

**PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN  
PARA LA NUEVA CAPTACIÓN DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE A LA LOCALIDAD DE  
BETETA (CUENCA)**

**Marzo 2010**

## ÍNDICE

### **1. Introducción**

#### **1.1 Demanda urbana**

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

### **2. Estudios previos**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **4. Bibliografía**

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del convenio de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.) y la Excm. Diputación Provincial de Cuenca, en diciembre de 2007 se redactó “*Actualización de la situación actual de los sistemas de abastecimiento urbano de 10 municipios de la provincia de Cuenca: Beteta*” en el que se describía el estado del abastecimiento y se definía un área de protección mediante diferentes criterios. Dicho trabajo fue realizado por la empresa EPTISA y ha servido de base para la realización de la siguiente propuesta de perímetro de protección.

El municipio de Beteta se ubica en la comarca de la Serranía Alta, a escasos kilómetros del límite con la provincia de Guadalajara (Figura 1).

La zona de estudio pertenece a la cuenca del Tajo. El núcleo urbano de Beteta se encuentra situado en una hoz formada por los ríos: Guadiela al Norte y Masegar al S. El primer río, discurre en dirección E-O y el segundo en dirección SE-NO.

### 1.1. Demanda urbana

Este sistema de abastecimiento engloba únicamente al núcleo de población de Beteta, aunque cuente con dos pedanías con sistemas propios de abastecimiento: Solán de Cabras y el Tobar.

La población abastecida en dicho sistema, tanto estacional como residente, es la siguiente:

**Residente:** 357  
**Estacional:** 1200

Los datos de población residente proceden del censo de 2009 mientras que los datos de población estacional proceden de la Encuesta Sobre Infraestructuras y Equipamiento Local (EIEL) de 2005 realizada por la Diputación de Cuenca.

Según estos datos de población y aplicando la dotación teórica utilizada en los planes hidrológicos de 210 l/hab/d, los volúmenes necesarios para satisfacer dicha demanda serían de 75 m<sup>3</sup>/d durante todo el año y de 252 m<sup>3</sup>/d en los meses de verano que suponen un caudal continuo de 1 l/s en los meses de invierno y de 2.9 l/s en los de verano. Estas dotaciones implican un volumen anual de 43434 m<sup>3</sup>.

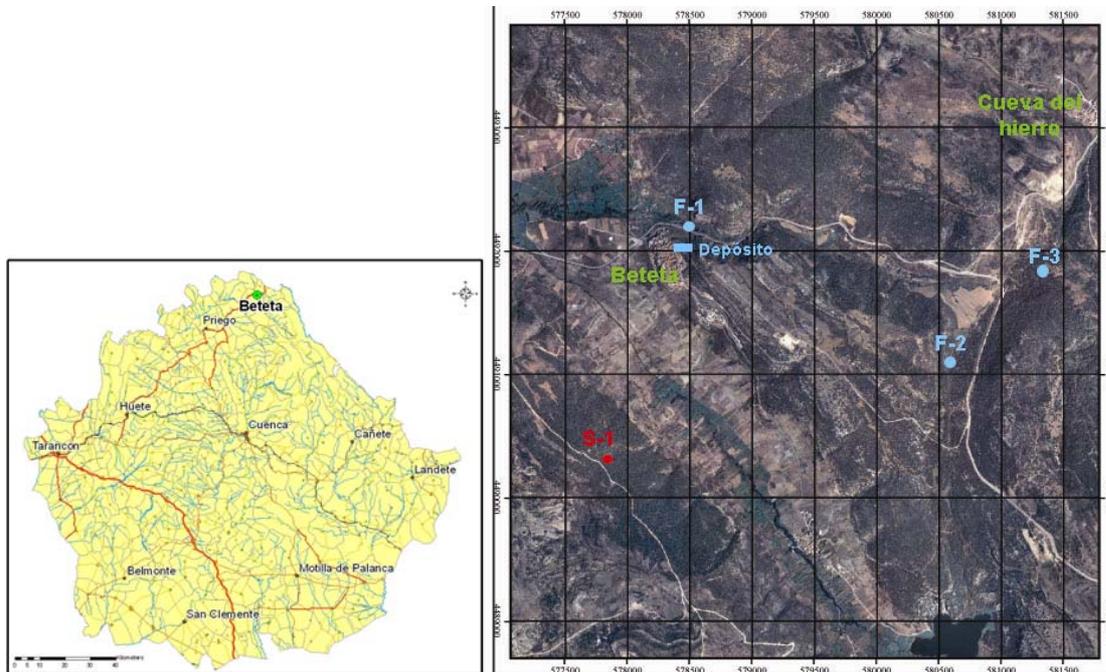
## 1.2 Sistema actual de abastecimiento

El abastecimiento de agua a la población de Beteta se realiza mediante tres captaciones: Fuente del Canto (CA16032101), La Sanja (CA16035102) y Fuentes Morenas (CA16035103). Sin embargo, se realizó en 2005 un nuevo sondeo de abastecimiento denominado Cerro de la Cantera, objeto de este informe, de 250 m de profundidad, para abastecer en un futuro próximo a la localidad.

La Captación Fuentes Morenas presenta fuertes variaciones de caudal, pasando de 200 L/s en época húmeda a estar seca a inicios de otoño, como en octubre de 2007. La Fuente del Canto (CA16035101) presentaba un caudal de 10 l/s aproximadamente, y La Sanja (CA16035102), con un caudal de 2-3 l/s, que en verano desciende a unos 0,5 l/s. El agua de Fuentes Morenas es conducida a una estación elevadora desde la que se bombea el agua hasta el depósito, mientras que el agua de La Sanja y de Fuentes Morenas es conducida por gravedad hasta el depósito (tabla 1, figura 1).

**Tabla 1.** Características de las captaciones del sistema de abastecimiento de Beteta

Toponimia	Captación	UTM_X	UTM_Y	z	Q (l/s)	Prof.	N.P
Fuente del Canto	F-1	578410	4492223	1147	10		
Fuente de La Sanja	F-2	580552	4491080	1265	2-3		
Fuentes Morenas	F-3	581300	449150		0		
Sondeo Cerro de la Cantera	S-1	577682	4490382	1316	sin equipar	250	123,9



**Figura 1.**Ubicación de Beteta y sistema de abastecimiento

## 2. ESTUDIOS PREVIOS

Este informe se ha elaborado a partir del trabajo de Ana Castro (EPTISA) para el IGME/Diputación de Cuenca, en noviembre de 2007 denominado “*Actualización de la situación actual de los sistemas de abastecimiento urbano de 10 municipios de la provincia de Cuenca: Beteta*” modificándose con nueva información.

### 2.1. Marco geológico: estratigrafía y estructura

La zona de estudio se encuentra situada en la parte central del Sistema Ibérico y estructuralmente en su Rama Castellana (figura 2).

#### Triásico

Los materiales más antiguos aflorantes en la zona pertenecen al Triásico. Está compuesto por arcillas, margas y yesos de facies **Keuper** que afloran en el valle del arroyo Masegar, a los pies de la población de Beteta..

## Jurásico

Por encima de los materiales plásticos del Keuper, aparece el Jurásico, sobre el que se sitúa la población de Beteta. Se han descrito 3 formaciones jurásicas:

**Dolomías tableadas de Imón. Fm. Carniolas de Cortes de Tajuña.-** De la primera Fm. Se han reconocido 20 m de dolomías grises y beige en capas de 0'1 a 1'5 m, en ocasiones carniolizadas.

Suprayacentes a éstas, se encuentra la Fm. Dolomías de Cortes de Tajuña, correspondiendo a dolomías vacuolares oquerosas y recristalizadas y aspecto brechoide, con una potencia en torno a 100 m. En las proximidades de Beteta existía una torca que afectaba a dichos materiales y que en la actualidad se encuentra transformada en un vertedero. Se datan del límite Jurásico-Triásico, del Rethiense-Lias Inferior

**Fm. Calizas y dolomías tableadas de Cuevas Labradas.-** Forman el cerro próximo a la localidad, hacia el Oeste. No se ha podido reconocer toda la serie, sino únicamente un tercio superior, de un espesor aproximado de 200 m. Es un conjunto de calizas y dolomías de estratificación decimétrica, con presencia de fauna (braquiópodos, equinodermos, gasterópodos,...). Se datan como Sinemuriense Superior.

**Fm. Margas grises del Cerro del Pez y Fm. Caliza bioclástica de Barahona.-** La localidad se sitúa sobre estos materiales. La Fm. Margas grises del Cerro del Pez tienen una potencia de 6-8 m, formada por margas grises y verdes, con abundantes fragmentos de moluscos en ocasiones piritizados.

Sobre esta Formación se sitúa la Fm. Caliza bioclástica de Barahona, 15-20 m de calizas lumaquéllicas estratificadas en capas decimétricas y aspecto noduloso. El conjunto se data como perteneciente al Carixiense Superior- Domeriense.

## Cretácico

Pertenecientes al Cretácico se han descrito 6 formaciones, que de base a techo son:

**Facies Weald.-** Son conglomerados, areniscas, arcillas y calizas de espesor variable (0-100 m). Afloran en la falda sur de la Sierra de San Cristóbal. En la base, sobre un paquete de

conglomerado de 2 m de espesor, aparecen unos 30 m de arcillas. Sobre ellas, aparecen dos paleocanales de alrededor de 4 m de espesor separados por un nivel de 1,5 m de arcillas. La formación culmina en una secuencia de calizas arenosas a margas grises, de espesor variable. Se datan como Barremiense Superior-Aptiense Inferior.

**Fm. Arenas de Utrillas.-** Se hallan muy recubiertas y en la zona de estudio pueden tener un espesor en torno a 50 m. Son arenas blancas y ocreas a veces caoliníferas, y niveles de cantos de cuarcita, alternando con arcillas y limolitas rojas y blancas. En su techo se observan margas con Ostreidos intercaladas. Se les data como del Albiense-Cenomaniense Inferior.

**Fm. Margas de Chera, Fm. Dolomías de Alatoz, Fm. Dolomías de Villa de Ves y Fm. Margas de Casa Medina.-** Son margas y dolomías de edad Cenomaniense, con un espesor de 100-150 m en la zona de estudio.

**Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada.-** Son dolomías del Turoniense de grano grueso y calizas recristalizadas de aspecto masivo. Su espesor es de unos 70 m. En la zona de estudio esta formación constituye la superficie de la Muela del Escañero.

**Fm. Calizas dolomíticas del pantano de la Tranquera. Fm. Calizas de Hontoria del Pinar.-** Son dolomías estratificadas, de tableadas a masivas y en ocasiones brechificadas. Su espesor es de 70-85 m y se datan como Coniaciense-Santoniense.

**Brechas y carniolas.-** Son brechas heterométricas y masivas, reconociéndose 100 m de manera incompleta. Se atribuye al Santoniense-Campaniense.

