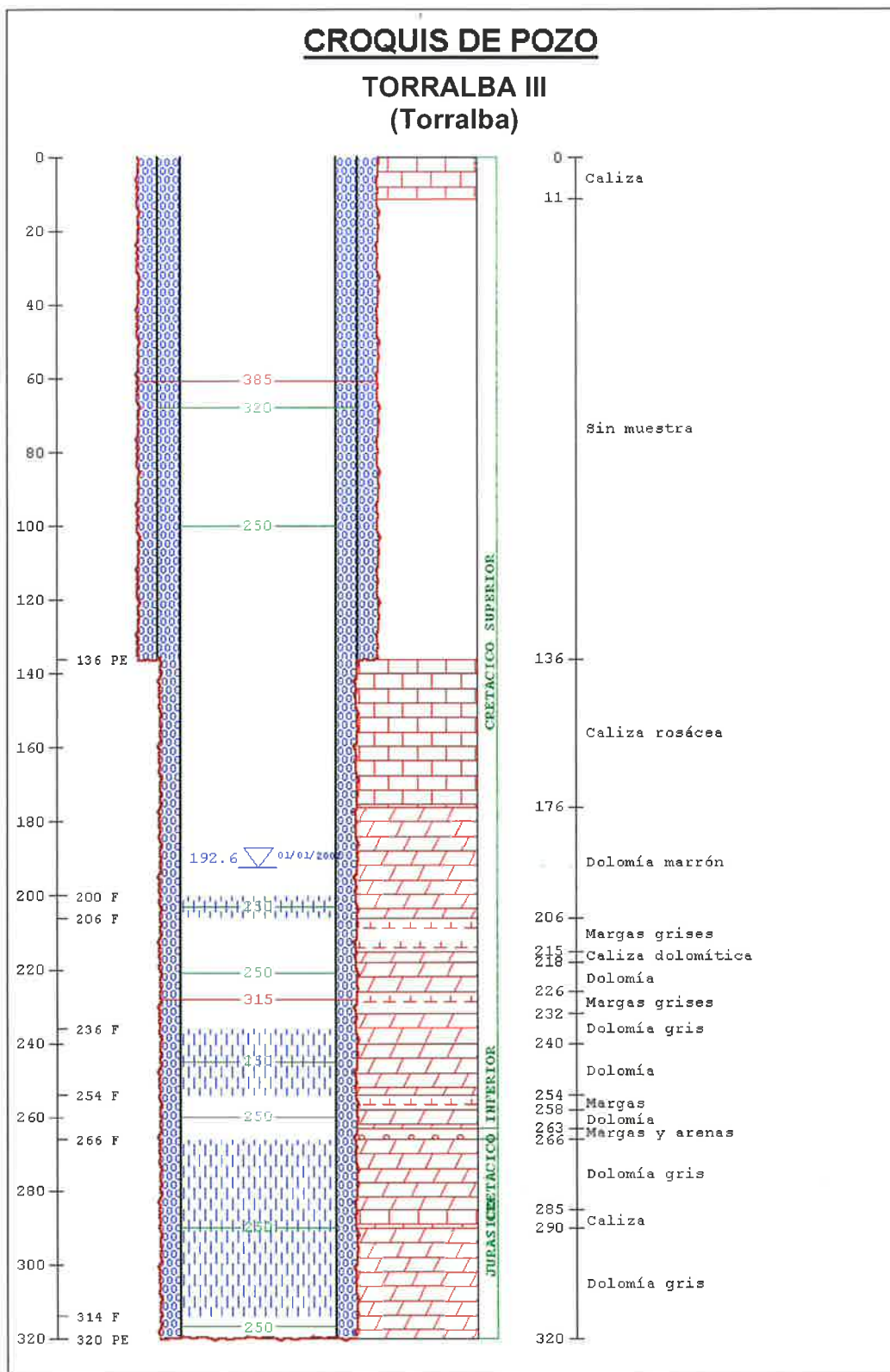


Figura 2.- Croquis constructivo del sondeo Torralba III (IGME, 2001).

2.2. Demanda urbana

La población de los términos municipales de Torralba, Arrancacepas, Castillo-Albaráñez, Olmeda de la Cuesta y Olmedilla de Eliz tienen una población conjunta de 370 habitantes, alcanzando en verano los 1100 habitantes.

Considerando unas dotaciones de 200 L/hab/día, el volumen necesario para satisfacer la demanda de la población es de 0,86 L/s (74 m³/día), aumentando durante los períodos vacacionales a una demanda de 2,55 L/s (220 m³/día).

Los datos anuales por municipios corresponden a los recogidos en la tabla 2.

Tabla 2.- Consumos del año 2004 de agua subterránea

MUNICIPIOS	Consumos m ³ Año 2004
Arrancacepas(*)	1574
Castillo-Albaráñez(*)	850
Torralba (**)	10775
Cañaveras(**)	20885

Emplean los sondeos Torralba II y III (*) utilizan en verano de manera exclusiva el sondeo Torralba I. (**)

2.3. Marco geológico

Este marco ya ha sido descrito en el informe realizado por el IGME en 1996(IGME, 1996a). La zona de estudio está situada en el borde oriental de la Depresión Intermedia, cerca de la falla de Bascañana, que pone en contacto al anticlinal de Bascañana, constituido por materiales cretácicos con los depósitos terciarios de dicha depresión. El mapa geológico se recoge en la figura 3.

Estratigráficamente, aunque no aflorantes, se encuentran las siguientes formaciones:

-Fm Carbonatada de Chelva (3): calizas mudstone con intercalaciones de oolíticas con un espesor de 35 m. Jurásico Superior.

-Facies Weald (4): Conglomerados, areniscas, calizas y margas con espesores variables, de 5 a 100 m. Cretácico Inferior.

-Fm. Arenas de Utrillas (5): Son 35 m de arenas silíceas y conglomerados en la base. Cretácico Inferior.

-Margas de Chera (6): 7-15 m de margas gris verdosas. Cretácico.

-Dolomías de Alatoz (6): 70 m de dolomías recristalizadas con intercalaciones de margas verdes. Cretácico.

-Margas de Casa Medina (6): 15 m de dolomías y margas. Cretácico.

Como aflorantes, las formaciones son:

-Dolomías de la Ciudad Encantada (7): de tonos grises y 50 m de espesor. Cretácico Superior.

-Calizas dolomíticas del Pantano de Tranquera (8): 20 m de una serie de dolomías tableadas y abundantes recristalizaciones. Cretácico Superior.

-Brechas dolomíticas de Cuenca (10): Con un espesor mínimo de 150 m. Son recristalizadas, en ocasiones oquerosas y con margas intercaladas. Cretácico Superior.

-Margas, arcillas y yesos de Villalba de la Sierra (11): Compuesto por tres tramos, que de base a techo son 100-200 m de margas y arcillas verdes, 125 m de alternancia de yesos y dolomías y 80 m de arcillas y margas. Cretácico Superior.

-Conglomerados polimícticos, areniscas, arcillas (19): Son arcillas marrones y ocre con conglomerados polimícticos intercalados y yesos. Alcanzan los 160 m. Terciario.

