



**PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN
PARA LA CAPTACIÓN DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE A LA LOCALIDAD DE
FUENTES (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 Excma. 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: Fuentes*” 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, junto a la visita técnica realizada en marzo de 2010.

1.1.Demanda urbana

Este sistema de abastecimiento engloba únicamente al núcleo de población de Fuentes el cual no cuenta con ninguna pedanía.

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

Residente: 499

Estacional: 1000

Los datos de población residente proceden del censo de 2005 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/día, los volúmenes necesarios para satisfacer dicha demanda serían de 104.8 m³/día durante todo el año y de 210 m³/día en los meses de verano que suponen un caudal continuo de 1,2 l/s en los meses de invierno y de 2.4 l/s en los de verano. Estas dotaciones implican un volumen anual de 47717 m³.

Si tenemos en cuenta el dato de consumo total facturado de 30379 m³ (proporcionado por la Diputación de Cuenca) se obtiene el volumen consumido teóricamente es casi un 40% mayor que el volumen facturado. Si tenemos en cuenta el dato de consumo total y considerando una población anual equivalente de 622 habitantes (repartida la población estacional a lo largo de

todos los meses del año), obtenemos una dotación real de 133.7 l/hab/día, muy por debajo de la dotación teórica contemplada en los Planes Hidrológicos de Cuenca.

1.2 Sistema actual de abastecimiento

El abastecimiento de agua a la población de Fuentes se realiza mediante dos sondeos situados uno al lado del otro. Uno de ellos, el sondeo La Hontecilla funciona como captación principal, mientras que el sondeo La Hontecilla II funciona como captación de emergencia (tabla 1, figura 1).

Antiguamente el municipio se abastecía de un manantial situado en el pueblo en el que había dos bombas instaladas pero actualmente no se utiliza dicha captación.

Ambos sondeos captan el acuífero del Cretácico superior formado por las brechas calcodolomíticas del Campaniense-Santoniense y la alternancia de dolomías y margas dolomíticas del Turoniense- Coniaciense.

| Toponimia | Naturaleza | X | Y | Z | Prof. (m) | Q (L/s) |
|-------------------|------------|--------|---------|------|-----------|---------|
| Fuente del Pueblo | F-P | 583619 | 4423007 | 1020 | | |
| La Hontecilla | S | 584743 | 4422425 | 1075 | 195 | 10.5 |
| La Hontecilla II | S | 584737 | 4422424 | | 195 | 10.5 |

Tabla 1. Captaciones para abastecimiento urbano de la localidad de Fuentes. Leyenda: F-P, fuente-pozo, S-sondeo. Z cota topográfica en m s.n.m., prof.- profundidad, Q- caudal.

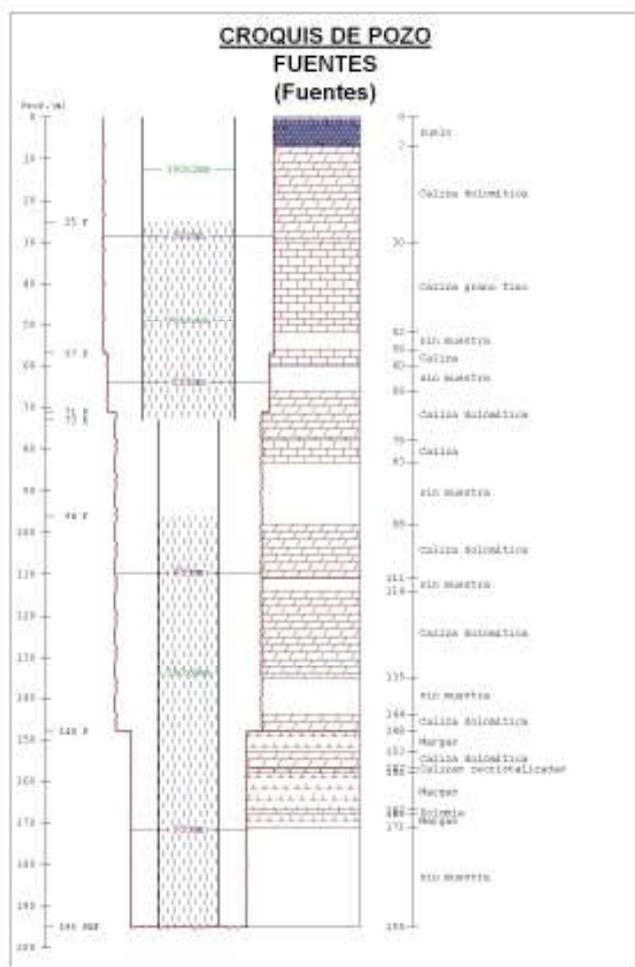


Figura .1- Perfil del sondeo Fuentes-1.

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: Fuentes” y de las observaciones realizadas en campo.

2.1.Marco geológico: estratigrafía y estructura

La zona de estudio se encuentra situada en el borde sur-occidental de la Cordillera Ibérica, al sur de la Serranía de Cuenca (figura 2).

En los alrededores de Fuentes afloran materiales del Jurásico, Cretácico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.

TRIÁSICO

El **Triásico** no aflora en esta zona, pero sí al este de la misma, por lo que se puede pensar que estos materiales se encuentran situados bajo los sedimentos del Lías, por lo menos hasta el **Keuper**, que posiblemente debe ser el responsable de las características tectónicas, sirviendo de nivel de despegue regional y pudiendo acumularse en los núcleos de los anticlinales. Su composición sería de arcillas plásticas, yesíferas y salinas, con características similares a las zonas donde aflora.

JURÁSICO

El **Jurásico** aflora en los núcleos anticlinales. Comienza por un conjunto dolomítico-calizo en el que predominan las dolomías en la base y que pasan a calizas microcristalinas a techo con intercalaciones de calcarenitas oolíticas sobre el que se aprecia un fino tramo de margas con intercalaciones calizas. Corresponde al **Lías** (Hettangiense-Toarciense).

El **Dogger** aflora como un conjunto de calizas tableadas, microcristalinas, calcareníticas e incluso oolíticas en tramos. Su espesor es de aproximadamente 60 m.

El **Malm** aflora con el Oxfordiense, compuesto por unos 20 m de margas gris-verdosas y blanquecinas, con intercalaciones de dolomías y calcarenitas. Por encima aparece el Kimmeridgiense-Portlandiense, compuesto por unos 90 m de dolomías brechoides, masivas, localmente oquerosas.

CRETÁCICO

Los afloramientos del **Cretácico** comienzan con un Cretácico inferior constituido por dos niveles en **facies Weald** separados por un tramo marino-litoral con ostreídos. El tramo

inferior tiene 5-10 m de espesor y está constituido por arcillas limolíticas y arenosas con intercalaciones de areniscas cuarzofeldespáticas y cemento calizo. El tramo intermedio está formado por unos 4-6 m de areniscas calcáreas y calizas arenosas con abundantes restos de ostreídos y alguna intercalación arcillosa. El tramo superior es un conjunto entre 6-9 m de arcillas arenosas con intercalaciones de arenas arcillosas y areniscas.