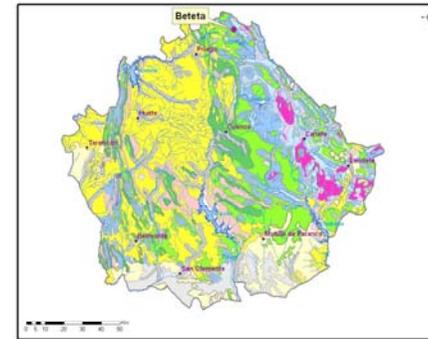
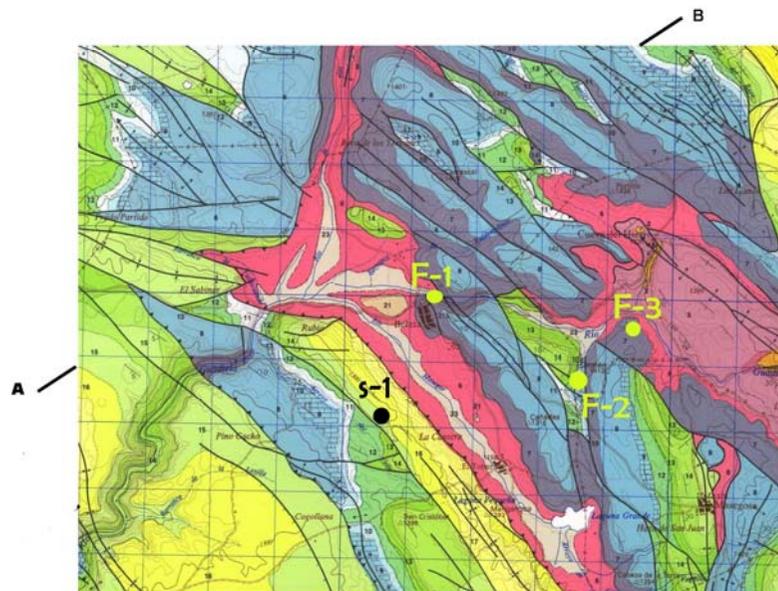
Los **depósitos cuaternarios** tienen escasa representación en la zona y corresponden a los asociados a los cursos de agua (Arroyo Masegal, río Guadiela).

## **Tectónica**

En cuanto a la estructura, la Sierra de San Cristóbal se encuentra cabalgada por los materiales del Keuper y del Jurásico. A su vez, estos materiales cretácicos forman un sinclinal de orientación NO-SE que se encuentra fallado por fracturas de orientación O-E y NO-SE y cuyos flancos presentan buzamientos en ocasiones superiores a 60°. La localidad de Beteta se

encuentra situada sobre el Jurásico, que cartográficamente aparece flotando por encima de las arcillas del Keuper.

## MAPA GEOLÓGICO DE BETETA



### LEYENDA

CUATERNARIO	Holoceno	23	24	Brechas calcáreas, arena, limas y bloques. Colaciones
	Pleistoceno	21	22	Arenas, gravas y limas. Aluviales
TERCIARIO	MIOCENO	20	22	Travertines y gravas, arenas travertínicas y limas. Terrazas y aluviales travertínicos
		19	21	Gravas de cuarcita, caliza y dolomita cementadas. Terrazas
		18	20	Conglomerados, areniscas y arcillas rojas
CRETÁCICO	SUPERIOR	17	18	Margas y conglomerados
		16	17	Arcillas, areniscas, calizas y conglomerados
		15	16	Brechas y conchitas
	INFERIOR	14	15	Fm. Calizas dolomíticas del Pinaro de la Trinquera y Fm. Calizas de Honorio del Pinar
		13	14	Fm. Dolomitas de la Ciudad Encantada
		12	13	Fm. Margas de Chera, dolomitas de Alaso, dolomitas de Villa de Vico y margas de Casamolina
		11	12	Fm. Arenas de Vitoria
		10	11	Fm. Faes Wasil. Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas
		9	10	Fm. Carbonatada de Churus
		8	9	Fm. Margas del cerro del Paz y Fm. calizas biocásticas de Benabona
JURÁSICO	LIAS	7	8	Fm. Calizas y dolomitas de Cuevas Labradas
		6	7	Fm. Dolomitas tabulares de Indri y Fm. conchitas de Cortes de Topiña
	PERIURAL	5	6	Fm. Faes Kaupfer. Arcillas, margas y yesos
		4	5	Fm. Muschelkalk. Dolomitas, calizas y margas
TRIÁSICO	MEDIO	3	4	Margas, limolitas, areniscas y brechas
		2	3	Pizarras y areniscas cuarcíticas
	INFERIOR	1	2	Fm. Coaceta Anzurciana
		1	1	Fm. Santed. Pizarras y cuarcitas

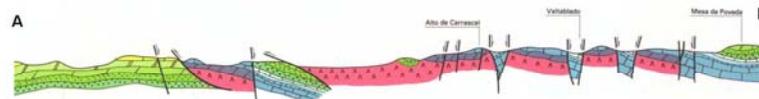


Figura 2. Mapa y corte geológico del área de estudio.

## 2.2. Hidrogeología regional

La provincia de Cuenca participa de tres cuencas hidrográficas distintas: Guadiana, Júcar y Tajo que a su vez quedan divididas en distintas Masas de Agua Subterránea (MAS) para la cuenca del Guadiana, Júcar y Tajo (figura 3).

El municipio de Beteta está incluido en su totalidad en la m.a.s. 030.003: Tajuña -Montes Universales perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Tajo, que es equivalente en descripción a la antigua UH del mismo nombre. Ocupa una extensión de 3.995,2 km<sup>2</sup>, de los que 1.344,4 km<sup>2</sup> pertenecen a Cuenca, 2.508,7 Km<sup>2</sup> pertenecen a Guadalajara, y 142,1 Km<sup>2</sup> pertenecen a Teruel. La superficie de afloramientos permeables es de 2.900 km<sup>2</sup>.

El principal acuífero de la m.a.s. lleva su mismo nombre, es de tipo mixto y está formado por calizas y dolomías Jurásicas y Cretácicas, alcanzando un espesor de entre 100 y 200 m.

Las facies hidroquímicas de este sistema acuífero son bicarbonatada cálcico-magnésica, sulfatada cálcica y bicarbonatada cálcica, con conductividades que varían entre 425 y 844 μS/cm y una concentración media de nitratos de 9 mg/l.

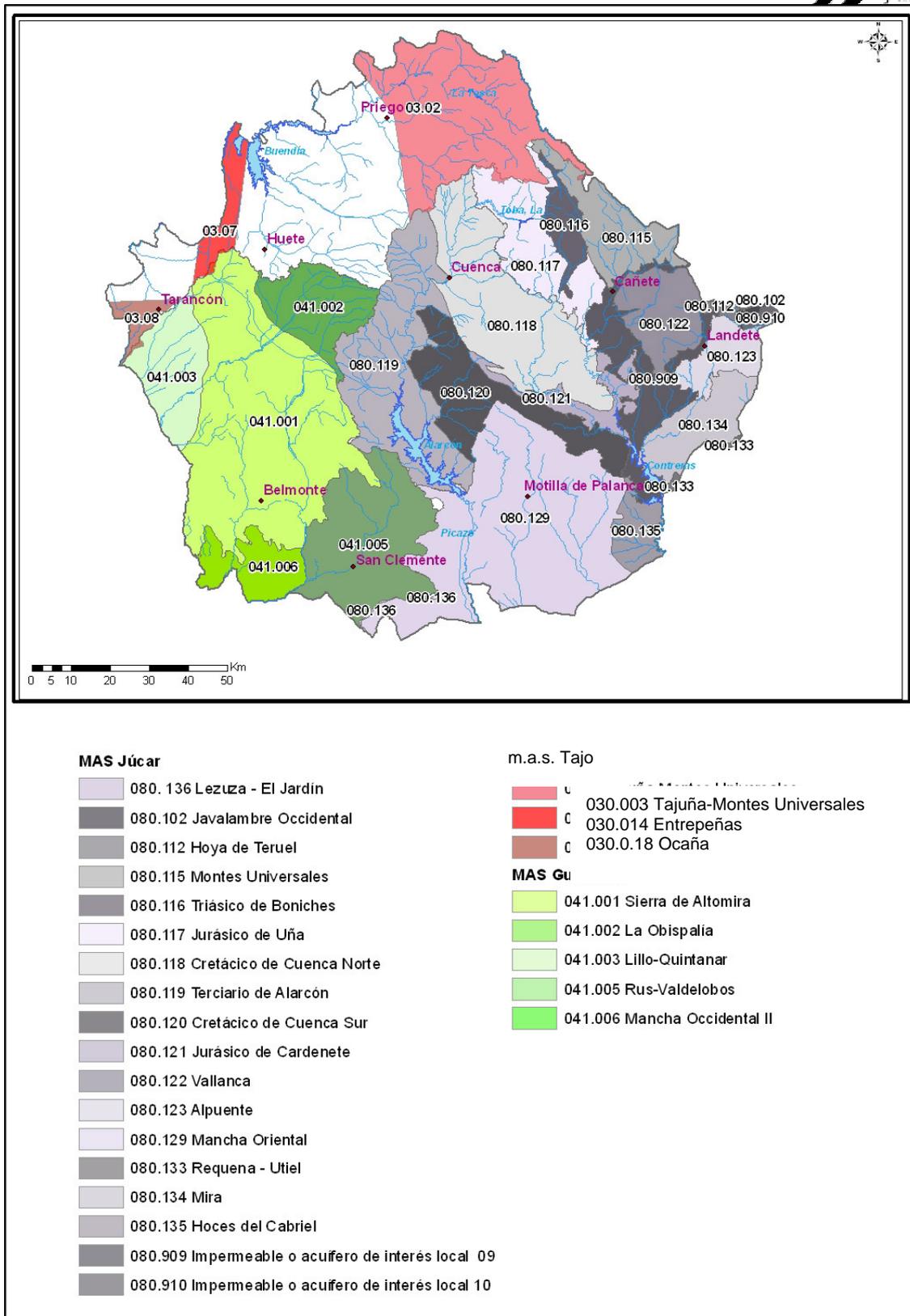


Figura 3. Masas de Agua Subterránea de la provincia de Cuenca.

El balance hídrico calculado se recoge en la tabla 2.

ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año)		SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año)	
Lluvia directa	642	Manantiales	
Ríos		Ríos	642
Laterales		Bombeos	
Retorno Riegos		Laterales	
Otras		Otras	
<b>TOTAL</b>	<b>642</b>	<b>TOTAL</b>	<b>642</b>

**Tabla. 2** Balance hídrico de la m.a.s. 030.003 Tajuña-Montes Universales

El volumen de agua utilizado al año para abastecimiento urbano a poblaciones de Castilla-La Mancha se calcula entorno a 1,5 hm<sup>3</sup>/año. El agua es utilizada para abastecimiento y para regadío.