-Lutitas, areniscas, yesos (21): 40-60 m de areniscas canalizadas rojizas y ocre, lutitas rojas y yesos. Terciario.

-Limos yesíferos y yesos (22): 100 m de margas yesíferas, limos yesíferos, arcillas blancas, grises y verdosas. Terciario.

-Calizas arcillosas, grises y blancas (23): en bancos decimétricos y un espesor de 80 m. Terciario.

-Coluviones y fondos de valle (27, 28): Arcillas, arenas y cantos angulosos.

La estructura del área de estudio es compleja. El sondeo de abastecimiento Torralba II se encuentra, interpretando la columna litológica, sobre el flanco oriental del anticlinal asimétrico de Bascañana. Este anticlinal (figura 4, foto 5) se dispone en forma de rodilla, estando más verticalizado hacia el oeste, en dirección a Torralba, que correspondería al frente de cabalgamiento. Los buzamientos en torno al sondeo antiguo de Torralba son de 25 a 39° O, coincidiendo el cambio de formaciones (de la Fm. Brechas dolomíticas de Cuenca con la Fm. Calizas dolomíticas del Pantano de la Tranquera con un pequeño torrente que se define de S a N, perpendicular al arroyo de Santa Quiteria, que discurre de E-O y que posiblemente puede corresponder a alguna falla.

LEYENDA

CUATERNARIO	HOLOCENO	29	Llanura de inundación, limosa y arena azooceno	
		28	Fundido de Villa Arenas, grama y arcilla	
TERCIARIO	PLEISTOCENO	27	Caliche, arena, arena y arcilla argilosa	
		26	Conos de deposición, arena, arena y arena	
	MIOCENO	25	Grasa, arcilla y arena con capas	
		24	Tercera arena y arena	
	NEOGENO	23	Caliza, caliche, grama y bloques	
		22	Lima y yeso blanco, yeso blanco y arena y arena	
	PALOCCENO	EODOCENO	21	Limon, arena y arena
			20	Arenosa, arena y arena, roca
		DIAOCENO	19	Conglomerado poligonal, arenoso, arena y arena
			18	Grasa y arena de arena y arena de arena
PALOCCENO		17	Yeso blanco, arena y arena y arena	
		16	Yeso azulado, arena, arena y arena	
CRETACICO		SUPERIOR	15	Conglomerado arena y arena, arena azooceno
			14	Conglomerado arena, arena y arena
		MIDDLE	13	Arenosa arena y arena, arena, arena y arena
			12	Arenosa arena, arena y arena, arena y arena
	INFERIOR	11	Yeso blanco, arena y arena, arena y arena	
		10	Yeso blanco, arena y arena, arena y arena	
	IAS	TARDIENSE	9	Yeso blanco, arena y arena, arena y arena
			8	Yeso blanco, arena y arena, arena y arena

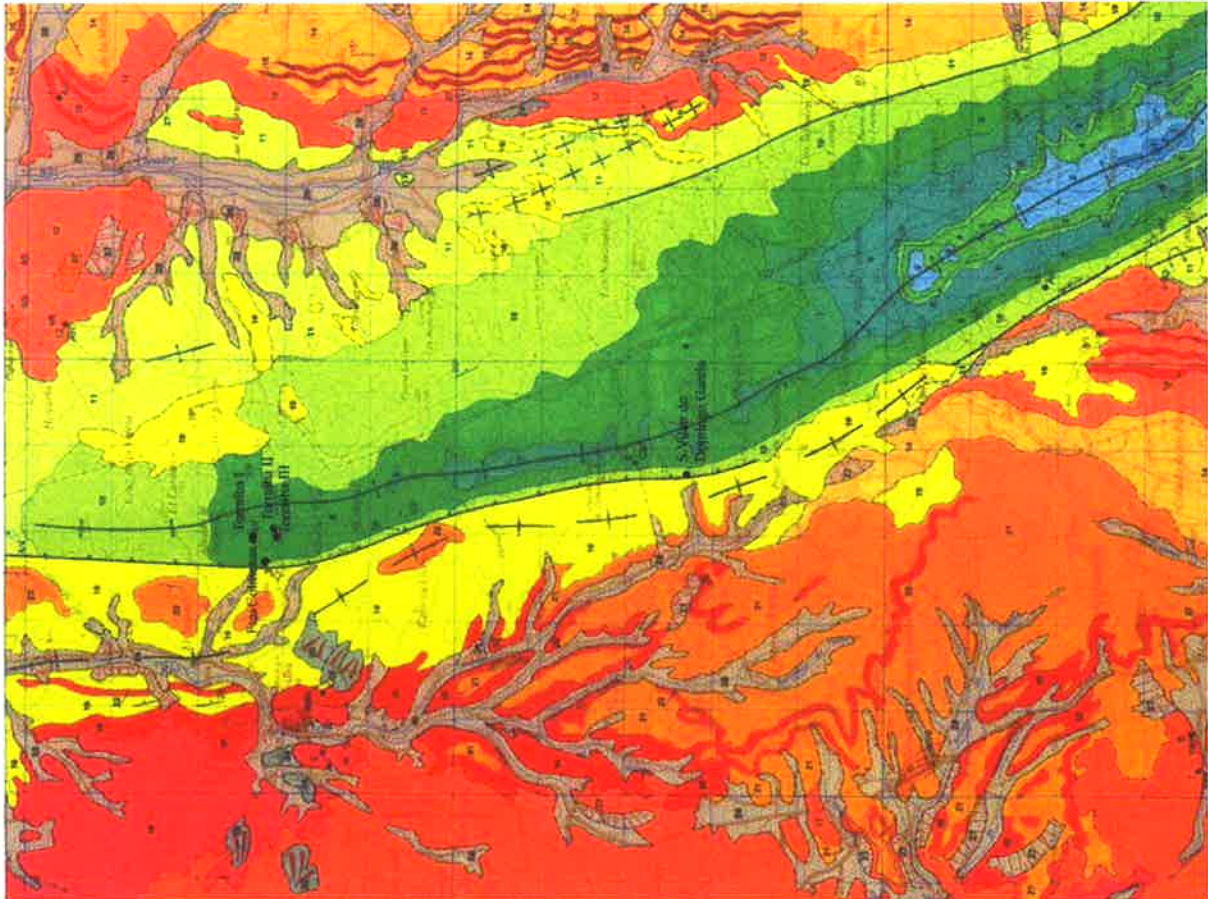


Figura 3.- Mapa geológico del área de estudio (IGME, 1999).