Desde el Albiense hasta el Cenomaniense inferior aflora la **Facies Utrillas** compuesta por arenas arcósicas con alguna intercalación de arcillas. Es frecuente que las arenas seas caoliníferas. El techo de la unidad está formado por una barra de 2-5 m de areniscas con cemento calizo o dolomítico. El espesor del conjunto es de unos 50 m.

El **Cenomaniense medio-superior** está caracterizado por tres tramos litológicos que son, de base a techo:

- 5-10 m de arcillas dolomíticas
- 2-9 m de dolomías nodulosas a brechoides, con alternancia de margas dolomíticas.
- 12-14 m de dolomías estratificadas en bancos de 1-2 m, a veces tableadas con intercalaciones de margas.

Por encima aflora el **Turonense-Coniaciense** constituido por una alternancia de dolomías y margas dolomíticas de 80 m de espesor máximo.

El **Santoniense** está formado por unos 100 m de brechas calcáreas y dolomíticas con alternancia de dolomías y calizas ambas estratificadas en delgados bancos. A techo presentan las “Carniolas del Cretácico superior”.

El **Campaniense** se compone de brechas calizo-dolomíticas alternando con margas dolomíticas y dolomías.

Coronando la serie del Cretácico aparece la **Facies Garumniense** de 300-750 m de espesor. Está datada como Cretácico terminal (Maastrichtiense) hasta el Eoceno. Son tres tramos bien diferenciados que de base a techo son:

- Arcillas y margas con nódulos de yeso, lentejones de dolomías carniolares, de calizas lacustres y de conglomerados calcáreos.

- Yeso y anhidrita con intercalaciones de arcillas, margas y calizas que supera los 100 m de espesor. Localmente puede sustituir al tramo inferior por cambio de facies duplicándose o triplicándose su potencia.
- Areniscas y arcillas, acentuándose el carácter detrítico hacia el techo.

TERCIARIO

Discordante sobre el **Eoceno**, se encuentra el **Oligoceno**, fundamentalmente detrítico, que aflora al borde de la Serranía. Son arenas y arcillas con delgados niveles conglomeráticos y margosos.

El **Mioceno** se encuentra discordante sobre el Paleógeno y el Mesozoico. Aparece en retazos aislados en posición horizontal formados por conglomerados de cantos calcáreos mesozoicos que pasan lateralmente a areniscas de grano grueso entre los que aparecen pasadas irregulares de arcillas y limos.

CUATERNARIO

El Cuaternario aparece como aluviones asociados al río Moscas, coluviones, terrazas en la margen derecha de río Moscas, de espesores de hasta 5 m, constituidos por arcillas, arenas y gravas. También aparecen tobas calcáreas, y en los depósitos carbonatados cretácicos arcillas de descalcificación que rellenan torcas y poljes.

Tectónica

La tectónica de la zona se caracteriza por el predominio de estructuras de plegamiento en dirección NO-SE, ONO-ESE y NNO-SSE.

Entre estos plegamientos cabe destacar el Sinclinal de Fuentes, con un núcleo constituido por materiales del Eoceno, Paleoceno y Maastrichtiense (Facies Garumniense) cubierto ligeramente por materiales oligocenos. Tiene orientación NO-SE en su mitad septentrional y

hacia el sur pasa a tener una orientación ONO-ESE. Es un pliegue asimétrico mucho más desarrollado en su flanco oriental al aumentar las facies del Garumniense en ese sentido. Las series del Cretácico superior se encuentran buzando suavemente hacia el oeste y acaban flexionándose y hundiéndose bajo el Maestrichtiense y la cuenca terciaria. La disposición del valle del río Moscas, afectando el flanco oriental del sinclinal, parece indicar la posible existencia de alguna discontinuidad mecánica, orientada NNO-SSE. (figura 3).

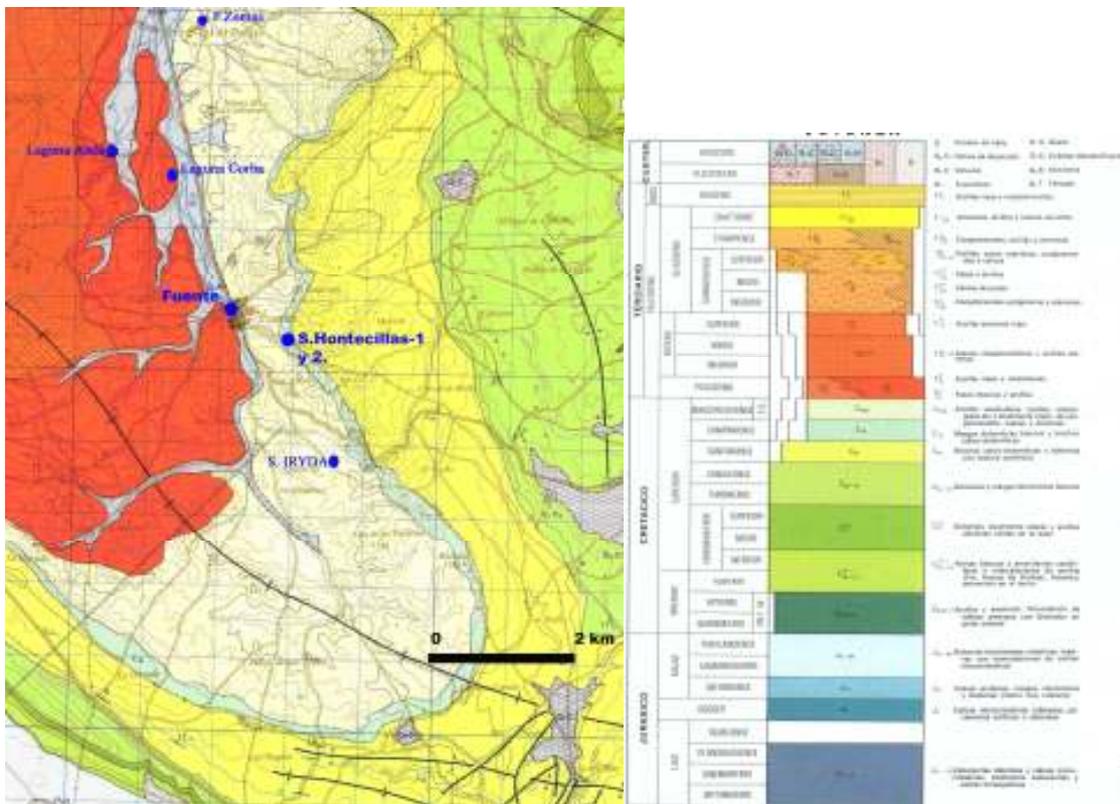


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio y ubicación de las captaciones.