### 2.3 Hidrogeología local: formaciones acuíferas

La zona de estudio se halla afectada por numerosos accidentes tectónicos, que puede indicar un compartimentado de los acuíferos y su desconexión (figura 4).

Entre las formaciones que afloran en la zona de estudio las que presentan un mayor interés hidrogeológico susceptibles de constituir niveles acuíferos son las formaciones carbonatadas jurásicas y las cretácicas (Martínez, 2004).

#### *Formaciones acuíferas jurásicas*

El espesor conjunto de los materiales jurásicos 9 al 7 puede alcanzar más de 300 m, aunque parte de los depósitos carnolares inferiores estén ausentes debido a que se hallan en contacto mecánico con los materiales triásicos del Keuper. Igual puede ocurrir con los términos superiores, erosionados por los depósitos margosos y calizos del Cretácico Inferior .

No obstante, al estar aflorante el sustrato triásico, ejerce de divisoria de aguas y los acuíferos jurásicos se pueden subdividir en:

- Acuífero de la fuente de la Serna.
- Acuífero de la Sierra del Carrascal.
- Acuífero de la Sierra de Beteta.

El **acuífero de la fuente de la Serna** corresponde a los materiales jurásicos aflorantes en la margen derecha del río Pontezuelas. La dirección de flujo sería proveniente del NO al SE, hacia la fuente de la Serna que constituye su drenaje natural (tabla 3). El caudal en 2004 a 30 L/s. La calidad química del agua muestra un agua bicarbonatada cálcica, de baja mineralización (383  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y mínimo contenido en nitratos (2 mg/L).

El acuífero de la Sierra del Carrascal corresponde a los relieves calizos situados al norte de Beteta, en la orilla derecha del río Guadiela. Drenan por la fuente próxima al río, que capta el Ayuntamiento, con un caudal de 4-5 L/s. Las aguas también son bicarbonatadas cálcicas, de baja mineralización y bajo contenido en nitratos (tabla 3).

El acuífero de la Sierra de Beteta a su vez parece estar compartimentado por el conjunto de fallas y bloques existentes. Así el entorno de Beteta hacia El Tobar presenta asociados los puntos de agua de El Ojuelo y de la Fuente Grande (tabla 3), que originaba en principio a la Laguna Grande de Beteta. Esta fuente tenía en 1970 un caudal de 250 L/s. Por otro lado, y con una dirección de flujo hacia el Norte se encuentran las Fuentes Morenas, con un caudal estimado de 250 L/s (foto 1).



**Foto 1.-Fuentes Morenas.**

**Tabla 3.** Inventario de puntos de agua que captan al acuífero jurásico en Beteta.(LEYENDA: NAT.-naturaleza, F-fuente).

DENOMINACIÓN	NAT.	ALTURA (msnm)	CAUDAL (l/s)
Fuente Laguna Grande	F	1160	250 (1970)
Fuente Serna	F	1100	30(5/04)
Fuente Río	F	1160	4 (5/04)
F. Morenas	F	1300	280 (5/04)
Ojuelo	F	1160	

Hidroquímicamente las aguas de Fuente Grande y El Ojuelo tienen una conductividad más elevada que el resto de las aguas ( $704\text{-}720\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ) y mayor contenido en nitratos ( $14\text{-}25\ \text{mg}/\text{L}$ ). En las proximidades de Beteta, una torca fue utilizada como vertedero comarcal de Residuos Sólidos Urbanos (foto 2). Aunque es preciso unos estudios más exhaustivos, no es descartable una influencia del vertedero a las aguas. Si bien la presencia de sulfatos podría atribuirse a un lavado de materiales evaporíticos triásicos basales, por los que circulara el agua, la presencia de nitratos indica una influencia antrópica, sobre todo si se compara con las otras aguas en los mismos materiales, con contenidos de  $0\text{-}2\ \text{mg}/\text{L}$ .



**Foto 2.-** Vertedero en Beteta, relleno una sima.

### *Formaciones acuíferas detríticas del Cretácico Superior*

Los depósitos detríticos Utrillas se investigaron en el paraje denominado La Cantera, a 1 km al NO de El Tobar y que no se encuentra cartografiado (tabla 4). El caudal fue escaso y se abandonó la posibilidad de explotación.

DENOMINACIÓN	NAT.	ALTURA (msnm)	PROF. (m)	CAUDAL (l/s)	PNP (m)
S-V	PZ	1210	30		6

**Tabla 4.** Inventario de puntos de agua que captan al acuífero detrítico cretácico en Beteta. (LEYENDA: NAT.- naturaleza, PZ-piezómetro, PROF. – profundidad de la captación, PNP- profundidad del nivel piezométrico).

Su espesor oscila entre 50 y 100 m.

### *Formaciones calizo-dolomíticas del Cretácico Superior*

Los materiales que constituyen formaciones de interés acuífero son las descritas como calizas, dolomías y brechas, con un espesor conjunto de 250 m.

La estructura geológica existente favorece la existencia de dos conjuntos acuíferos calizo-dolomíticos aislados; corresponden al acuífero de Fuente Sanja y al acuífero de la Sierra de Cerro de San Cristóbal.

El acuífero de Fuente Sanja corresponde a un retazo cretácico sobre materiales jurásicos, de escasa extensión (inferior a 1 km<sup>2</sup>). Asociado al mismo se encuentra Fuente Sanja, su drenaje natural, con un caudal aproximado de 3 L/s (5/04) (tabla 5).

Las aguas son de facies bicarbonatada cálcico-magnésica y bajos contenidos en nitratos.

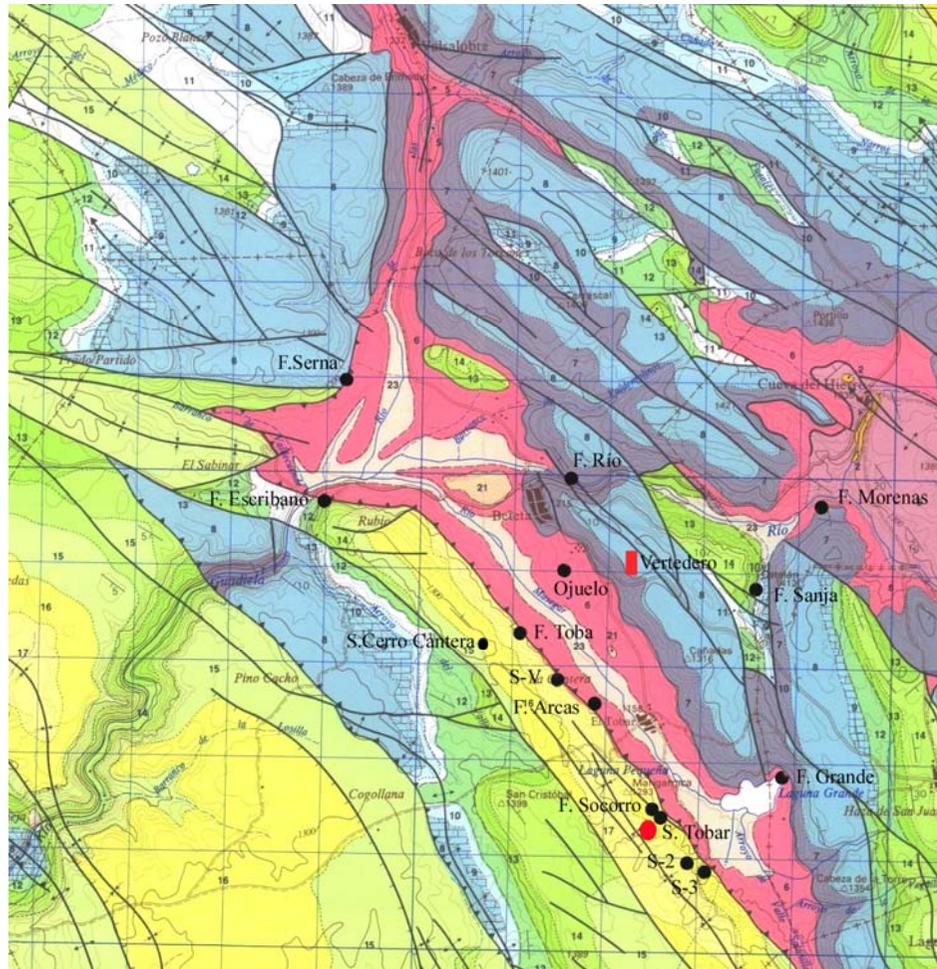
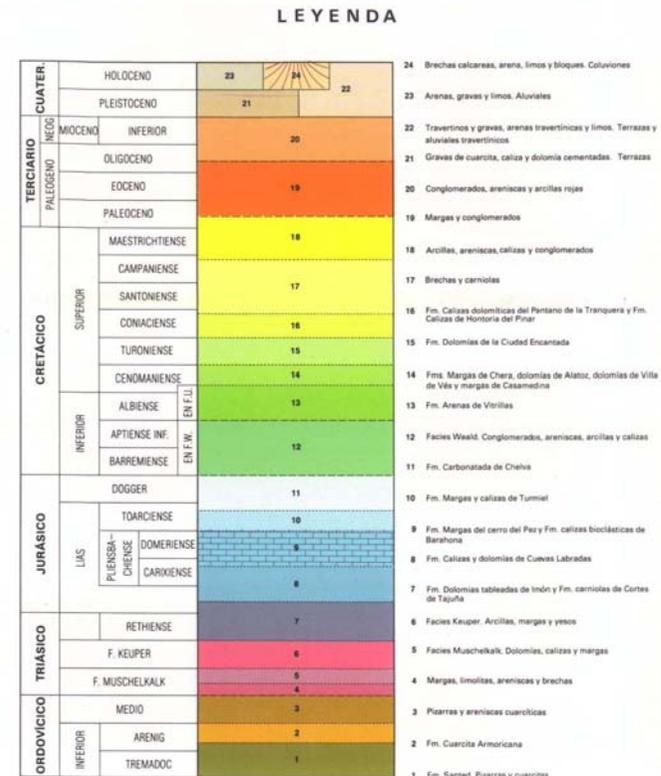


Figura 4.- Mapa geológico con la situación de los puntos de agua.