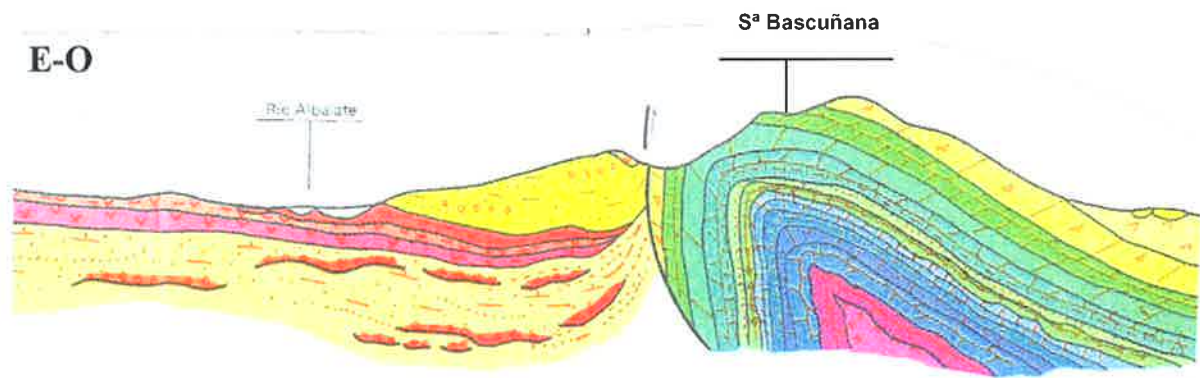


Figura 4.- Corte geológico E-O de la Sierra de Bascañana en el que se describe la posible estructura existente (IGME, 1999).



Foto 5 . Panorámica O-E de la Sierra de Bascañana desde las proximidades del sondeo Torralba I.

2.4.Marco hidrogeológico regional

Regionalmente, la zona estudiada se encuentra dentro de la U.H. 03.02 “Tajuña-Montes Universales” (figura 5), con una superficie de 3995 km². Según IGME-CHJ (1992) el área estudiada se encuentra dentro del Sistema Acuífero de la Ibérica nº 18. En general este acuífero está constituido por rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico, con una potencia de 300 m, siendo su permeabilidad en general alta.

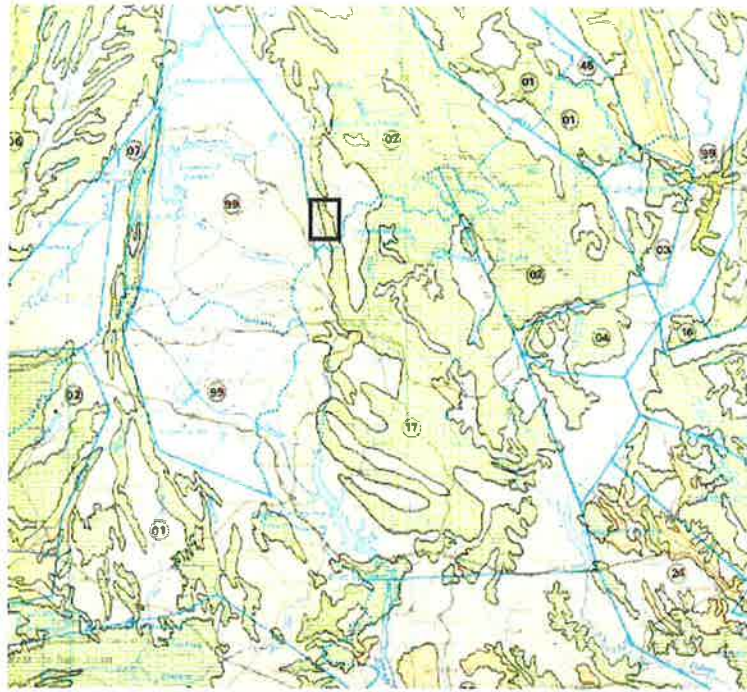


Figura 5.- Situación del área estudiada en la U.U.H.H. En el rectángulo se indica el área de estudio.

2.5. Marco hidrogeológico local

Las formaciones que constituyen los acuíferos en la zona son (ITGE, 1996):

- Rocas carbonatadas del Cretácico Superior.
- Rocas detríticas del Cretácico Inferior.
- Rocas carbonatadas del Jurásico.

Las captaciones empleadas para el estudio se recogen en la tabla 3.

Resulta complejo atribuir los niveles piezométricos a los acuíferos en la zona de estudio. Los tres sondeos de Torralba manifiestan diferencias entre ellos, aunque también pueden deberse a una incorrecta cota piezométrica, a causa de una imprecisa estimación topográfica, al emplear para ello el mapa topográfico 1:50.000.

CAPTACIÓN	Z (m s.n.m.)	PROF. (m)	CAUDAL FUENTE O BOMBEO (L/s)	PNP (m)	ACUÍFEROS
TORRALBA I	988	210	8	123.4 (8/82) 128 (2/00)	CARBONATOS CRETÁVICOS
TORRALBA II	1086	262	-	173.31 (5/96) 200 (3/00) 189.88 (4/05)	CARBONATOS Y DEPÓSITOS DETRÍTICOS CRETÁVICOS
TORRALBA III	1060	360	6	177 (11/00) 192.6 (11/01) 194.86 (12/02) 201.33 (4/05)	CARBONATOS CRETÁVICOS Y JURÁSICOS
S.VILLAR DOMINGO GARCÍA	1060	260		190 (1/95)	CARBONATOS CRETÁVICOS
S. ALBALATE(*)	900	148		18.96 (4/05)	CARBONATOS CRETÁVICOS ;?
S.ALBALATE IRYDA(*)	900	225		11.3 (9/84)	CARBONATOS CRETÁVICOS ;?
S.ALBALATE- VIEJO(*)	830	35	5		DETRÍTICO TERCIARIO
FTE.COLMENAS	990		0.005		CARBONATOS CRETÁVICOS
FTE. ALHAJA(*)	900				CARBONATOS CRETÁVICOS ;?
FTE. MINCHES(*)	800		>50		CARBONATOS CRETÁVICOS ;?

Tabla 3.- Puntos acuíferos utilizados para el presente estudio (LEYENDA: Z-cota topográfica, PROF.-profundidad de la captación; PNP- profundidad del nivel piezométrico) (*)- fuera de la zona de estudio.

Rocas carbonatadas del Cretácico Superior

Es el principal acuífero en la zona de estudio y afecta a la Sierra de Bascuñana. Corresponde a los materiales comprendidos entre los denominados (7) y (10) en el apartado 2.3. Están notablemente afectadas por la estructura del anticlinal, presentando espesores que no corresponden a su potencia real, por lo que pueden ser superiores a lo esperado. Los sondeos Torralba II y Torralba III (figuras 1 y 2) presentan espesores atravesados de 212 y 254 m.

Los puntos que afectan a estas formaciones se recogen en la tabla 3.

La estructura de la zona estudiada, con pliegues de flancos verticalizados y escamas subaflorantes que se acuñan contra el cabalgamiento principal condicionarán la dirección de flujo y el funcionamiento del acuífero. Así ejerce el eje anticlinal y la verticalidad de las capas del flanco occidental como divisoria de aguas definiéndose un acuífero individualizado que corresponde al flanco occidental de Sierra Bascuñana. En profundidad, y viendo la columna litológica de Torralba III, no se puede afirmar que las formaciones cretácicas y jurásicas estén desconectadas, ya que los materiales arcillosos del Cretácico Inferior que

podrían separarlas, parecen tener espesores mínimos por lo que podría funcionar como acuífero único. Este acuífero estaría limitado a NO y SE por las elevaciones y afloramientos jurásicos que ejercerían también como divisoria de aguas.