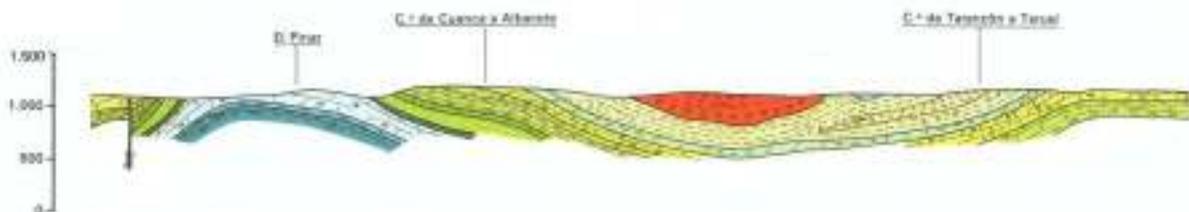


Figura 3. Corte geológico del área de estudio

2.2. Hidrogeología regional

Regionalmente, la zona estudiada se encuentra dentro de la m.a.s. 080.118 “Cretácico de Cuenca Norte” que correspondería a una parte de la anterior U.H. 08.17 “Serranía de Cuenca”. Hidrogeológicamente, según IGME-CHJ (1992) este acuífero está constituido principalmente por rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico, con una potencia de hasta 350 m, siendo su permeabilidad en general alta. También existen formaciones acuíferas detriticas asociadas a los depósitos mesozoicos y terciarios, tanto en el núcleo del anticlinorio que forma la Serranía de Cuenca, como en las depresiones que se desarrollan en sus estribaciones. Los niveles piezométricos se encuentran entre 600-900 m s.n.m. El flujo principal es E-O y N-S con una entrada de agua de 94 Hm³/a, proveniente de la infiltración de la lluvia, y se utiliza principalmente para abastecimiento urbano, como en el caso de la ciudad de Cuenca.

La facies hidroquímica principal de este sistema acuífero es bicarbonatada cálcica, con una conductividad media inferior a 600 mg/L y bajo contenido en nitratos..

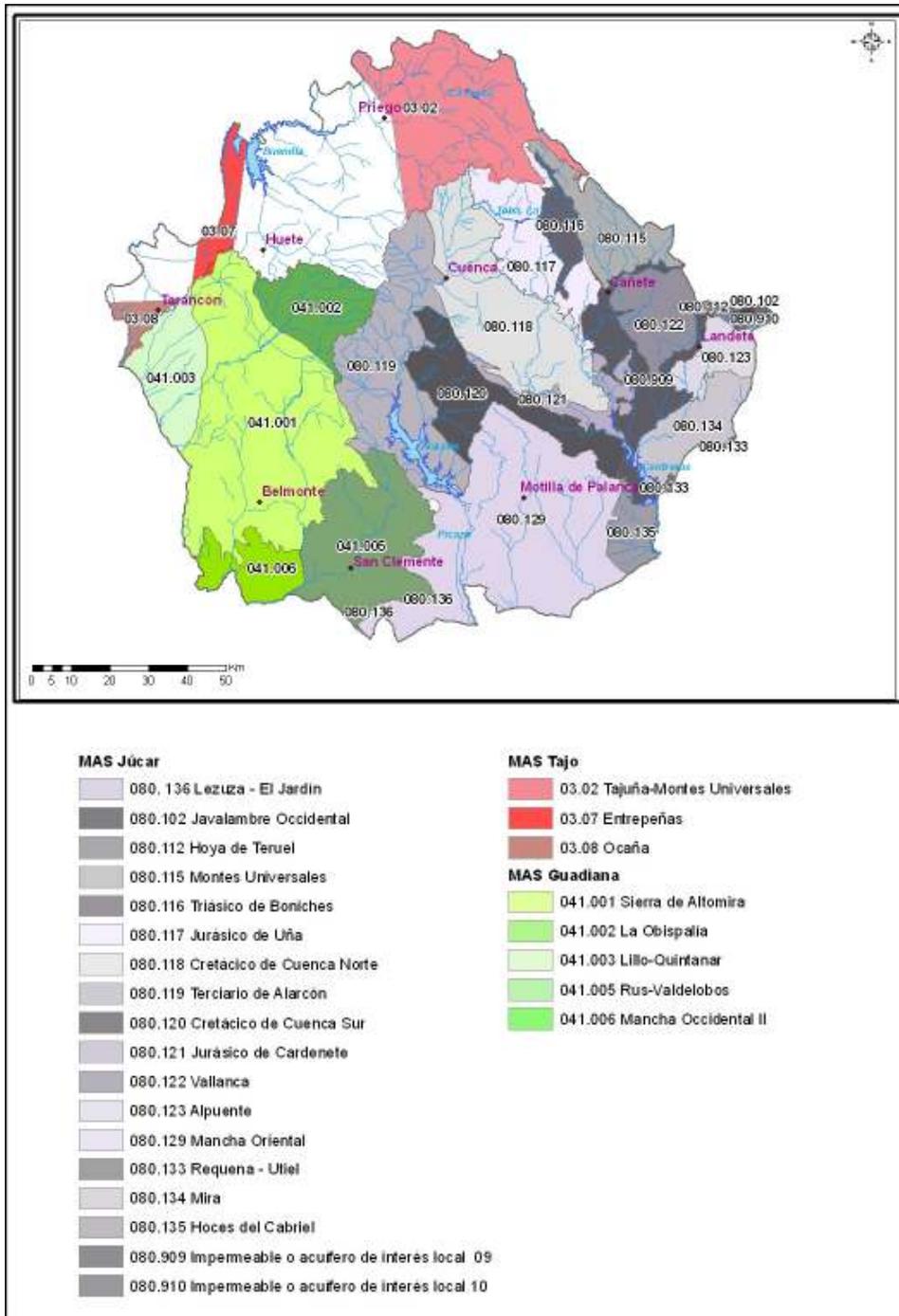


Figura 4 :- Cuenca hidrográfica del Júcar con las delimitaciones de la de la m.a.s. 080.118. “Cretácico de Cuenca Norte”.