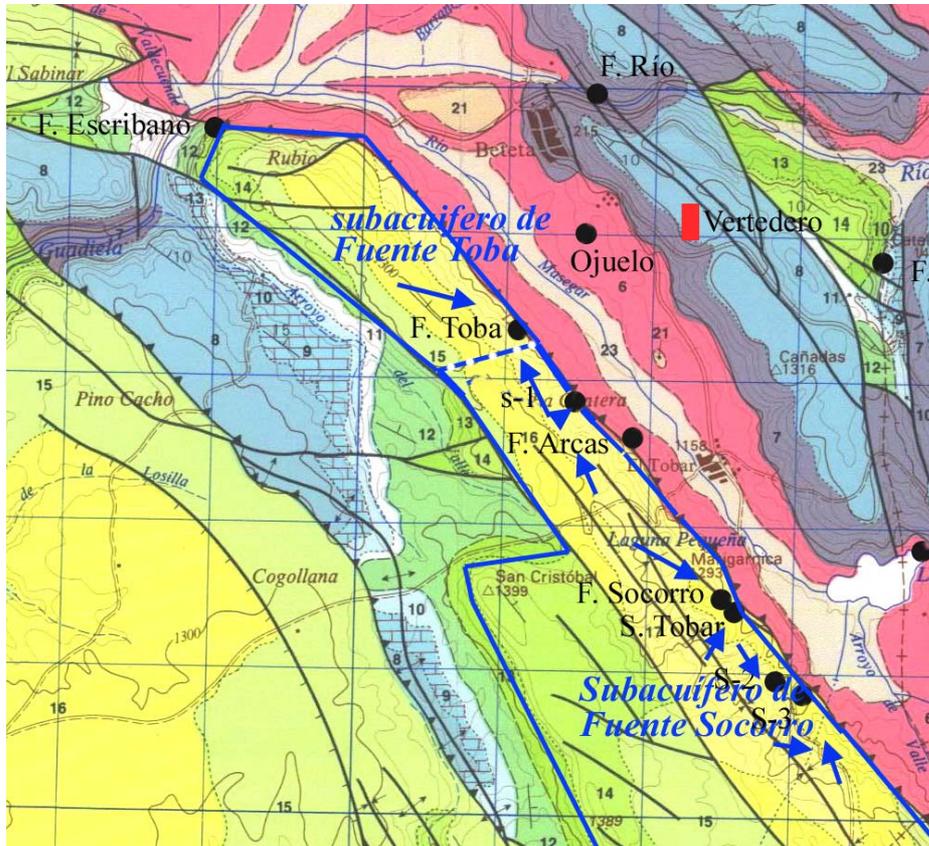
El acuífero de la Sierra de San Cristóbal es difícil de delimitar debido a la deficiencia en la cartografía existente. Se pueden diferenciar otros subacuíferos, individualizados por fallas y elevación de los materiales suprayacentes, como se indica en la figura 5 .

DENOMINACIÓN	NAT.	ALTURA (msnm)	PROF (m)	CAUDAL (l/s)	PNP (m)
Fuente Sanja	F.	1260		3(5/04)	
Fuente Toba	F	1200		5(5/04)	
Sondeo Abastecimiento Tobar	S	1200	66	5,5 (12/92)	30 (12/92) ) 26,8 (5/04)
Fuente Arcas	F	1180		2,2 (5/04)	
Fuente Socorro	F	1180		5 (5/04)	
Fuente Escribano	F	1180		20 (5/04)	
Sondeo Fábrica 1	S	1220	60		
Sondeo Fábrica 2	F	1180	110		
S. Cerro Cantera	S		250		

**Tabla 5.** Inventario de puntos de agua que captan al acuífero detrítico cretácico en Beteta.(LEYENDA: NAT.- naturaleza, F- fuente, S- sondeo, PROF. – profundidad de la captación, PNP- profundidad del nivel piezométrico).

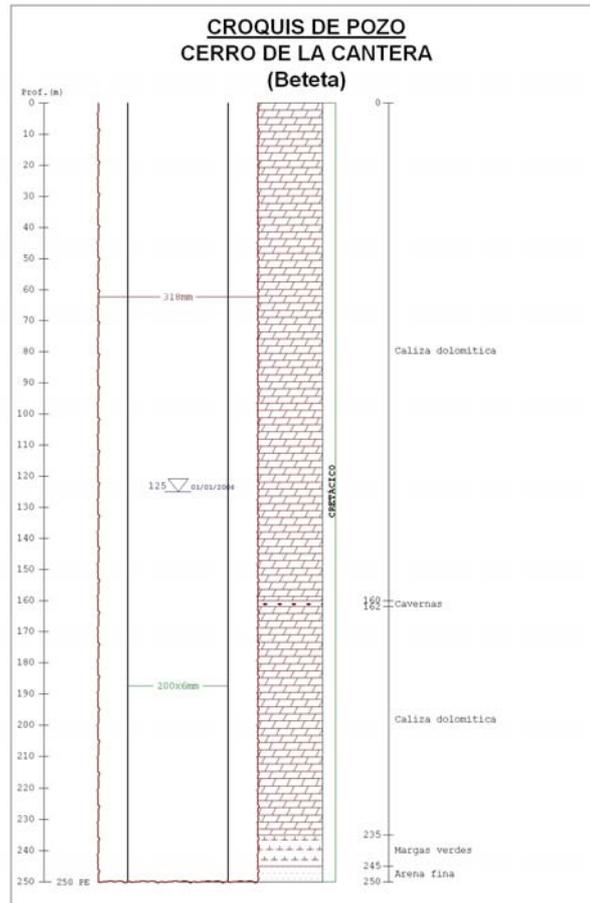
	F.Sanja	F. Toba	F.Socorro	F. Escribano	S.A. Tobar		S. Cerro cantera	F. Arcas
Fecha	11/5/04	27/5/04	27/5/04	27/5/04	3/12/92	11/5/04	15/12/2005	11/5/04
Ca <sup>2+</sup>	36	49	49	51	56	38	65	28
Mg <sup>2+</sup>	24	20	20	20	32	18	28	21
Na <sup>+</sup>	0	0	0	0		0	0	0
K <sup>+</sup>	0	0	0	0		0	0	0
Conductividad	480	396	382	363	425	465	459	399
Conductividad campo	522	430	427	396				451
Cl <sup>-</sup>	1	3	2	2	21	4	1	2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	5	4	3	51	27	2	3
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	219	177	238	243		150	316	176
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	1	1	2	2	9	2	2
pH	7.5	7.9	7.9	7.8	7.53	7.7	7.7	7.7

**Tabla 6.** Características físico-químicas de las aguas de los acuíferos carbonatados cretácicos. (contenidos en mg/L y conductividad en  $\mu$ S/cm).



**Figura 6.** Posibles subacuíferos del acuífero Cretácico de Sierra de San Cristóbal.

El subacuífero de Fuente Toba (figura 6) contempla una pequeña extensión a la que se encuentran asociados la fuente Escribano, fuente Toba y el sondeo del Cerro de la Cantera (figura 7), objeto del perímetro, con unos caudales de 5 L/s, drenando a unas cotas entre 1180-1200 m s.n.m. Su transmisividad es del orden de 80 m<sup>2</sup>/día. La circulación del agua es, principalmente hacia la fuente Toba. Esta fuente, a su vez puede recibir alimentación del otro subacuífero existente. Las aguas son de baja mineralización, bicarbonatadas magnésico-cálcicas, con bajo contenido en nitratos.



**Figura 7.-** Perfil litológico del sondeo de Cerro Cantera. No se dispone de las características de la rejilla.

El subacuífero de Fuente Socorro drena por fuente Arcas al N y por Fuente Socorro, con caudales en el momento de la visita de 2-5 L/s. También puede drenar en contacto con el subacuífero de Fuente Toba. Según los lugareños un túnel – el túnel de la Losa- que se hizo en las proximidades afectó al caudal de fuente Socorro, que era mucho mayor; de hecho, los ejecutores de la obra realizaron una perforación y equipamiento para que la gente del Tobar puedan extraer el agua en periodo seco; posiblemente dicha obra desvió la circulación del flujo, ejerciendo de dren lo que afectaría a la fuente.

Posteriormente se han perforado varios sondeos, el de abastecimiento a El Tobar, con un caudal aforado de 5.5 L/s y los sondeos de explotación de la planta embotelladora “Aguas de Beteta”, de los que no se dispone de información. La cota piezométrica se encuentra en torno a 1173-1180 (mayo 2004). El sondeo de el Tobar presentaba una transmisividad en torno a 200 m<sup>2</sup>/día (12/92). Las aguas son de baja mineralización, bicarbonatadas magnésico-cálcicas, con bajo contenido en nitratos.

### 3. PROPUESTA DE PERIMETRO DE PROTECCIÓN

#### 3.1 Inventario focos potenciales de contaminación.

Según IGME-Diputación de Cuenca (2007), se han localizado siete focos potenciales de contaminación en las inmediaciones de las captaciones que podrían estar influyendo negativamente en la calidad del agua de las mismas (figura 8, tabla 7).

<i>Naturaleza</i>	<i>Tipo</i>	<i>Contaminante potencial</i>
Escombrera incontrolada	Puntual no conservativo	Variado
Matadero	Puntual no conservativo	Carga orgánica
Granja de corderos	Puntual no conservativo	Nitratos, fosfatos y potasio
Vertedero de RSU clausurado	Puntual no conservativo	Variado
Gasolinera	Puntual conservativo	Hidrocarburos
Punto de vertido de aguas residuales sin tratamiento previo	Puntual no conservativo	Materia orgánica, contaminación bacteriológica, aceites y grasas, detergentes, etc...
Cementerio	Puntual no conservativo	Fosfatos