Las cotas piezométricas se encuentran en torno a 870-890 m s.n.m, aunque resulta complejo determinar la dirección de flujo y el funcionamiento hidrodinámico del acuífero, no obstante parece definirse un flujo en dirección Norte, hacia Priego. Asimismo podría existir una conexión en profundidad del flanco occidental con una escama de materiales cretácicos, estableciéndose una dirección NO hacia Fuente Minches (Priego), con un caudal superior a los 50 L/s, una cota de surgencia de 800 m s.n.m y una hidroquímica similar. También se define un flujo en dirección NE, correspondiente al del flanco oriental del pliegue y que estaría desconectado del flanco occidental.

La evolución piezométrica en los sondeos de Torralba, aunque escasa en datos, muestra que el sondeo Torralba II desciende más de 20 m, quedando únicamente como acuífero el detrítico cretácico. El Sondeo Torralba III muestra una tendencia al descenso continuado (figura 6).

El sondeo Torralba II en un principio captó agua proveniente de este nivel carbonatado, con una profundidad de nivel piezométrico de 173.31 m (5/96), descendiendo posteriormente a 200 m (3/2000), un descenso de 26.69 m, quedando el nivel piezométrico por debajo del muro del acuífero carbonatado cretácico. El ensayo de bombeo realizado indicaba un acuífero de baja transmisividad (6-12 m²/día)(IGME, 2000).

El sondeo Torralba III presentaba una profundidad de nivel piezométrico de 192.6 (11/2001) y de 201.33 (4/05). Además de a las rocas carbonatadas cretácicas, este sondeo también capta las aguas provenientes del Jurásico. El ensayo de bombeo realizado indicaba un acuífero de baja transmisividad, aunque mayor que en el Torralba II (30 m²/día).

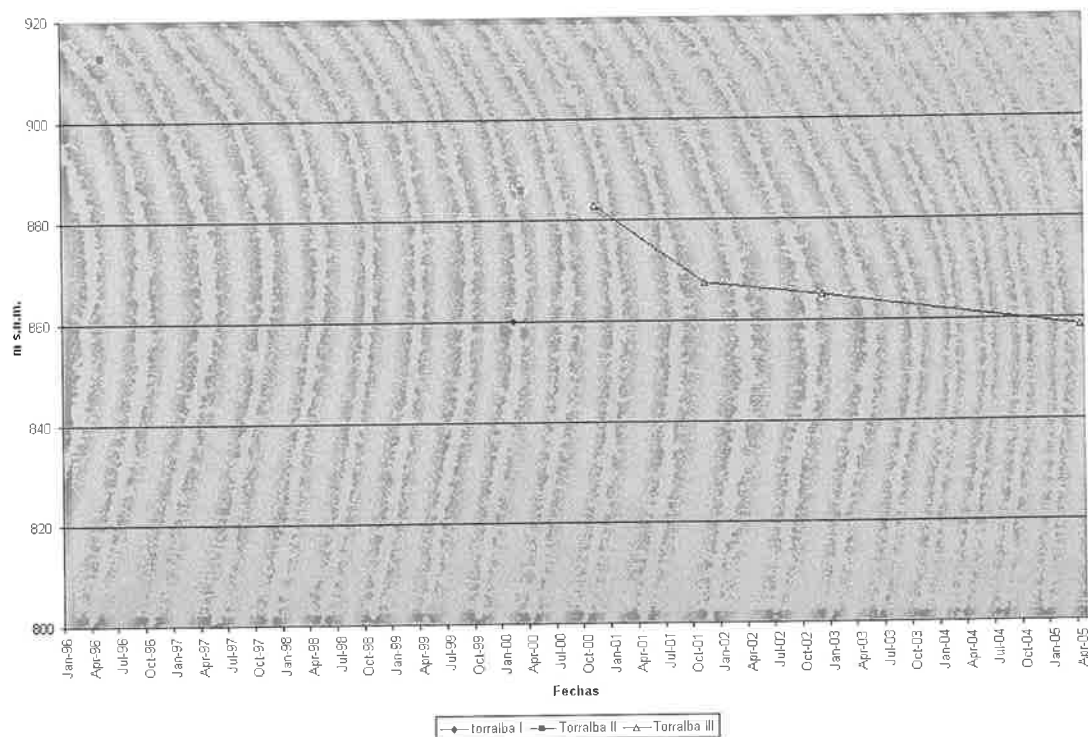


Figura 6. Evolución piezométrica de los sondeos de Torralba, sitios en el flanco occidental de la Sierra de Bascuñana.

Los sondeos de Torralba I y Albalate IRYDA, que parecen captar los materiales bechosos (10) son muy productivos, con caudales de aforo de 40 y 232 L/s y transmisividades del orden de 2300 a 10.000 m²/día.

Hidroquímicamente se definen dos tipos de aguas en el mismo acuífero, condicionadas por el tipo de litología al que afectan. Así las aguas asociadas a los depósitos definidos como 10, con mayor presencia de yesos, son de facies sulfatada cálcica, mientras que los asociados a los depósitos carbonatados del 7 al 9 son de facies bicarbonatada cálcica y menor mineralización. No obstante tampoco es descartable una conexión con materiales calizo-evaporíticos del Terciario, ya que Fuente Colmenas, La Alhaja o el Sondeo antiguo de Albalate, que afecta a materiales terciarios, también tienen una facies similar (tabla 4).

En la figura 7 se pueden observar los dos grupos de aguas: las bicarbonatadas cálcicas (Torralba II, S. Villar de Domingo García y Torralba Cantera o III) y las sulfatadas cálcicas, con la similitud química entre Fuente Minches, Torralba I, Sondeo de Albalate, Sondeo Albalate Viejo y las Fuentes Alhaja y Colmenas.