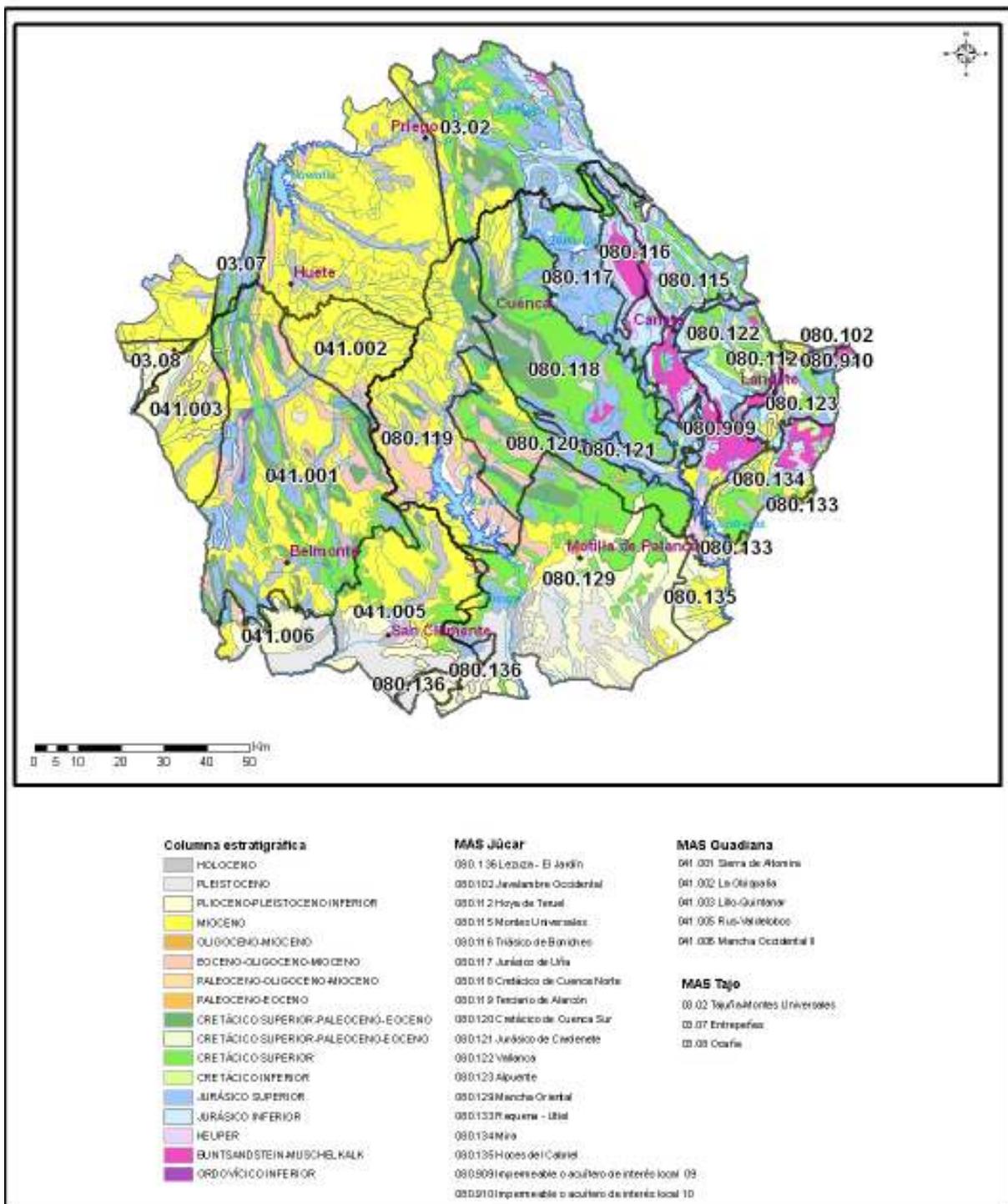


Figura 5 :- Geología de la provincia de Cuenca con las delimitaciones de la m.a.s. 080.118. "Cretácico de Cuenca Norte".

2.3 Hidrogeología local: formaciones acuíferas

En la zona estudiada los acuíferos que se definen, son, de base a techo .:

-Carbonatos cretácicos- constituyen la base del sinclinal y los relieves del sinclinal de Fuentes. A ellos se asocian las captaciones de abastecimiento.

-Yesos, calizas y margas del tránsito cretácico-terciario. Son las formaciones acuíferas en las que se sitúan los complejos lagunares del río Moscas

El Acuífero carbonatado- yesífero (Garumniense) está constituido por las formaciones calizas, margosas y yesíferas del tránsito Cretácico-Terciario, denominada también Facies Garumniense, con un espesor en el centro del sinclinal que supera los 400 m. Estos materiales están en pleno proceso de karstificación, adquiriendo una gran importancia en el desarrollo en los flancos aflorantes; así el complejo lagunar del río Moscas se desarrolla en el flanco oriental del sinclinal de Fuentes y el complejo lagunar de Arcas-Ballesteros en la conexión con el eje anticlinal en el flanco occidental (figura 2)

Dicha karstificación es continua en el tiempo; históricamente se han producido hundimientos o colapsos repentinos, generándose dolinas-lago, así, en febrero de 2009 se produjo una nueva dolina en el río Moscas.

Se puede definir en superficie dos funcionamientos posiblemente independientes del sistema yesífero kárstico, y asociado a los cursos fluviales existentes: el complejo de las Lagunas de Los Cedazos están asociadas al río San Martín, al que se conducen los drenajes de las lagunas; en la campaña realizada en julio de 2009 se ha observado una aportación de 69 L/s; mientras que el complejo lagunar de Fuentes está asociado al río Moscas. La diferencia de cotas piezométricas entre ambos flancos es notable, así el área de Arcas oscila entre 940-915 m s.n.m. mientras que en el complejo lagunar de

Fuentes se halla entre 970-980 m s.n.m.

En detalle (Martínez et al, 2010) estos materiales del tránsito se han investigado escasamente, geológica e hidrogeológicamente. Se pueden definir:

-acuífero superficial: asociado a las formaciones margo-yesíferas y a las alternancia con horizontes calizos. En general están asociadas a este acuífero las lagunas de ambos complejos lagunares. Asimismo se captan pozos de gran diámetro y escasa profundidad. Ello se observa en el valle del río Moscas, donde existen varios pozos de profundidades inferiores a 10 m y niveles piezométricos muy someros.

-acuífero profundo: formaciones carbonatadas y yesíferas masivas. Su karstificación puede ocasionar el hundimiento y formación de las dolinas que originan las lagunas. En el sondeo de Villar el Saz de Arcas se atravesaron, bajo el conjunto margoso-yesífero, un nivel más calizo-yesífero, confinado, con un caudal superior y una cota de 1040 m s.n.m.

Hidroquímicamente se han estudiado las aguas asociadas a las lagunas de ambos complejos lagunares. Según Martínez et al (2010) las aguas muestran una facies sulfatada cálcica con una mineralización elevada, en torno a 1300-3300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un contenido en sulfatos ente 850-1580 mg/L.