**Tabla 7.** Potenciales focos de contaminación en el entorno de Beteta.

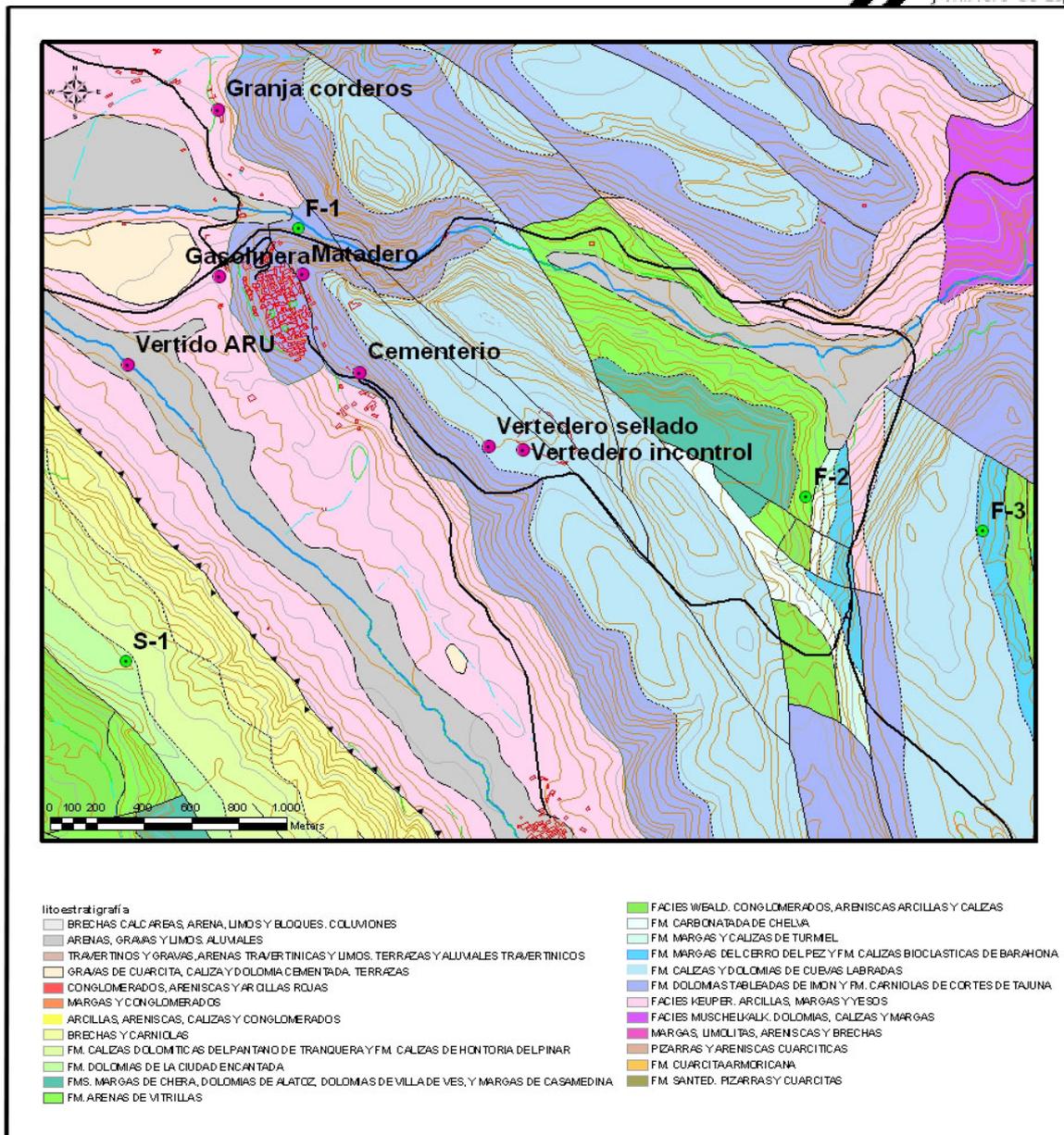


Figura 8. Mapa geológico con la ubicación de los potenciales focos de contaminación de Beteta

### 3.2 Estimación de la vulnerabilidad

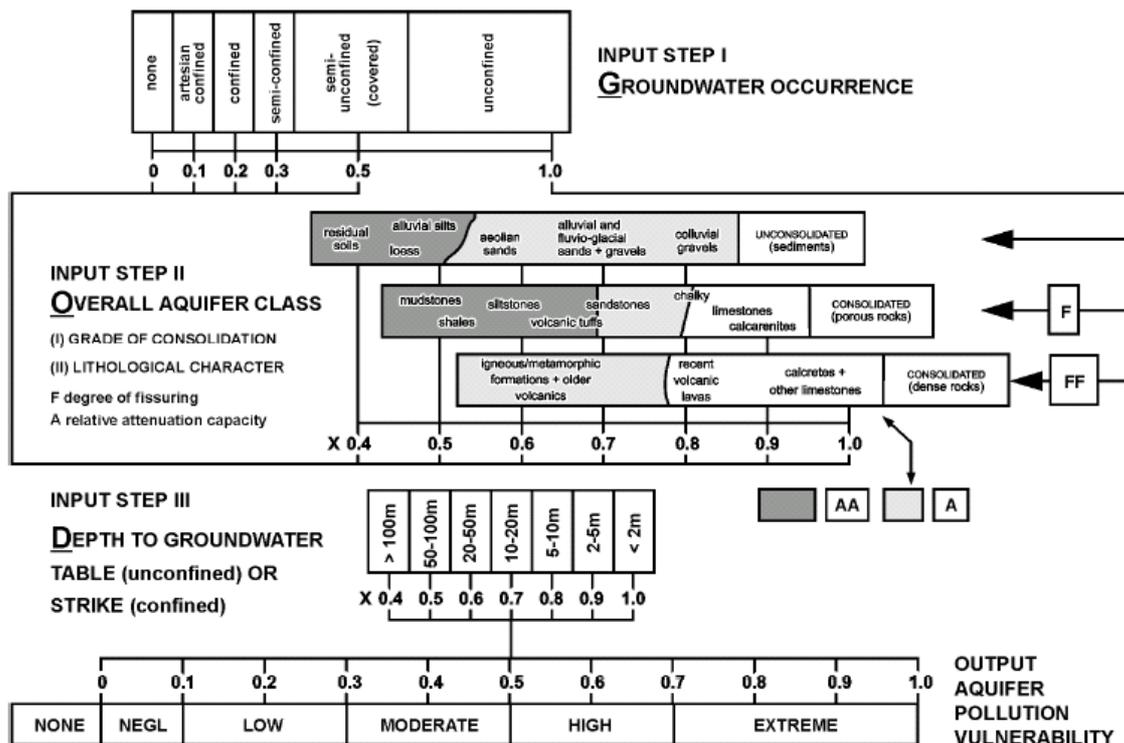
Una de las metodologías más adecuadas para la determinación de la vulnerabilidad es la realización de una cartografía de vulnerabilidad. Para su realización existen distintos métodos, como el método GOD utilizado en el presente estudio. Este método propuesto por Foster (1987) se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables (G, O, D) las cuales conforman el acrónimo:

G- tipo de acuífero.

O- litología de cobertura del acuífero

D- profundidad del agua o del acuífero.

En la Figura 9 (Foster e Hirata, 1988) 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 9.** Esquema de la valoración del índice GOD.

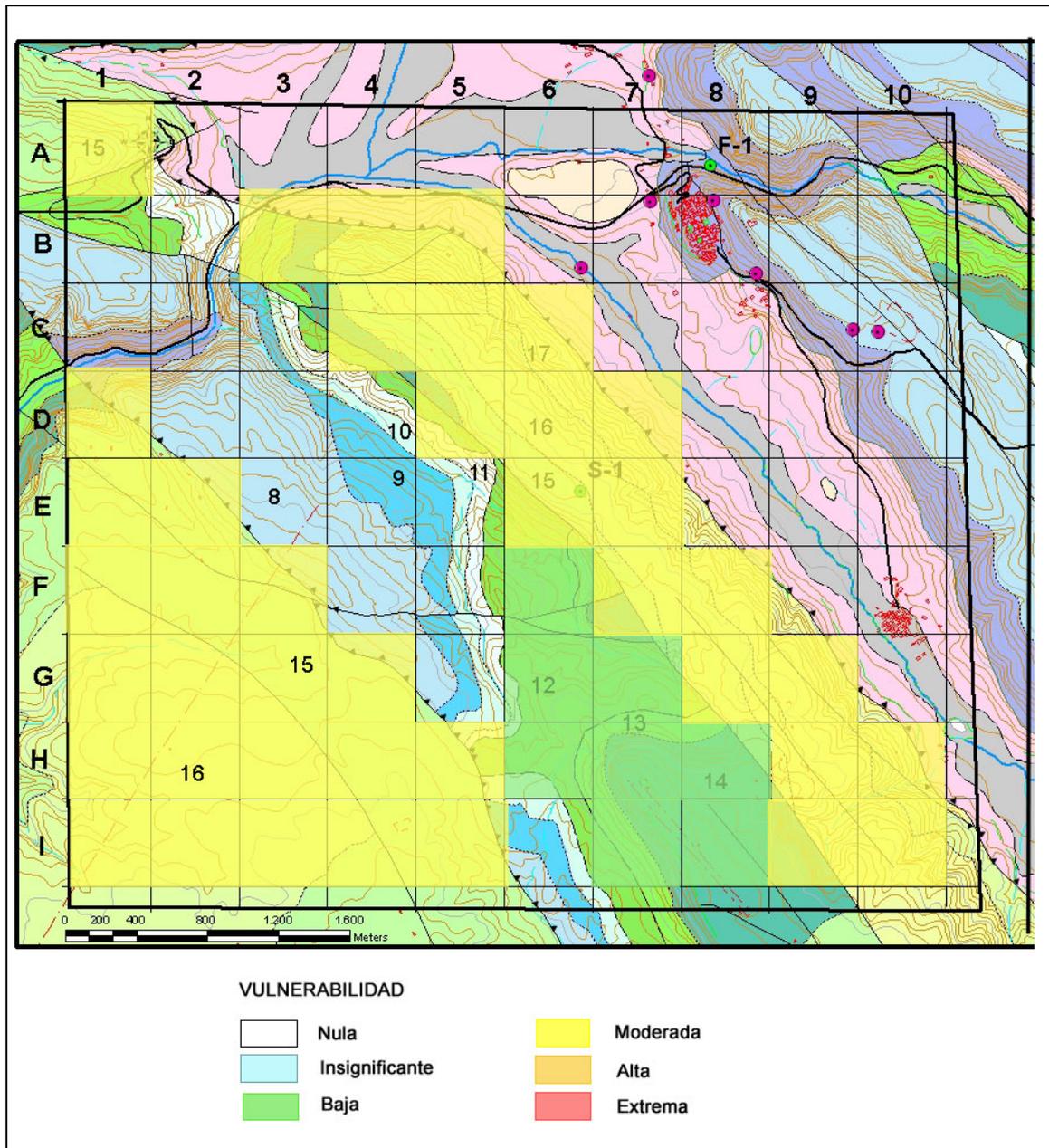
El sondeo se emplaza sobre la formación del Cretácico Superior *Dolomías de la Ciudad Encantada* en una zona de alta complejidad estructural con la deformación siguiendo una dirección preferencial NO-SE. En concreto, S-1 se encuentra entre dos escamas cabalgantes. Al

este, los materiales plásticos del Keuper cabalgan sobre el Cretácico, arrastrando con ellos la serie del Jurásico. Al oeste, afloran solamente estos materiales jurásicos aunque se deduce igualmente la existencia del nivel de despeque triásico en posiciones estratigráficas inferiores. Este tipo de estructuras pueden ocasionar niveles acuíferos colgados y conexiones o desconexiones entre acuíferos.

En cuanto al valor del parámetro G (Naturaleza del acuífero), éste va a depender de la posición que ocupen los materiales acuíferos. Así, en las celdas en las que afloran los materiales correspondientes a la Formación *Dolomías de la Ciudad Encantada* se considerará acuífero libre ( $G = 1$ ), cuando afloran materiales estratigráficamente inferiores se considerará que no hay acuífero ( $G = 0$ ), salvo cuando se haya dado una inversión tectónica de la serie y exista conexión hidráulica, que se estimará el valor de G. Éste es el caso, por ejemplo, de la celda F6 en la que las facies Weald y Utrillas (Cretácico Inferior) se ubican topográficamente por encima de la serie carbonatada del Cretácico Superior por accidente mecánico y posiblemente tengan conexión con los carbonatos del Cretácico Superior. En este caso y similares se ha asignado un valor de  $G = 0,5$ . Igualmente, cuando afloran materiales estratigráficamente superiores se estimará el grado de confinamiento para cada celda.