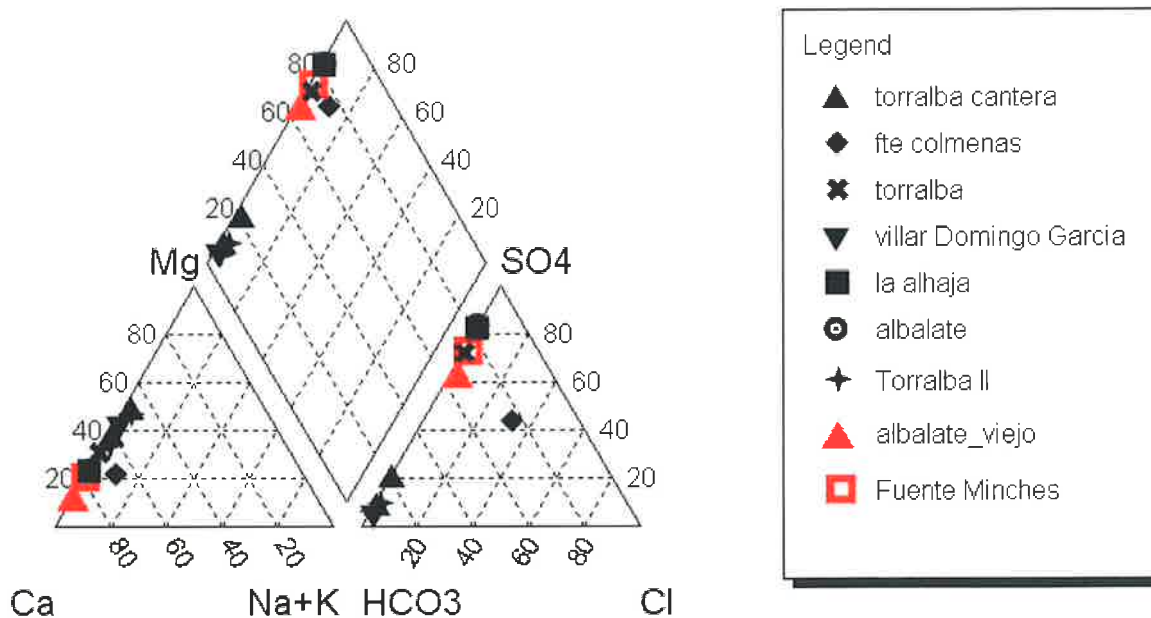


Figura 7- Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de las aguas estudiadas.

Tabla 4.- Características físico-químicas de las aguas estudiadas (conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$; concentraciones en mg/L).

Sondeo	fecha	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	NO ₂	NH ₄	pH	Conductividad
Villar de Domingo García	5/05	4	11	300	1	3	28	61	0	0	8.2	511
Fte Alhaja	5/05	4	800	216	5	3	54	300	0	0	7.3	1386
Fte Colmenas	5/05	146	260	186	21	31	32	168	0	0	7.9	1132
S. Albalate	5/05	4	820	206	3	3	54	305	0	0	7.1	1410
Torralba-1	5/05	4	412	201	2	3	42	160	0	0	7.5	916
Torralba-2	5/96	4	24	286	0	2	31	54	0	0	7.6	515
Torralba-3	5/05	2	54	260	0	2	34	55	0	0	7.9	563

Los puntos correspondientes a aguas de mayor mineralización, sulfatadas cálcicas y de mayor productividad (S. Albalate, S. Torralba I) asociados a los materiales brechosos (10) parecen individualizarse respecto a los sondeos de aguas de menor mineralización, bicarbonatadas cálcicas y menor productividad (Torralba II, S. Villar de Domingo García), asociados a materiales calizo-dolomíticos (7).

Rocas detríticas del Cretácico Inferior

Con un espesor teórico de 35 m están constituidas por la Fm. Utrillas. Es un acuífero local, que se explota raramente por los arrastres que se asocian y que dañan el equipo de bombeo.

En el sondeo Torralba II se atravesaron 30 m (fig.1), sin encontrar el muro y, tras el descenso

de niveles registrado en el mismo, posiblemente es el que mantiene el nivel piezométrico de 200 m (3/2000). En el sondeo Torralba III, sin embargo, su espesor es inferior, de 3 m (fig.2). Sin embargo en ambos casos aporta los arrastres que se producen en estos sondeos.

Hidroquímicamente (tabla 4) las aguas de Torralba II antes y después del descenso del nivel piezométrico y desconexión del Cretácico carbonatado, no se observan grandes variaciones, posiblemente porque gran parte del agua proviene de las arenas.

Rocas Carbonatadas del Jurásico

No son aflorantes en la zona de estudio. Es probable que se capten en el sondeo Torralba III, constituidas por calizas y dolomías a partir de los 266 m de profundidad. No obstante, el nivel piezométrico y la hidroquímica son similares a la de las captaciones de S. Villar de Domingo García y de Torralba II, por lo que no es descartable que formen un único acuífero con el acuífero carbonatado cretácico del Flanco Occidental de la Sierra de Bascuñana.

2.6. Vulnerabilidad del acuífero

2.6.1. Inventario de focos de contaminación

En el entorno de las captaciones, en la Sierra, no existen focos remarcables, tan solo la cantera en desuso el la que se emplaza el sondeo Torralba III.

No obstante, a 500 m al Oeste del sondeo Torralba I, el antiguo emplazamiento de un sondeo de investigación petrolífera (foto 6) se ha transformado en un vertedero incontrolado de, en un primer reconocimiento, residuos inertes y escombros (X: 562301; Y: 4462381; Z: 940 m s.n.m.).



Foto 6.- Ubicación de un sondeo de investigación petrolífera, aprovechado para vertido de escombros.

Asimismo el Ayuntamiento dispone de un vertedero de residuos inertes y escombros a 650 m al NO del Sondeo Torralba I (X: 562243; Y: 4462018; Z: 960. m s.n.m.) (foto 7), aunque no se encuentra vallado.



Foto 7.- Vertido de inertes del Ayuntamiento de la localidad de Torralba.

2.6.2. 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 por Aller et al (1987) para 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 9).

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 400 x 400 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 han considerado los acuíferos detríticos terciarios y carbonatados cretácicos, que son los únicos aflorantes. No se ha contemplado para el cuaternario, que carece de interés al no emplearse para abastecimiento.

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

- Las profundidades del nivel piezométrico para el terciario se ha considerado el techo de las formaciones acuíferas entre 20-30 m, para el cretácico se ha considerado libre con un nivel piezométrico a más de 30 m de profundidad.
- Respecto a la recarga se ha tomado una infiltración de 220 hm³/año para el denominado acuífero cretácico de Cuenca (ITGE-CHJ, 1992) y para una superficie de 2320 km² la recarga resultante es de unos 95 mm.
- Para la litología del acuífero se ha considerado para el terciario la alternancia de areniscas y arcillas (A=5), para los yesos y carbonatos del Cretácico Superior A=7, especificando para las dolomías turonienses un valor más elevado (A=9).
- Para el suelo se ha considerado el caso más desfavorable, el de suelo ausente S=0.

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 3.- Índices de ponderación y valores del Índice DRASTIC.

A) DESCRIPCIÓN LITOLOGÍA	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)		
0-5	10	
2-6	9	
6-12	5	
12-18	3	
> 18	1	
I) DESCRIPCIÓN LITOLOGÍA 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	

- Para la conductividad hidráulica se ha utilizado, para el Terciario, el ensayo del sondeo de Pajares ($k=2$ m/día) y para el Cretácico el del sondeo de Torralba 1 ($k= 60$ m/día).

Como se observa en la figura 8 se observa que la vulnerabilidad es insignificante o muy baja.