El Acuífero carbonatado cretácico (Martínez et al, 2010) está limitado al N por el eje anticlinal que define la Sierra de la Pila, al E el río Guadazaón y al S por otro anticlinal que configura relieves, al N contactaría mecánicamente con la depresión Intermedia, por una fractura de define el río Júcar. Su estructura es la de un sinclinal, aflorando principalmente en el extremo oriental, estando cubierto por sedimentos terciarios desde el tránsito cretácio-terciario.

La circulación del flujo es principalmente de SE a NO, hacia el Júcar, aunque en la

parte oriental, también existe una circulación hacia las fuentes de Reillo. En el primer caso, las

cotas piezométricas se encuentran entre 880-1000 m s.n.m.

El acuífero carbonatado con comportamiento libre presenta transmisividades elevadas (1200-5000 m²/día). Sin embargo, cuando se encuentra confinado descienden (300 m²/día). El techo impermeable del acuífero lo constituyen las margas campanienses, aunque estas en ocasiones están ausentes por erosión y entran en contacto con los yesos garumnienses. Así puede existir una comunicación con el acuífero yesífero, con una alimentación del cretácico al mismo.

En la captación de abastecimiento se observa un descenso del mismo en los años 80 del siglo pasado, de 10 m, hasta quedarse a una profundidad de 42 m, oscilando hasta marzo de 2009 entre 51 m y 41 m de profundidad o unas cotas piezométricas de 1021-1031 m s.n.m (tabla 2).

| Denominación | Z (m s.n.m.) | P(m) | PNP (m) | Q (L/s) |
|-------------------|--------------|------|--|---------|
| La Hontecilla 1 | 1075 | 195 | 21.28 (10/78) 22.67 (7/80) 42.24 (12/81) 41.87 (3/82) 51.59 (1/95) 42.68 (9/02) 49.9 (10/07) 40.84 (3/09) | 100 |
| La Hontecilla 2 | 1075 | 195 | | |
| S. Fuentes IRYDA | 1010 | | 37.2 (12/81) 36.12 (3/82) 36.1 (10/09) | |
| Nacimiento Moscas | 1000 | | 3 (3/82) 100 (10/78) 50 (3/91) 100 (4/03) 0 0 135 (7/09) | 150 |
| F. Zomas | 980 | | 0.75 (10/78) 0.3 (3/91) 0 (8/09) 0 (10/09) | |

Tabla 2.- Inventario de puntos de agua del área de estudio (Leyenda: PNP- profundidad del nivel piezométrico, Z- cota piezométrica, P- profundidad, Q- caudal).

El nacimiento del río Moscas, a una cota topográfica de 1000 m s.n.m., puede estar asociado a algún fenómeno tectónico que favorezca la surgencia y que ponga en

contacto las aguas de este acuífero con las de las formaciones del acuífero garumniense.

Hidroquímicamente se advierten dos tipos de aguas, predominando las aguas de facies bicarbonatada cálcica, generalmente asociadas a las captaciones que afectan al acuífero donde éste se encuentra aflorante, y que corresponderían a las aguas de los sondeos de abastecimiento

de Fuentes y una facies sulfatada cálcica o mixta, coincidiendo con las captaciones que extraen las aguas de las formaciones confinadas y que pueden tener presencia de yesos, como es el caso del nacimiento del río Moscas.

Según los análisis realizados en la captación en octubre de 2007 (tabla 3), las aguas del sondeo son bicarbonatadas cálcicas, con una conductividad de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aproximadamente, y un contenido en nitratos de 16 mg/L.

| | Cl | SO4 | HCO3 | NO3 | Na | Mg | Ca | K | Cond |
|---------------|----|-----|------|-----|----|----|----|---|------|
| Hontecillas-1 | 1 | 4 | 232 | 16 | 0 | 14 | 62 | 0 | 418 |

Tabla 3.- Análisis físico-químicos de las aguas del sondeo Hontecillas-1 (quimismo en mg/L, conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

3. PROPUESTA DE PERIMETRO DE PROTECCIÓN

3.1 Inventario de potenciales focos de contaminación.

Según el informe elaborado por EPTISA, se han localizado cinco focos potenciales de contaminación en las inmediaciones de las captaciones que podrían estar influyendo negativamente en la calidad del agua de las mismas (tabla 4, figura 6).

| <i>Naturaleza</i> | <i>Tipo</i> | <i>Contaminante potencial</i> |
|---|-------------------------|---|
| Escombrera incontrolada | Puntual no conservativo | Variado |
| Redil de ganado | Puntual no conservativo | Nitratos, fosfatos y potasio |
| Punto de vertido de aguas residuales sin tratamiento previo | Puntual no conservativo | Materia orgánica, contaminación bacteriológica, aceites y grasas, detergentes, etc. |
| | | |
| Tierras de cultivo de cereal y pipa | Areal no conservativo | Nitratos, fosfatos y potasio |

Tabla 4. Potenciales focos de contaminación en el entorno de Fuentes

Los puntos de vertido de aguas residuales urbanas, las tierras de cultivo, la escombrera incontrolada se encuentran sobre formaciones suprayacentes al acuífero carbonatado y alejados de las captaciones. En el caso del redil de ganado, este si se encuentra próximo a los sondeos, a unos 50 m, con lo cual es un foco potencial.



Figura 6. Mapa con la ubicación de los potenciales focos de contaminación de Fuentes

3.2 Estimación de la vulnerabilidad

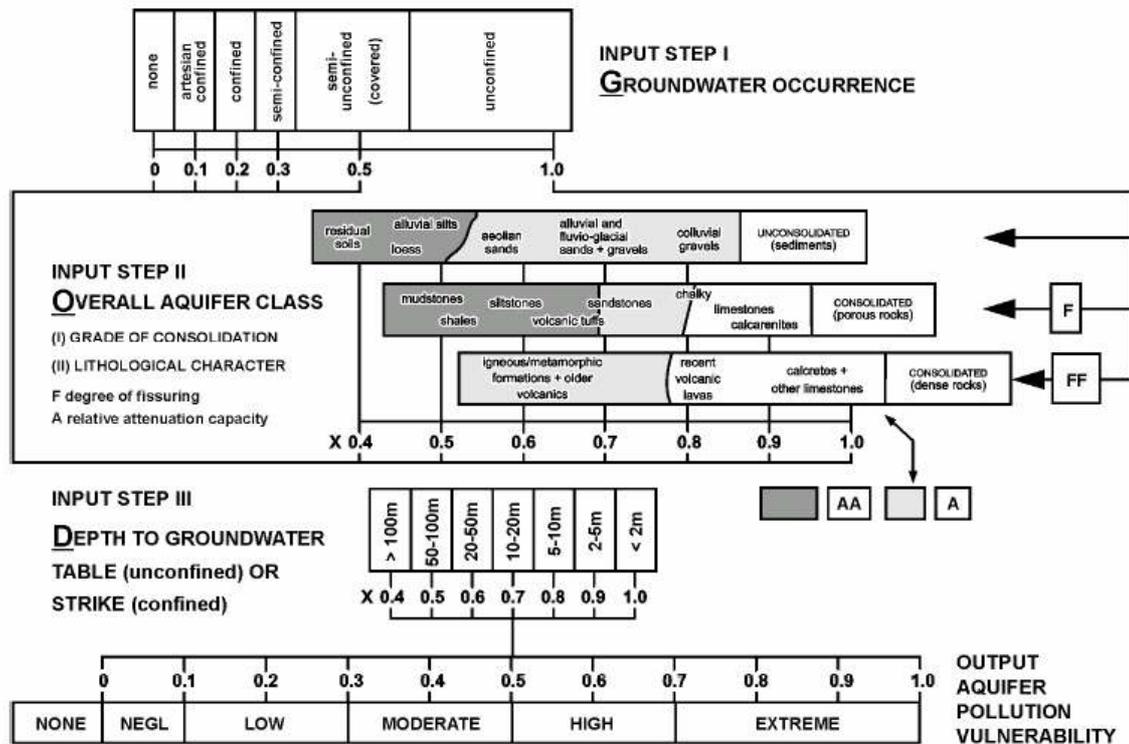
Una de las metodologías más adecuadas para la determinación de la vulnerabilidad es la realización de una cartografía de vulnerabilidad. Para su realización existen distintos métodos, como el método GOD utilizado en el presente estudio. Este método propuesto por Foster (1987) se basa en la asignación 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 7 (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 7. Esquema de la valoración del índice GOD.