En cuanto a la capacidad protectora que ofrecen los materiales que se encuentran por encima del acuífero, ésta también variará para cada celda. Así, cuando se trate de materiales carbonatados karstificados y/o fisurados se le otorga un valor elevado de  $O = 0,9$ . Para el caso como el de la celda F6, se asigna un valor de  $O = 0,6$ .

Los datos que se disponen sitúan el nivel piezométrico del sondeo a proteger a una profundidad en 2007 de 124 m, obteniéndose un valor de  $D = 0,4$  para todas las celdas en las que existe el acuífero.



**Figura 10.** Cartografía de vulnerabilidad empleando el método GOD y ubicación de los potenciales focos de contaminación.

La cartografía de vulnerabilidad (figura 10) obtenida muestra tres zonas diferenciadas en función de los materiales aflorantes y su posición estratigráfica. El primer aspecto a destacar es que todos los potenciales focos de contaminación se encuentran sobre una zona en la que la vulnerabilidad es nula

debido a que se ubican sobre las arcillas del Keuper o sobre materiales jurásicos desconectados de los materiales cretácicos que alimentan el sondeo. La escama jurásica que se encuentra cabalgando sobre el cretácico al oeste del sondeo obtiene también vulnerabilidad nula al estar ausente en estas celdas el acuífero cretácico. Además, aunque la escorrentía superficial haga llegar agua a la zona de alimentación de sondeo, el drenaje subterráneo presumiblemente será hacia el norte, hacia el río Guadiela y no hacia el sondeo.

Las zonas en las que afloran los materiales carbonatados del Cretácico Superior obtienen una vulnerabilidad moderada, ya que se considera acuífero libre y con una zona no saturada muy permeable por fisuración y karstificación.

Las zonas que han obtenido vulnerabilidad baja, son aquellas en las que los materiales aflorantes corresponden al Cretácico Inferior, los cuales se encuentran en la misma escama cabalgante que el Jurásico anteriormente descrito y topográficamente por encima de los materiales acuíferos que afloran. A diferencia del Jurásico, aquí se ha considerado que sí puede existir conexión hidráulica con el cretácico superior al encontrarse la serie invertida.

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

En el presente documento se proponen los perímetros de protección en torno a la futura captación de abastecimiento de Beteta, el sondeo del Cerro de la Cantera, para proteger tanto la **calidad** como la **cantidad** de agua necesaria para satisfacer la demanda. En el primer caso, la protección tiene en cuenta la contaminación puntual o difusa que pudiera poner en peligro la calidad del agua del abastecimiento, y en el segundo caso, la protección considera la afección provocada por otros pozos o por bombeos intensos no compatibles con el sostenimiento de los acuíferos.

Para lograr ambos objetivos se suele recomendar el diseño de un perímetro dividido en tres zonas de protección en función de distintos criterios, los cuales habrá que establecer para cada caso.

En el desarrollo de este proyecto, la definición de los perímetros de protección de las distintas captaciones se basa fundamentalmente en **criterios hidrogeológicos**, apoyándose además, en los cálculos realizados siguiendo el **método de Wyssling**, que tiene en cuenta el tiempo de tránsito. Este método permite evaluar el tiempo que un contaminante tardaría en llegar a la

captación que se quiere proteger. Como resultado se obtiene una zonación dentro del perímetro de protección de las distintas

captaciones en tres zonas las cuales contarán con restricciones de uso tanto mayor cuanto más próximas se encuentren a las captaciones:

- Zona inmediata o de restricciones absolutas: tiempo de tránsito 1 día o área fija de 100-400 m<sup>2</sup>. Suele estar vallada.
- Zona próxima o de restricciones máximas: tiempo de tránsito 50 días. Protege de la contaminación microbiológica con criterios hidrogeológicos. En algunos estudios se ha usado el descenso del nivel piezométrico o el poder autodepurador.
- Zona alejada o de restricciones moderadas: se usa el tiempo de tránsito de varios años en función de los focos contaminantes, criterios hidrogeológicos o ambos.

La aplicación de métodos hidrogeológicos, exclusivamente, delimitaría el área de alimentación de cada captación, pero no permite su subdivisión en diferentes zonas, como sí lo posibilita el empleo de métodos que consideran el tiempo de tránsito.

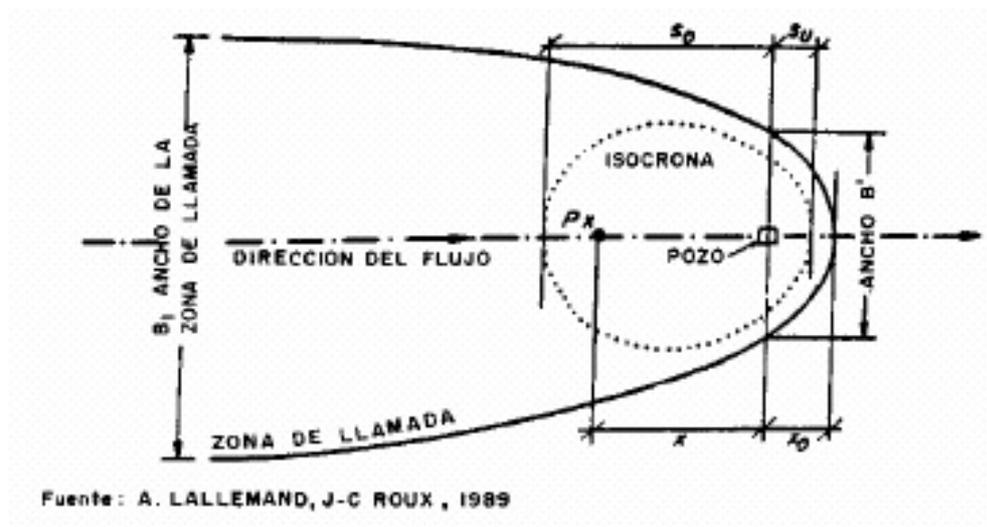
Con la combinación de ambos métodos, la definición del perímetro de protección permite asegurar que la contaminación será inactivada en el trayecto entre el punto de vertido y el lugar de extracción del agua subterránea y, al mismo tiempo, se proporciona un tiempo de reacción que permita el empleo de otras fuentes de abastecimiento alternativas, hasta que el efecto de la posible contaminación se reduce a niveles tolerables.

El método para calcular el tiempo de tránsito aplicado en este caso es el desarrollado por Wyssling, consistente en el cálculo de la zona de influencia de una captación y búsqueda posterior del tiempo de tránsito deseado (figura 11). El método es simple y supone que el acuífero se comporta como un acuífero homogéneo (este hecho puede considerarse válido en primera aproximación para una escala de detalle). Por ello en este trabajo no se considera de forma exclusiva, sino como apoyo en la definición de perímetros aplicando criterios hidrogeológicos.

La resolución del método precisa conocer las siguientes variables:

$i$  = gradiente hidráulico  
 $Q$  = caudal de bombeo ( $m^3/s$ )  
 $k$  = permeabilidad horizontal ( $m/s$ )  
 $m_e$  = porosidad eficaz  
 $b$  = espesor del acuífero ( $m$ )

A partir de estos datos se calcula el radio de influencia o de llamada ( $x_0$ ), la velocidad efectiva ( $v_e$ ) y la distancia ( $s$ ) en metros recorrida entre un punto y la captación en un determinado tiempo, o tiempo de tránsito ( $t$ ).



**Figura 11.** Método de Wyssling para el cálculo del tiempo de tránsito

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Beteta no se dispone de datos de parámetros hidráulicos. Se han considerado valores medios de origen bibliográfico, asignados de acuerdo con la información litológica e hidrogeológica existente (columnas litológicas de sondeos, reconocimientos de campo, etc.). El gradiente hidráulico se ha estimado en función de la información regional.

Beteta	
Espesor del acuífero (m)	100
Porosidad eficaz	0.002
Permeabilidad horizontal (m/día)	1
Permeabilidad horizontal (m/s)	$1.16 \times 10^{-5}$
Caudal de bombeo (l/s)	10
Caudal de bombeo (m <sup>3</sup> /s)	0.01
Gradiente hidráulico	0.005

**Tabla 8.** Parámetros utilizados para el cálculo del tiempo de tránsito según el método Wyssling

### 3.3.1 Perímetro de restricciones absolutas

Para la definición de **zona de restricciones absolutas** se propone el círculo cuyo centro es la captación a proteger y cuyo radio (sI) es la distancia que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en un día (tabla 9).

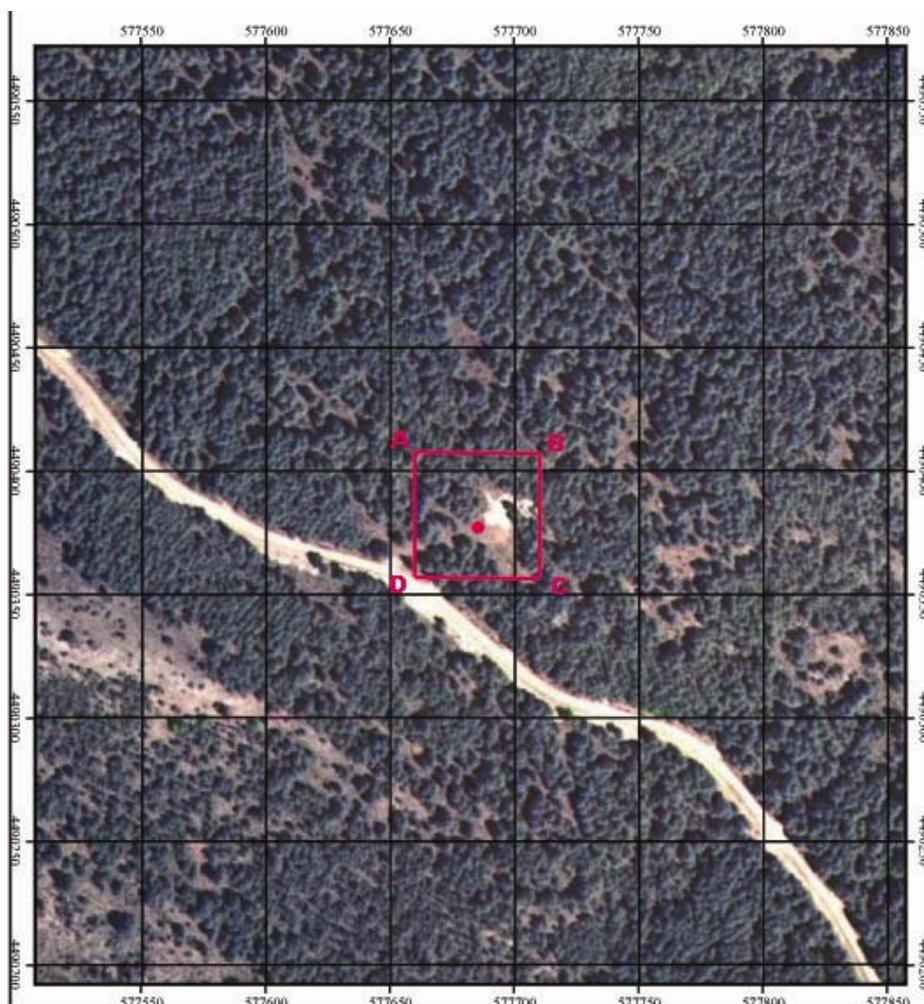
Esta zona tendrá forma circular u oval, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas. Sin embargo, se va a representar de forma cuadrangular para que resulte más fácil su manejo a la hora de definir la superficie.