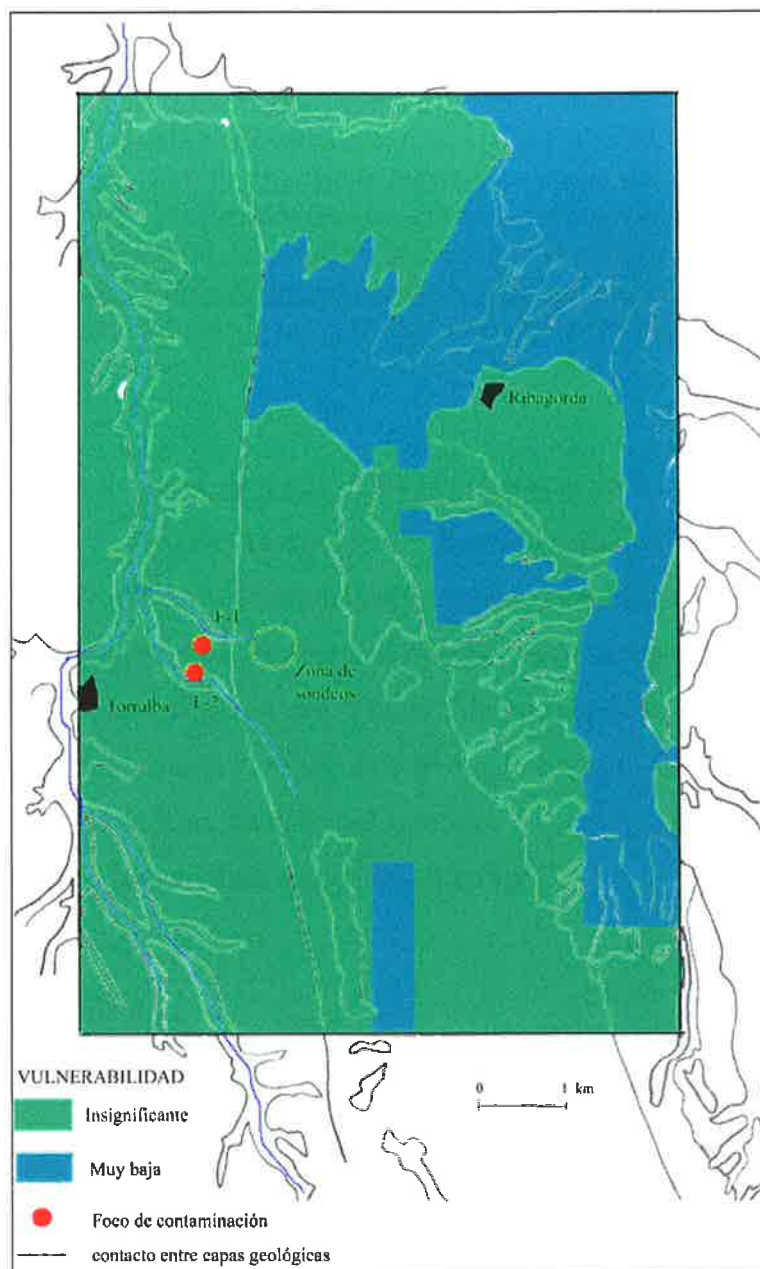


Figura 8. Mapa de estimación de la vulnerabilidad mediante el método DRASTIC. Leyenda: F1-Vertedero incontrolado; F2- vertedero del Ayuntamiento.

3. PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE LAS CAPTACIONES

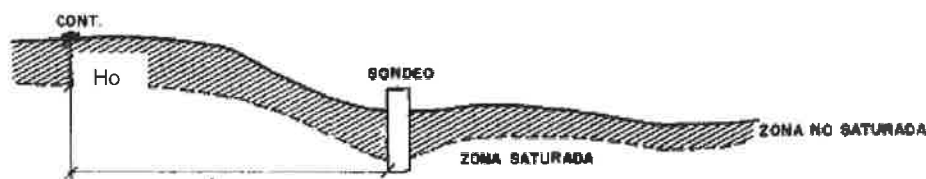
Aunque existen numerosos métodos, la mayoría están diseñados para acuíferos porosos y no para carbonatados.

Habitualmente es recomendable para el diseño de un perímetro de protección de captaciones para abastecimiento urbano la definición de tres zonas de protección (Moreno y Martínez, 1991; Martínez y García, 2003):

- 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.

Para la definición de **zona de restricciones absolutas** se ha utilizado la **modificación de Bolsenkötter para medios kársticos y/o fisurados del método de Rehse (Moreno y Martínez, 1991)**, que propone un método empírico para el cálculo del poder depurador del suelo sobre los efluentes contaminantes que pudieran atravesarlo. Para ello considera la circulación del contaminante en dos tramos diferenciados, un tramo vertical a través de la zona no saturada del terreno, y un segundo tramo, horizontal, hasta el punto de extracción del agua, circulando por la zona saturada del acuífero.

Así pues se definen las variables siguientes (figura 9):



Fuente: Elaboración propia

Figura 9 .-Zona a considerar por el método Rehse (Moreno y Martínez, 1991)

$I_r = 1/H$ donde I_r = Índice de depuración en la zona no saturada
 H_o =Espesor vertical de la zona no saturada
 I_a = Índice de depuración de la zona saturada

L = Longitud atravesada de zona saturada para la depuración completa

El poder depurador vendrá dado por:

$$M_x = M_a + M_r$$

Donde

M_x = Poder depurador sobre la totalidad del transporte

M_r = Poder depurador en el trayecto vertical

M_a = Poder depurador en el trayecto horizontal

Cuando $M_x \geq 1$ la depuración es completa

En la Zona no saturada

$$M_r = H_o * I_r \text{ (índice materiales) (tablas 6, 7).}$$

Tabla 6.- Poder depurador del suelo en el recubrimiento (suelo+ zona no saturada)(Moreno y Martínez, 1991)

M	Descripción del material	H (m)	$I_r = 1/H$
1	Humus, 5 - 10 % humus, 5-10% arcilla	1,2	0,8
2	Arcilla sin grietas de desecación. limo-arcilloso, Arena muy arcillosa	2	0,5
3	Limo arcilloso a limo	2,5	0,4
4	Limo, arena poco limosa, arena limosa	3-4,5	0,33-0,22
5	Arena fina a media	6	0,17
6	Arena media a gruesa	10	0,1
7	Arena gruesa	15	0,07
8	Grava con abundante matriz arenosa y limo-arcillosa	8	0,13
9	Grava con abundante matriz arenosa y limo-arcillosa	12	0,08
10	Grava fina a media, rica en arena	25	0,04
11	Grava media a gruesa con poca arena	35	0,03
12	Gujarros	50	0,02

M = Nº de clasificación granulométrica

H = Espesor de la capa de suelo necesaria para la depuración

I_r = Índice de depuración de la zona de recubrimiento

Arena Diámetro de grano 2 mm - 0,063

Limo Diámetro de grano 0,063 mm - 0,005 mm

Arcilla Diámetro de grano < 0,005 mm

Fuente Rehse, 1977

En la zona saturada, si M_x es igual a 1 existirá depuración completa antes de llegar el agua a la captación y el poder depurador de la zona saturada será:

$$M_a = 1 - M_r$$

La longitud de recorrido necesaria para la depuración total es L:

$$L = M_a / I_a, \text{ siendo } I_a \text{ índice del material acuífero (tabla 7)}$$

Tabla 7.- Poder depurador de las rocas (Bolsenkötter) (Moreno y Martínez, 1991).