Los sondeos afectan a toda la serie carbonatada del Cretácico Superior del flanco oriental del sinclinal de Fuentes. Esta serie es confinada por los materiales arcillosos y yesíferos del tránsito Cretácico-Terciario, por lo que en esta zona el valor otorgado al parámetro G (naturaleza del acuífero) es $G = 0,2$. En las celdas en las que aflora la serie carbonatada, el acuífero es de naturaleza libre y por tanto obtienen el valor de $G = 1$. Las celdas en las que afloran las arenas y arcillas de las Facies Utrillas se consideran con un valor nulo de $G = 0$, al no estar presentes en ellas los materiales acuíferos.

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 $O = 0,9$. Si por encima del acuífero se suceden materiales arcilloso-yesíferos, este valor disminuirá hasta $O = 0,5$.

Los datos que se disponen sitúan el nivel piezométrico a una profundidad en 2007 de 49,5 m, dato que se ha tomado de referencia para todas las celdas en las que aflora la serie carbonatada, otorgándoles un valor de $D = 0,6$. Las celdas con las facies Garum aflorando o los terciarios, reciben un valor de $D = 0,4$.

La cartografía de vulnerabilidad obtenida (figura 8) muestra tres zonas claramente diferenciadas en función de los materiales aflorantes. La zona más occidental cubierta por los materiales arcillosos y yesíferos del Terciario obtiene una vulnerabilidad insignificante mientras que en toda la zona donde aflora la serie carbonatada del Cretácico, la vulnerabilidad es alta. Los materiales de las Facies Utrillas ubicados en el extremo nororiental del mapa se encuentran estratigráficamente por debajo de los materiales acuíferos, que al estar ausentes otorgan una vulnerabilidad nula a esa zona.

Todos los focos de contaminación puntual se encuentran sobre el terreno con vulnerabilidad insignificante.

3.3. Perímetro de protección de las captaciones

Para la elaboración de este apartado se han utilizado los mismos criterios que los utilizados para el mencionado estudio realizado por EPTISA para el IGME/Diputación de Cuenca en el año 2007.

La delimitación de zonas de protección de las captaciones para abastecimiento urbano se viene revelando como práctica fundamental para asegurar tanto la calidad del agua suministrada a la población como la gestión sostenible del recurso agua.

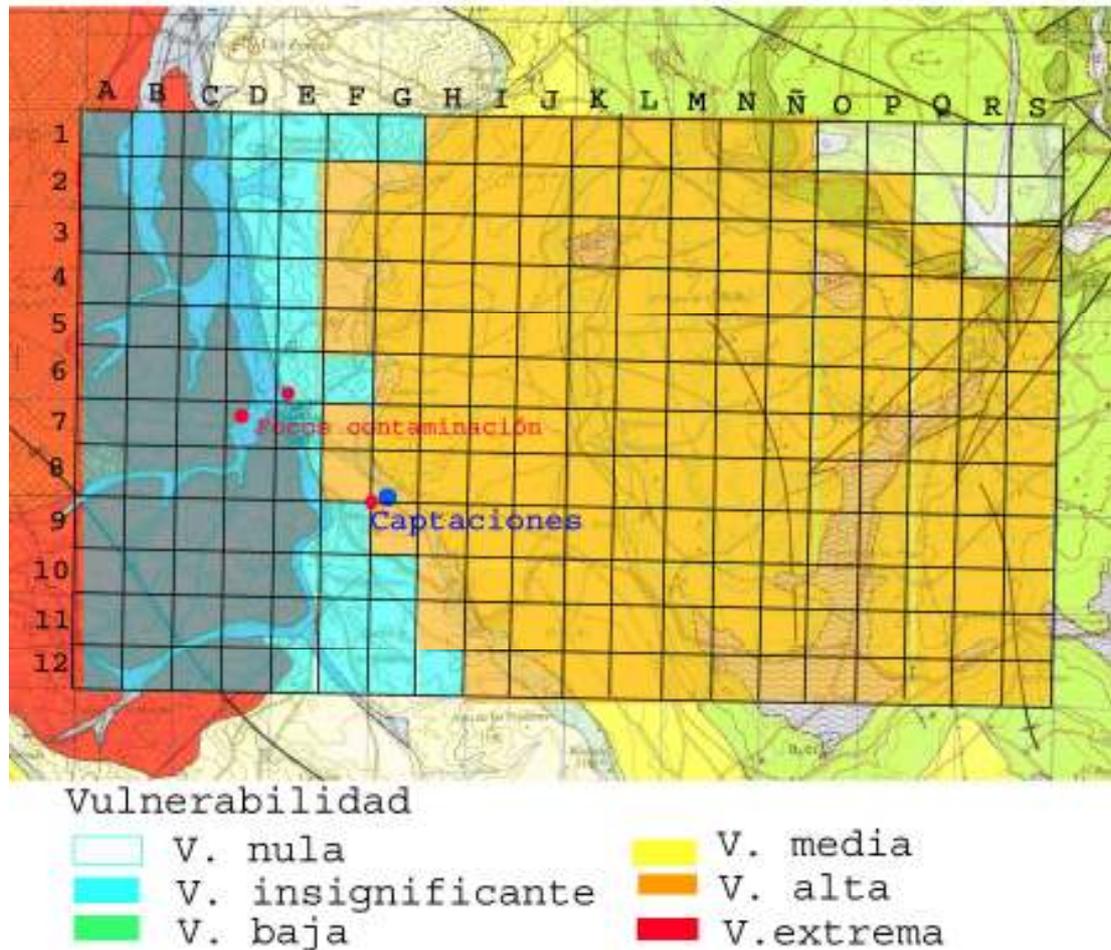


Figura 8. Cartografía de vulnerabilidad empleando el método GOD y ubicación de los potenciales focos de contaminación.