Beteta	
SI aguas arriba (m)	38
SI aguas abajo (m)	36

**Tabla 9.** Valores del radio del perímetro de restricciones absolutas

Por criterios de seguridad, se considerará esta zona de radio 40 m. En ella se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación, para lo que se recomienda la construcción de una caseta que proteja el sondeo, que se valle la zona definida y se instale un drenaje perimetral.

En esta zona se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación. Las coordenadas del perímetro vallado se encuentran en la Tabla 11 y su representación cartográfica en la Figura 12.



**Figura 12.** Mapa de la propuesta del perímetro de zona inmediata y de restricciones absolutas

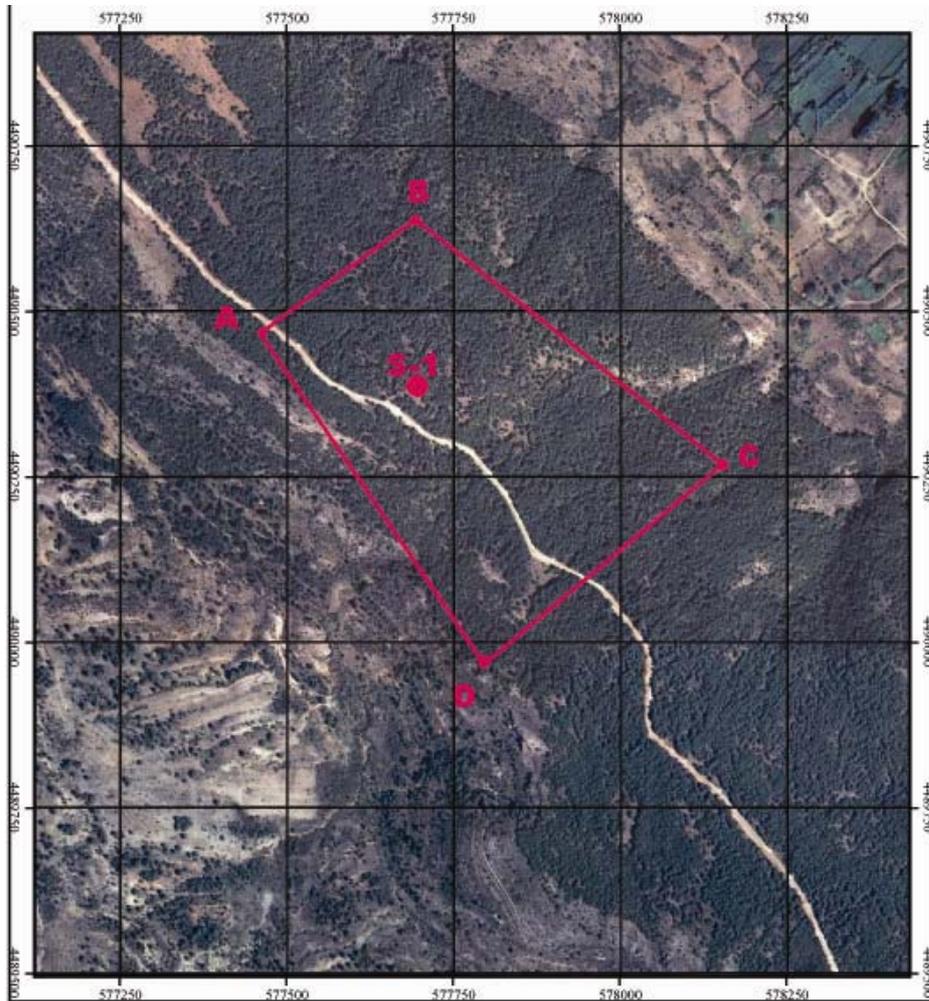
### 3.3.2 Perímetro de restricciones máximas

Para determinar **la zona de protección próxima** se considera como el espacio (sII) que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la captación en más de un día y menos de 60 días. Queda delimitada entre la zona de protección inmediata y la isocrona de 60 días (tabla 10, figura 13).

Beteta	
SII aguas arriba (m)	372
SII aguas abajo (m)	222

**Tabla 10.** Valores del radio del perímetro de restricciones máximas

Por criterios de seguridad se delimitará, como zona de restricciones máximas, una superficie de forma aproximadamente elipsoidal con el eje mayor en la dirección principal del flujo subterráneo que se extenderá 400 m aguas arriba de la captación y 250 m aguas abajo.

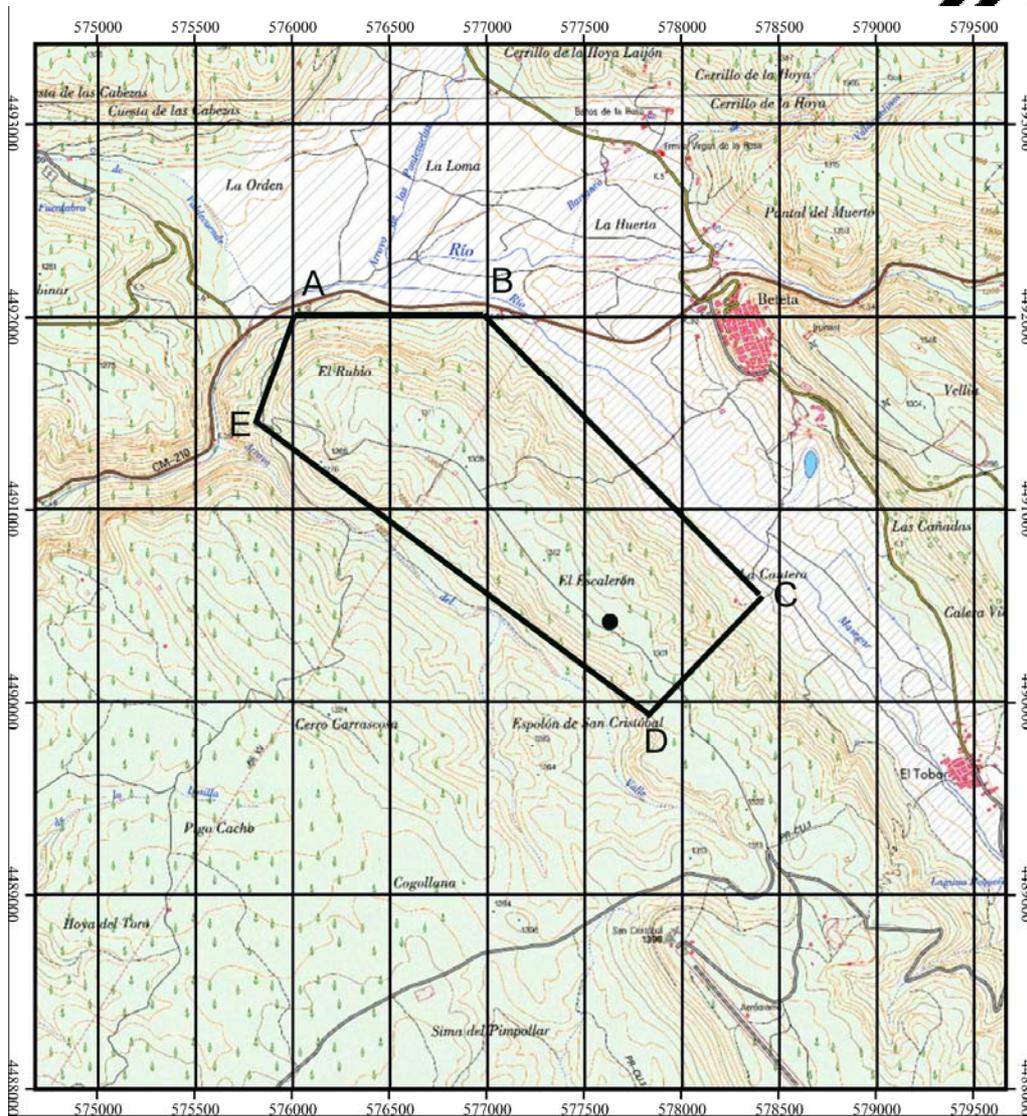


**Figura 13.** Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones máximas.

### *3.3.3 Perímetro de restricciones moderadas*

Para la realización de este perímetro se ha escogido utilizar criterios hidrogeológicos, en cuanto se ha contemplado un acuífero de reducida extensión, definido en Martínez (2004) como subacuífero de la Toba. Se delimitará, por tanto, como zona de restricciones moderadas una superficie basada en criterios hidrogeológicos, considerando que el acuífero afectado corresponde al acuífero carbonatado

cretácico y no al infrayacente jurásico. La circulación de las aguas será, presumiblemente, de NO a SE, hacia la Fuente Toba y hacia la posible continuación del acuífero bajo el cabalgamiento de materiales del Keuper que forman el valle del río Beteta; no es descartable una conexión hidráulica con el otro subacuífero, situado más al S. Las coordenadas del perímetro se recogen en la tabla 11 y su representación en la figura 14.



**Figura 14.** Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones moderadas.

### 3.3.4 Perímetro de protección de la cantidad

Se delimita un sólo perímetro de protección de la cantidad, con el apoyo de criterios hidrogeológicos, en función del grado de afección que podrían producir determinadas captaciones en los alrededores.