M	Descripción del material	H(m)	$I_s = 0,5/h$
1	Margas	10	0,05
2	Arenisca con capas arcillosas. Arcillas, micaceous y filitas	20	0,025
3	Basaltos y rocas volcánicas	30	0,017
4	Gravaca, arcillosa, arenisca arcillosa, limosa	50	0,01
5	Granito, granodiorita, diorita, sienita	70	0,007
6	Cuarcitas, areniscas con silas	100	0,005
7	Caliza	200	0,0025

Fuente: A.Lallemad y L.C.-Roux, 1989.

En el caso de las captaciones de Torralba, el acuífero más próximo a la superficie y a proteger es el carbonatado cretácico. Los datos utilizados y la distancia L o radio de protección se recoge en la tabla 8.

Tabla 8.-Datos empleados para la aplicación del método de Bolsenkötter (LEYENDA: H-PNP es la profundidad del nivel piezométrico en su caso más desfavorable, más próximo a la superficie).

CAPTACIÓN	H-PNP (m)	Mr	Ma	L (m)
Torralba-1	128	0.69	0.36	144
Torralba-2	173	0.87	0.13	54
Torralba-3	193	0.96	0.04	16

Para el Sondeo Torralba II se ha considerado también el acuífero cretácico, aunque en la actualidad parece que no tiene agua y únicamente proviene del detrítico cretácico, que está protegido por su carácter confinado. No obstante, podría contaminarse a través del mismo sondeo, ya que su nivel piezométrico es inferior al del cretácico carbonatado.

Para el establecimiento de la **zona próxima o de restricciones máximas se han empleado criterios hidrogeológicos.** Para ello se ha supuesto una dirección de flujo hacia el norte, se ha deducido la permeabilidad mayor, en torno a 60 m/día, a partir de los datos del sondeo Torralba I (espesor saturado en torno a 150 m y una transmisividad de 10.000 m³/día) y se ha calculado la distancia que recorrería un contaminante durante 50 días, que corresponde a 3000 m. Se ha limitado este radio con la divisoria de aguas que constituye el eje anticlinal, ampliado con la posible área de recarga superficial dada por la topografía.

Para la definición de **zona alejada o de restricciones moderadas** se ha decidido emplear también el **criterio hidrogeológico**. Se han utilizado criterios similares a los de la zona próxima, en cuanto al eje anticlinal y la topografía; también se ha añadido parte de los depósitos terciarios por si estos pudiesen estar alimentando a las calizas cretácicas y que la falla funcionase como colector y no como barrera impermeable. Al tratarse los terrenos terciarios de tipo arcilloso y de vulnerabilidad baja, se ha decidido establecer en ellos una zona alejada y no una próxima.

Así la definición de las poligonales envolventes que definen las dos zonas del perímetro para el conjunto de los sondeos denominados Torralba I, Torralba II y Torralba III se recogen en la tabla 9.

La definición de actividades a restringir en función de la zonación se recogen en la tabla 10.

Respecto al **establecimiento del perímetro de protección de la cantidad** surgen los mismos problemas que para los perímetros de cantidad; no se dispone de una serie piezométrica amplia en el tiempo y se desconocen parámetros hidráulicos para poder aplicar herramientas informáticas. Se ha observado que la profundidad del nivel piezométrico del sondeo Torralba III ha descendido progresivamente, al igual que el de Torralba II, llegando a secarse el acuífero superior. Esta es una zona muy agreste en la que no existen captaciones próximas a los sondeos, por lo que los descensos pueden atribuirse a fenómenos naturales. El caudal conjunto a extraer (14 L/s) entre la captación de Torralba I y III no es elevado; por ello, la propuesta del perímetro de protección de la cantidad es la misma que la del área de restricciones moderadas.

En esta zona, para proteger la cantidad de agua, se prohibirá la realización de nuevas obras de captación de aguas subterráneas excepto las necesarias para garantizar el abastecimiento a las poblaciones de la mancomunidad de servicios "El Puerto".

	PUNTO	COORDENADAS UTM (X)	COORDENADAS UTM (Y)	Z(m s.n.m.)
ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS	1	562600	4462500	980
	2	562900	4462500	1020
	3	562900	4462250	1020
	4	563200	4462250	1040
	5	563200	4462025	1080
	6	563800	4462025	1040
	7	562800	4462175	1000
	8	562600	4462175	1000
	PUNTO	COORDENADAS UTM (X)	COORDENADAS UTM (Y)	Z(m s.n.m.)
ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS	A	562650	4464200	980
	B	564100	4463950	1100
	C	564200	4462700	1120
	D	563750	4461650	1180
	E	564750	4459650	1260
	F	564650	4459150	1280
	G	563250	4459200	1040
	H	562600	4459825	980
	PUNTO	COORDENADAS UTM (X)	COORDENADAS UTM (Y)	Z(m s.n.m.)
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS 1	1'	561650	4465300	880
	2'	563350	4465250	1060
	3'	564100	4464200	1100
	4'	564100	4463950	1100
	5'	562650	4964200	980
	6'	562600	4459825	980
	7'	563250	4459200	1040
	8'	561900	4459350	1000
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS 2	7'	563250	4459200	1040
	9'	564650	4459150	1280
	10'	564600	4459825	1280
	11'	565300	4457650	1180
	12'	563700	4456900	1100

Tabla 9. Poligonal envolvente del perímetro de protección de la calidad propuesto.