En el presente documento se proponen los perímetros de protección en torno a las captaciones utilizadas para el abastecimiento de Fuentes, 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 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.

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

Con la combinación de ambos métodos, la definición del perímetro de protección permite asegurar que la contaminación será inactivada en el trayecto entre el punto

de vertido y el lugar de extracción del agua subterránea y, al mismo tiempo, se proporciona un tiempo de reacción que permita el empleo de otras fuentes de abastecimiento alternativas, hasta que el efecto de la posible contaminación se reduce a niveles tolerables.

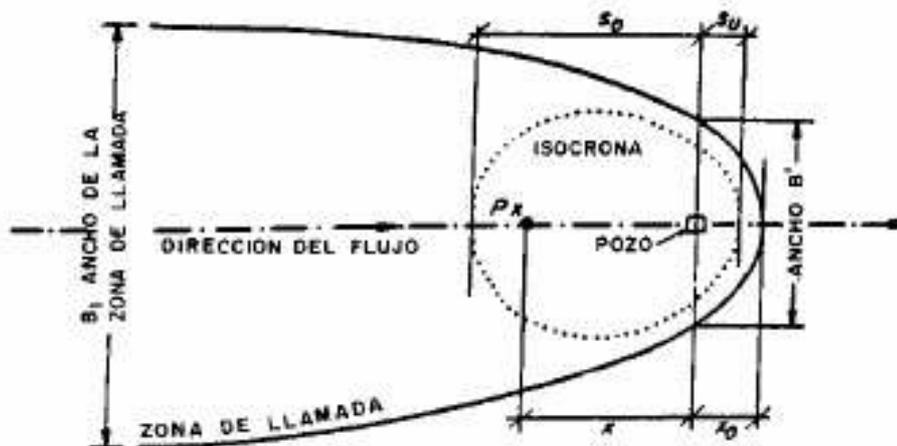
El método para calcular el tiempo de tránsito aplicado en este caso es el desarrollado por Wyssling, consistente en el cálculo de la zona de influencia de una captación y búsqueda posterior del tiempo de tránsito deseado. El método es simple y supone que el acuífero se

comporta como un acuífero homogéneo (este hecho puede considerarse válido en primera aproximación para una escala de detalle). Por ello en este trabajo no se considera de forma exclusiva, sino como apoyo en la definición de perímetros aplicando criterios hidrogeológicos.

La resolución del método precisa conocer las siguientes variables:

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

A partir de estos datos se calcula el radio de influencia o de llamada (x_0), la velocidad efectiva (v_e) y la distancia (s) en metros recorrida entre un punto y la captación en un determinado tiempo, o tiempo de tránsito (t). (figura 9).



Fuente: A. LALLEMAND, J-C ROUX, 1989

Figura 9. Método de Wyssling para el cálculo del tiempo de tránsito

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Fuentes 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. (tabla 4).

| Fuentes | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Espesor del acuífero (m) | 150 |
| Porosidad eficaz | 0.002 |
| Permeabilidad horizontal (m/día) | 1 |
| Permeabilidad horizontal (m/s) | 1.16×10^{-5} |
| Caudal de bombeo (l/s) | 10.5 |
| Caudal de bombeo (m ³ /s) | 0.010 |
| Gradiente hidráulico | 0.005 |

Tabla 4. Parámetros utilizados para el cálculo del tiempo de tránsito según el método Wyssling.

3.3.1 Perímetro de restricciones absolutas

Para la definición de **zona de restricciones absolutas** se propone el vallado de las dos captaciones, mediante vallado de ambas captaciones con una zona rectangular las coordenadas de una zona rectangular que englobe a ambas de aproximadamente

100 m de lado. Esta área de protección cruza el camino por lo que este se deberá desplazar hacia unos metros.

Por lo demás, 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 8.

Además, para proteger la boca del sondeo y captaciones y sus proximidades se recomienda el cierre de la cabeza de la tubería del sondeo y la instalación de un drenaje perimetral: suave cono con una inclinación para la circulación de agua, con un diámetro de unos 2 m y aislamiento del exterior.



Figura 10. 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 5), figura 11).

| Fuentes | |
|----------------------|-----|
| SII aguas arriba (m) | 327 |
| SII aguas abajo (m) | 177 |

Tabla 5. 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 350 m aguas arriba de la captación y 200 m aguas abajo. Para facilitar su gestión, dicha elipsoide se ha adaptado a un rectángulo (figura 11), cuyas coordenadas se recogen en la tabla 7.

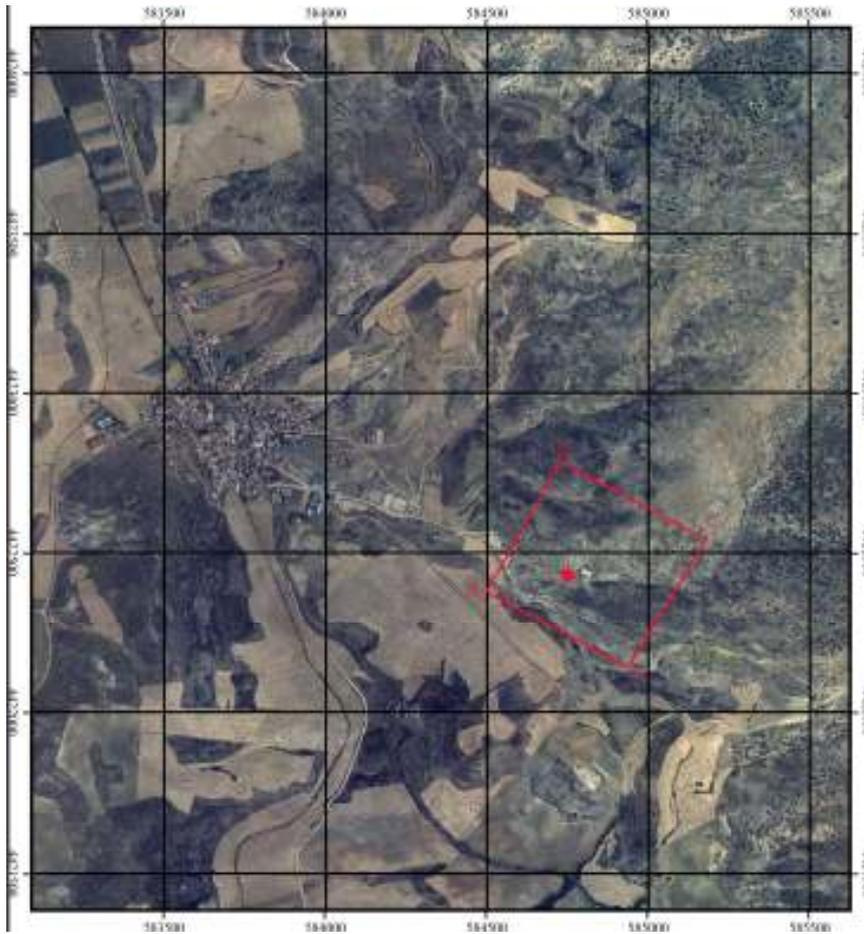


Figura 11. Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones máximas.

3.3.3 Perímetro de restricciones moderadas

La zona de restricciones moderadas limita el área comprendida entre la zona de protección próxima (radio sII) y la isocrona de 10 años (radio sIII). Cuando el límite de la zona de alimentación del sondeo esté a una distancia menor que la citada isocrona, el límite de la zona lejana coincidirá con el límite de la zona de alimentación.(tabla 6).

| Fuentes | |
|-----------------------|------|
| SIII aguas arriba (m) | 9495 |
| SIII aguas abajo (m) | 370 |

Tabla 6. Valores del radio del perímetro de restricciones moderadas representar el perímetro en una figura independiente, tipo topografía, del SIGPAC.

A su vez, el área definida por Wyssling quedará limitada por criterios hidrogeológicos, como cambios de litología o divisorias de agua subterránea, obteniendo el resultado reflejado en la figura 12, cuyas coordenadas se recogen en la tabla 7.



Figura 12.- Propuesta de perímetro 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 Fuentes 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 = 150 m²/día

Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger: 10.5 l/s) = 907 m³/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 10.5 l/s durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia. El descenso obtenido de 1.45 m se considera razonable, puesto que es inferior al 10% del espesor saturado de la captación a proteger (del orden de 150 m). Su representación se ha realizado adaptando el radio a una figura poligonal para facilitar su gestión (tabla 7, figura 13). En la misma se contempla la posibilidad de protección del acuífero, aunque este se encuentre confinado, en cuanto a implantación de otras captaciones.



Figura 13- Perímetro de protección de la cantidad.

En la Figura 14 se representan gráficamente las distintas áreas de protección definidas por EPTISA en 2007 y las propuestas en el presente informe, aplicando las diversas modificaciones para mejorar su gestión.

| | Nº PUNTO | UTM_X | UTM_Y | Z (m s.n.m.) |
|--|----------|---------|---------|--------------|
| ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS | A | 584732 | 4422427 | 995 |
| | B | 584750 | 4422425 | 995 |
| | C | 584750 | 4422417 | 995 |
| | D | 564732 | 4422422 | 995 |
| ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS | A | 584500 | 4422400 | 1020 |
| | B | 584750 | 4422790 | 1100 |
| | C | 585220 | 4422535 | 1100 |
| | D | 584970 | 4422120 | 1040 |
| ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS | A | 585482 | 4427974 | 1080 |
| | B | 588891 | 4427533 | 1190 |
| | C | 588202 | 4426718 | 1165 |
| | D | 588323 | 4425433 | 1125 |
| | E | 592156 | 4423837 | 1160 |
| | F | 591604 | 4421021 | 1115 |
| | G | 590300 | 4420937 | 1124 |
| | H | 590693 | 4418353 | 1178 |
| | I | 589553 | 4418761 | 1132 |
| | J | 585249 | 4421149 | 1080 |
| | K | 584029 | 4422680 | 1020 |
| | L | 584511 | 4423488 | 1120 |
| | M | 584073 | 4423500 | 1123 |
| | N | 584142 | 4424952 | 1040 |
| | O | 585506 | 4426472 | 1248 |
| ZONA DE PROTECCION DE LA CANTIDAD | A | 5884000 | 4423500 | 1120 |
| | B | 585000 | 4423500 | 1160 |
| | C | 586000 | 4423000 | 1160 |
| | D | 586000 | 4422000 | 1150 |
| | E | 585000 | 4421600 | 1100 |
| | F | 584000 | 442160 | 1020 |
| | G | 584000 | 4422000 | 1060 |
| | H | 583500 | 4423000 | 1000 |

Tabla 7. Coordenadas UTM propuestas para los distintos perímetros de protección de los sondeos de abastecimiento a Fuentes.

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

| | 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 astircol | • | • | | | | • | |
| | Vertido de restos de animales | • | • | | | | • | |
| | Ganadería intensiva | • | • | | | | • | |
| | Ganadería extensiva | • | • | | | | | • |
| | Almacenamiento de materias fermentables para alimentación del ganado | • | • | | | | • | |
| ACTIVIDADES URBANAS | Albercades y refugios de ganado | • | • | | | | • | |
| | Silos | • | • | | | | • | |
| | 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 | • | • | | | | • | |
| ACTIVIDADES INDUSTRIALES | Vertido de residuos sólidos urbanos | • | • | | | | • | |
| | 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 sondas | • | • | | | | • | |
| | Condensaciones de líquido industrial | • | • | | | | • | |
| | Condensaciones de hidrocarburos | • | • | | | | • | |
| OTRAS | Apertura y explotación de canteras | • | • | | | | | • |
| | Receso de canteras o excavaciones | • | • | | | | | • |
| | Campings | • | • | | | | | • |
| OTRAS | 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 prohibidas dentro del perímetro de protección.

Aunque la zona de estudio y los perímetros calculados para ella abarcan una zona en general agreste, sí existen algunos campos de cultivo y alguna granja las cuales tendrían que estar sujetas a un control al estar incluidas en un área de vulnerabilidad alta y dentro del perímetro de restricciones máximas y moderadas. Así también, todo

tipo de vertidos, actividades industriales, uso de pesticidas y ganadería intensiva quedarían prohibidas. El uso de fertilizantes y herbicidas estarán condicionados a un estudio técnico sobre su posible afección al acuífero. En el caso de apertura de canteras, ésta quedaría prohibida en el área de restricciones máximas y apertura condicionada en el caso de la zona de restricciones moderadas.

En el caso de perforación de sondeos, 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

Fdo. Marc Martínez Parra
Esther Alonso Marín

4. BIBLIOGRAFÍA

CHJ (2005): Delimitación y caracterización de los acuíferos en las masas de agua subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

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.

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

Martínez-Parra M, De la Hera A, López-Pamo E, Moreno MJ, Montero E, Santofimia E (2010) Geomorphological characteristics of the karst-related lakes in gypsum in the Arcas and river Moscas Lake complexes (Cuenca province). B.Andreo et al (eds.)Advances in research in karst media. pp361-365.