Para la protección del sondeo de abastecimiento a Beteta 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

T = Transmisividad = 80 m<sup>2</sup>/día

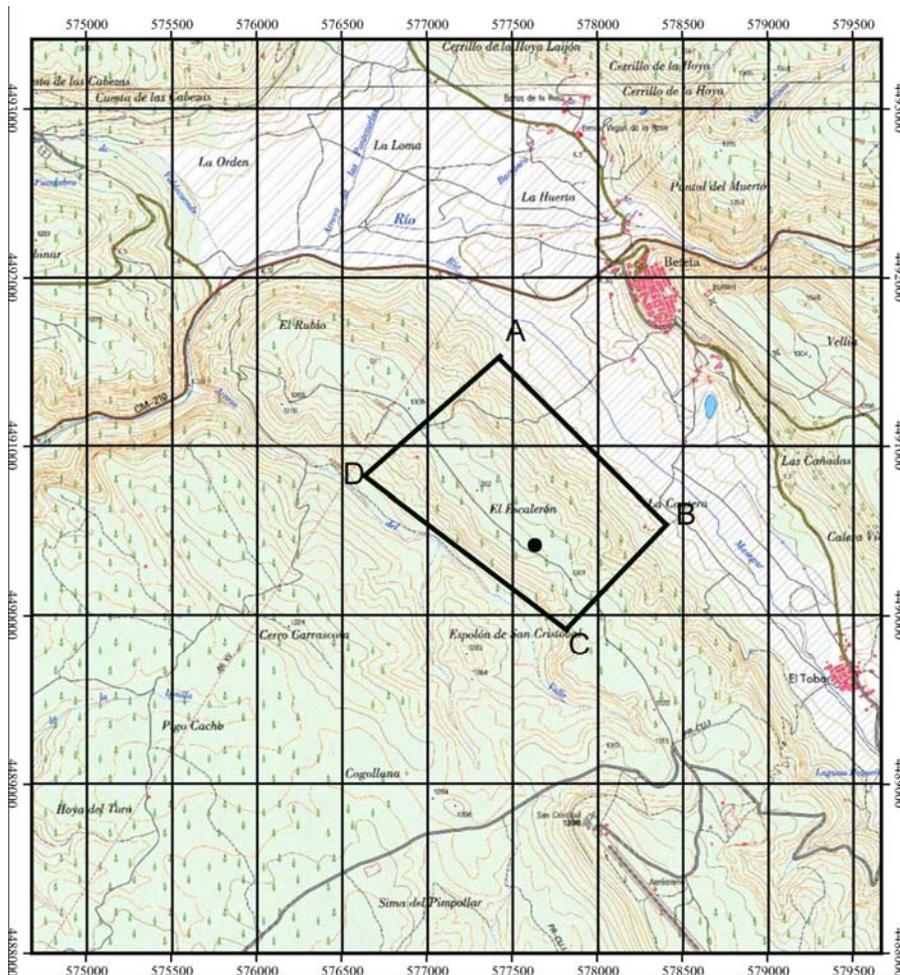
Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger: 4 l/s) = 345.6 m<sup>3</sup>/día

t = Tiempo de bombeo (generalmente 120 días)

r = Distancia al sondeo de captación (1000 m)

S = Coeficiente de almacenamiento = 0.002

Con los datos indicados se obtiene el descenso provocado por un sondeo, que explote 4 l/s (la demanda máxima estimada es del orden de 3 L/s) durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia. El descenso obtenido de 3.45 m se considera razonable, puesto que es inferior al 10% del espesor saturado de la captación a proteger (del orden de 100 m). En la Figura 15 se representa gráficamente este perímetro habiendo sido recortado en función de los materiales que abarca, ya que se considera que tanto para las arcillas de Keuper como para los carbonatados del Jurásico no habría afección por no encontrarse en esa zona el acuífero explotado por el sondeo.



**Figura 15.** Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones de caudal

En la Figura 16 se representan gráficamente las distintas zonas de protección definidas dentro del perímetro de protección de los sondeos de abastecimiento a Beteta y en la tabla 12 las actividades restringidas en cada área. En la Figura 16 se muestra el resumen cartográfico de los perímetros propuestos en el informe de EPTISA (2006). Se aprecia en los nuevos perímetros propuestos por IGME un mayor ajuste de éstos a los afloramientos en los que se ha considerado presencia de acuífero, excluyendo por ejemplo en el caso del perímetro de restricciones de caudal, los materiales arcillosos del Keuper y los materiales carbonatados del Jurásico.



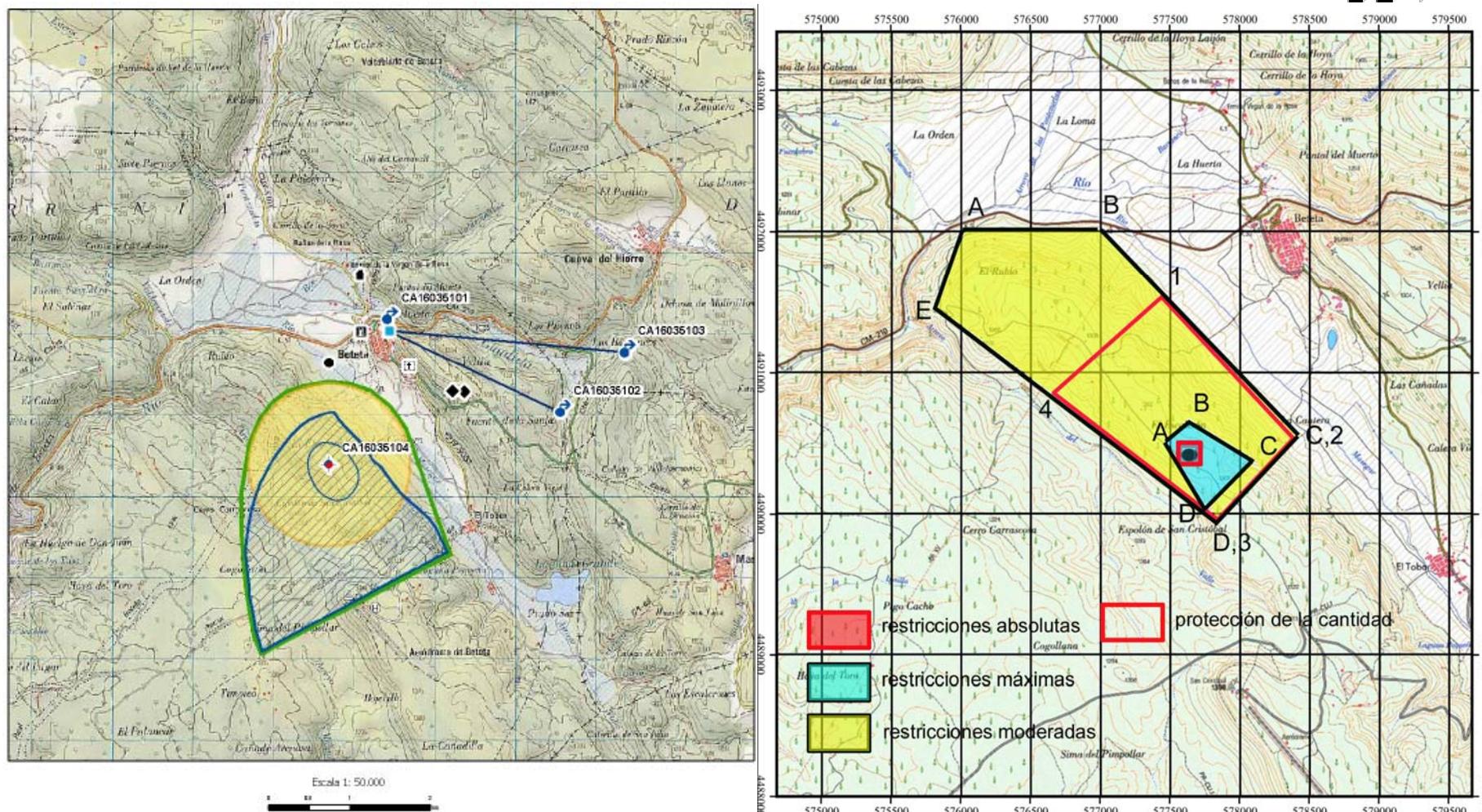


Figura.16. Resumen cartográfico de los perímetros de protección de la captación de Beteta propuestos por EPTISA (2006) y en el presente informe.

	Nº PUNTO	UTM_X	UTM_Y	Z (m s.n.m.)
<b>ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS</b>	A	577660	4490400	1310
	B	577700	4490400	1305
	C	577700	4490360	1305
	D	577660	4490360	1310
<b>ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS</b>	A	577444	4490469	1310
	B	577680	4490625	1290
	C	578186	4490323	1230
	D	577748	4489919	1260
<b>ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS</b>	A	576000	4492021	1100
	B	577000	4492021	1100
	C	578422	4490558	1100
	D	577803	4489909	1280
	E	575807	4491429	1210
<b>Zona de restricciones caudal</b>	1	577500	4491541	1100
	2	578422	4490558	1100
	3	577803	4489909	1280
	4	576647	4490810	1200

**Tabla 11.** Coordenadas UTM propuestas para los distintos perímetros de protección del Sondeo Cerro Cantera de Beteta.

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 12.

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

La zona en la que se emplaza el sondeo es agreste, sin existencia de campos de cultivo ni de ninguna actividad industrial o de vertidos aparente. Aunque no englobadas en ninguno de los perímetros propuestos, existen próximos a estas zonas bordas para guardar temporalmente el ganado por lo que se ha de contemplar actividad de pastoreo en las inmediaciones. Como recomendación, instar a los pastores que no se acerquen a la zona delimitada como de protecciones máximas.

Cualquier actividad que se pretenda llevar a cabo dentro de alguno de los perímetros descritos

deberán cumplir los requisitos expuestos en la Tabla 12. Por ejemplo, será fundamental el control de las actividades agrícolas, debiéndose prohibir el uso de fertilizantes, pesticidas y almacenamiento de estiércol. Así también las ganaderías extensivas e intensivas en las zonas de restricciones absolutas y máximas estarán prohibidas, condicionándose en la zona de restricciones moderadas a la realización de un estudio agronómico en el que se evalúe, por ejemplo, la dotación de fertilizantes más adecuada para el tipo de cultivo.

En el caso de la perforación de nuevos sondeos dentro del perímetro de protección de cantidad, éstos deberán estar supeditados a la presentación de un estudio hidrogeológico en el que se contemple la inexistencia de afección del sondeo a la captación municipal. Este control debe repetirse en el caso del perímetro de protección de la cantidad, dentro del cual, todos los sondeos precisarán de dicho estudio hidrogeológico y, si se autoriza, de un adecuado informe final de obras con ensayo de bombeo y adecuación de los sondeos para su medida periódica de niveles piezométricos. Asimismo estarán equipados de contadores para determinar que caudal se extrae.

Madrid, marzo de 2010

Los autores del informe

Fdo. Marc Martínez Parra y  
Esther Alonso Marín

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

**Foster, S & Hirata, R. (1988):** *Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.* CEPIS Tech. Report. (WHO-PAHO-CEPIS), Lima

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

**Martínez, M. (2004):** Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de Beteta (Cuenca). IGME. Informe interno.

**IGME-Diputación de Cuenca (2006):** Actualización de la situación actual de los sistemas de abastecimiento urbano de 10 municipios en la provincia de Cuenca: Beteta.