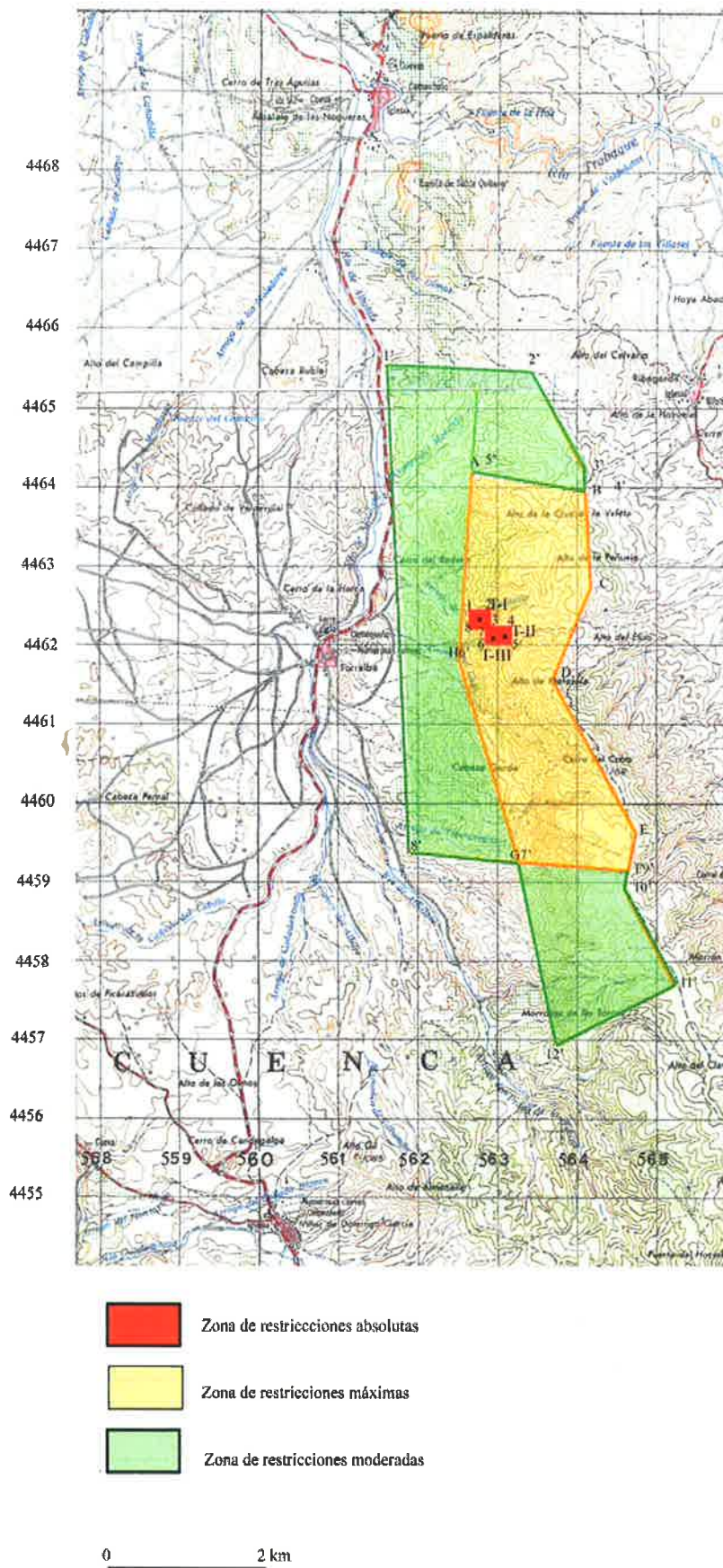


Figura 10. Mapa geográfico con la representación de los polígonos que definen los perímetros de protección de calidad (LEYENDA: T-I-Torralba I; T-II-Torralba II; T-III-Torralba III; F-1-Vertedero incontrolado; F-II- Vertedero del Ayuntamiento).

	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	•		•			•	
	Vertidos incontrolados de cualquier tipo	•	•			•		
	Vertidos controlados de residuos inertes	•	•				•	

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

Tabla 10. Actividades a restringir dentro de las zonas definidas en los perímetros de protección de calidad.

4. CONCLUSIONES

La delimitación de perímetros de protección tienen el objetivo de proteger en calidad y cantidad las aguas procedentes de las captaciones de abastecimiento de la mancomunidad de servicios "El Puerto" denominadas Torralba I, Torralba II y Torralba III.

El perímetro de protección consigue su objetivo de protección del recurso y trata de hacerlo compatible, en la medida de lo posible, con la actividad socioeconómica existente en la zona de aplicación, recurriendo a la restricción o prohibición graduada de las actividades que son susceptibles de modificar la calidad del agua subterránea. Para ello se crean una serie de zonas de protección (zona inmediata o de restricciones absolutas, zona próxima o de restricciones máximas y zona alejada o de restricciones moderadas) donde, en función de su situación, se prohibirán, regularán o permitirán las actividades potencialmente contaminantes. También se define una zona de protección de la cantidad del agua, coincidente con la zona alejada, para preservar los caudales que realmente son aprovechados para el abastecimiento de la población.

Para la definición de los perímetros de protección se han realizado trabajos de recopilación y de campo, análisis de la información disponible. En especial se ha analizado la situación actual del abastecimiento, características hidrogeológicas de los acuíferos captados, la vulnerabilidad frente a la contaminación y sus focos potenciales de contaminación.

Para delimitar los perímetros se han utilizado principalmente criterios hidrogeológicos y el método de Bolsenkötter. Los perímetros resultado de este trabajo se recogen en la tabla 11.

Existen dos focos potenciales de contaminación: un vertido incontrolado de, como mínimo, escombros, en el emplazamiento de un antiguo sondeo de investigación petrolífera y un vertedero de residuos inertes del Ayuntamiento. El primero debe clausurarse y retirar todos los vertidos y para el segundo deben tomarse medidas de vallado y la realización de un informe técnico que contemple las condiciones a tomar para no alterar la calidad de las aguas subterráneas.

	PUNTO	COORDENADAS UTM (X)	COORDENADAS UTM (Y)	Z(m s.n.m.)
ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS	1	562600	4462500	980
	2	562900	4462500	1020
	3	562900	4462250	1020
	4	563200	4462250	1040
	5	563200	4462025	1080
	6	563800	4462025	1040
	7	562800	4462175	1000
	8	562600	4462175	1000
	PUNTO	COORDENADAS UTM (X)	COORDENADAS UTM (Y)	Z(m s.n.m.)
ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS	A	562650	4464200	980
	B	564100	4463950	1100
	C	564200	4462700	1120
	D	563750	4461650	1180
	E	564750	4459500	1260
	F	564650	4459150	1280
	G	563250	4459200	1040
	H	562600	4459825	980
	PUNTO	COORDENADAS UTM (X)	COORDENADAS UTM (Y)	Z(m s.n.m.)
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS 1	1°	561650	4465300	880
	2°	563350	4465250	1060
	3°	564100	4464200	1100
	4°	564100	4463950	1100
	5°	562650	4964200	980
	6°	562600	4459825	980
	7°	563250	4459200	1040
	8°	561900	4459350	1000
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS 2	7°	563250	4459200	1040
	9°	564650	4459150	1280
	10°	564600	4459825	1280
	11°	565300	4457650	1180
	12°	563700	4456900	1100

Tabla 11. Poligonal envolvente del perímetro de protección de la calidad propuesto.

El perímetro de la cantidad es coincidente con el perímetro de restricciones moderadas.

Madrid, julio de 2005

El autor del informe

Fdo. Marc Martínez

5. BIBLIOGRAFÍA

Aller, L.; Bennet, T. et al (1987) : DRASTIC, a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. U.S. Environmental Protection Agency. Ada, OK, EPA. Report 600/2-87-035; 1-455.

IGME (1999): Mapa Geológico 1:50.000 nº 586 "Gascuña".

IGME (2000): Nota técnica para la mejora del abastecimiento conjunto de agua potable a Torralba, Arrancacepas, Castillo-Albaráñez, Olmeda de la Cuesta y Olmedilla de Eliz (Cuenca).

IGME (2001): Informe final del sondeo perforado para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de Torralba (Cuenca).

IGME-DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CUENCA (2001): Situación actual de los sistemas de abastecimiento en la provincia de Cuenca. Sistema de abastecimiento a Torralba-Cañamares-Arrancacepas-Castillo Albaráñez (16209).

ITGE (1996a): Estudio hidrogeológico para la mejora del abastecimiento urbano de los municipios de Arrancacepas, Castillo-Albaráñez, Olmeda de la Cuesta y Olmedilla de Eliz (Cuenca).

ITGE (1996b): Informe final del sondeo perforado en el término municipal de Torralba (Cuenca) para abastecimiento de agua potable a varias captaciones.

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

Martínez, C.; García, A. (2003): Perímetros de Protección para captaciones de aguas subterráneas destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio.

Moreno, L.; Martínez, C. (1991): Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas.