



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

Diciembre 2009

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 focos potenciales 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 octubre de 2006 se redactó “Actualización de la situación actual de los sistemas de abastecimiento urbano de 10 municipios de la provincia de Cuenca: Horcajo de Santiago” 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.

1.1. Demanda urbana

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

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

Residente: 3679

Estacional: 5000

Los datos de población residente proceden del censo de 2004 mientras que los datos de población estacional proceden de la Encuesta Sobre Infraestructuras y Equipamiento Local (EIEL) de 2000 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 736 m³/d durante todo el año y de 1000 m³/d en los meses de verano. Estas dotaciones implican un volumen anual de 292345 m³ aunque el volumen facturado real es de 308.000 m³ en el año 2004.

La falta de contadores en la captación existente en el sistema de abastecimiento o en los depósitos de regulación, hace que no sea posible conocer con detalle el volumen captado y por lo tanto determinar las posibilidades reales de explotación. Según la información aportada por el encargado de las instalaciones, el caudal de explotación total es de 36 l/s (dos bombas funcionando a 18 l/s cada una) y se explota alrededor de 16 horas en invierno y 20 en verano. Esto supone un volumen diario de unos 2.074 m³/día, aumentando en los meses de verano hasta

los 2.592 m³/día. Esto implica un volumen anual de captación de 803.630 m³, muy superior al volumen facturado (308.000 m³ en el año 2.004) y al volumen anual teórico (292.345 m³).

Si tenemos en cuenta el dato de consumo total y considerando una población anual equivalente de 4005 habitantes (repartida la población estacional a lo largo de todos los meses del año), obtenemos una dotación real de 211 l/hab/día, ligeramente por encima de la dotación teórica contemplada en el Plan Hidrológico de la Cuenca de Guadiana (200/hab/día).

1.2 Sistema actual de abastecimiento

Este sistema de abastecimiento cuenta con tres captaciones inventariadas. De estas tres captaciones, una se deja fuera de funcionamiento durante un mes y se mantiene como captación de emergencia mientras las otras dos funcionan. El sistema es rotativo, de modo que al mes siguiente, la captación que estaba fuera de funcionamiento pasa a funcionar normalmente, y se utiliza una de las otras dos captaciones como nueva captación de emergencia. Además de estas tres captaciones, el municipio cuenta con dos manantiales (El Nacimiento y El Encaño) que no forman parte del sistema de abastecimiento, pero que se usan como fuentes públicas (tabla 1).

Sondeos	COD Dip.	UTM_X	UTM_Y	Profundidad	Caudal (l/s)
Batan-1	CA16106101	512139	4409840	143	18
Batan-2	CA16106102	512175	4409841	143	18
Batan-3	CA16106103	512165	4409841	143	18

Tabla 1. Captaciones para abastecimiento urbano de la localidad de Horcajo de Santiago

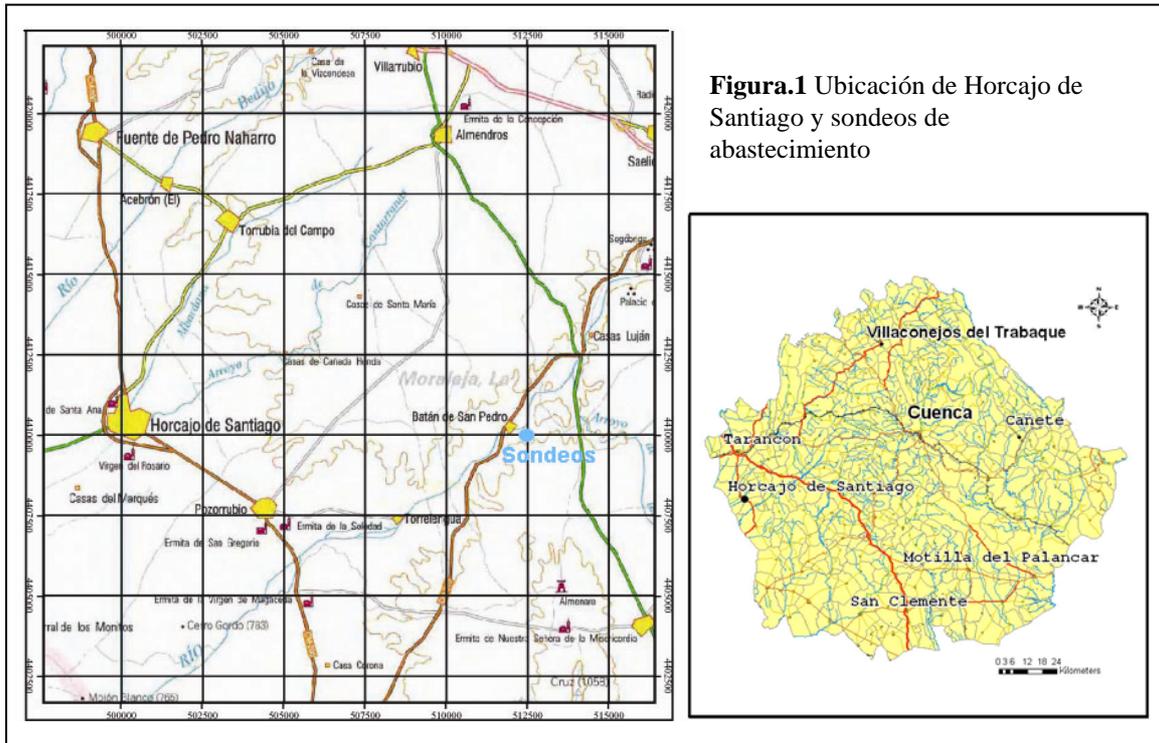


Figura.1 Ubicación de Horcajo de Santiago y sondeos de abastecimiento

2. ESTUDIOS PREVIOS

Este informe se ha elaborado a partir del trabajo de Ana Castro (EPTISA) para el IGME/Diputación de Cuenca, en octubre de 2006 denominado “*Actualización de la situación actual de los sistemas de abastecimiento urbano de 10 municipios de la provincia de Cuenca: Horcajo de Santiago*”.

2.1. Marco geológico: estratigrafía y estructura

La zona de estudio se sitúa sobre materiales terciarios y cuaternarios. Los afloramientos de materiales mesozoicos más cercanos se sitúan en la Sierra de Altomira, a unos 12 km al E de la localidad de Horcajo de Santiago. Estos materiales son calizos y dolomíticos pertenecientes al Jurásico, con un zócalo impermeable constituido por las arcillas rojas del Keuper. Por encima de

estos materiales permeables jurásicos, encontramos niveles arcillosos y margosos del Jurásico superior y el Cretácico.

Los materiales terciarios más antiguos son arcillas arenosas rojizas con intercalaciones de areniscas y conglomerados sobre los que sitúan bancos de yeso con calizas asociadas y margas y arcillas de edad Paleógena.

Los sedimentos mesozoicos y paleógenos de las Sierra de Altomira y Almenara aparecen afectados por pliegues alargados orientados en dirección N-S.

Discordante sobre los materiales paleógenos, aflora un conjunto de materiales miocenos fundamentalmente arcillosos y yesíferos, en ocasiones con niveles calcáreos. Al O de Horcajo de Santiago, por la carretera que va desde esta localidad hasta Cabezamesada, afloran las Calizas del Páramo, de edad pontiense, en contacto directo con los yesos vindobonienses. Estos materiales se encuentran parcialmente cubiertos por materiales pliocenos de espesores comprendidos entre 20 y 50 m.

Los materiales pliocenos son aluviales y coluviones constituidos por areniscas cuarcíticas de matriz areno-arcillosa o limosa, sobre los que, en ocasiones, se sitúan discordantemente costras calcáreas de menos de 8 m de espesor.

Los materiales cuaternarios son aluviales correspondientes a la red fluvial reciente, constituidos por arenas limosas con lentejones de gravas.

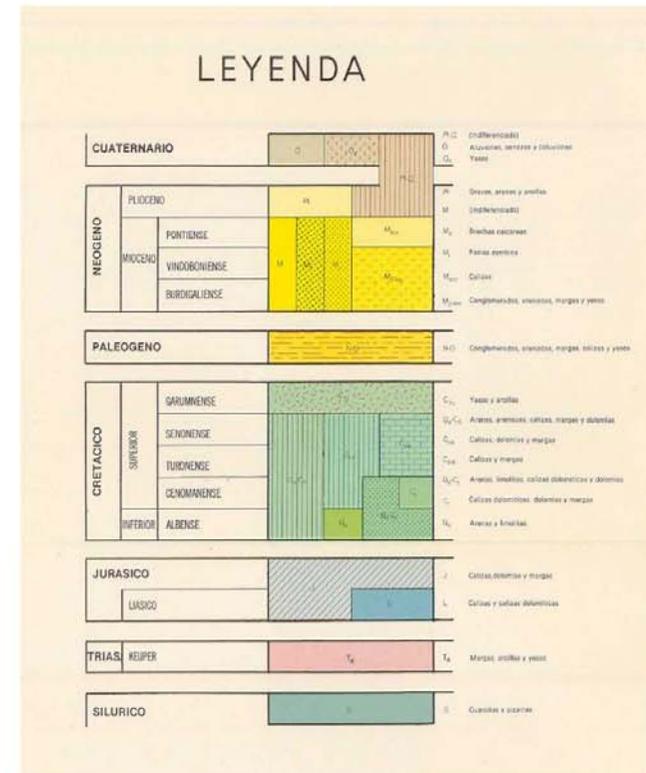
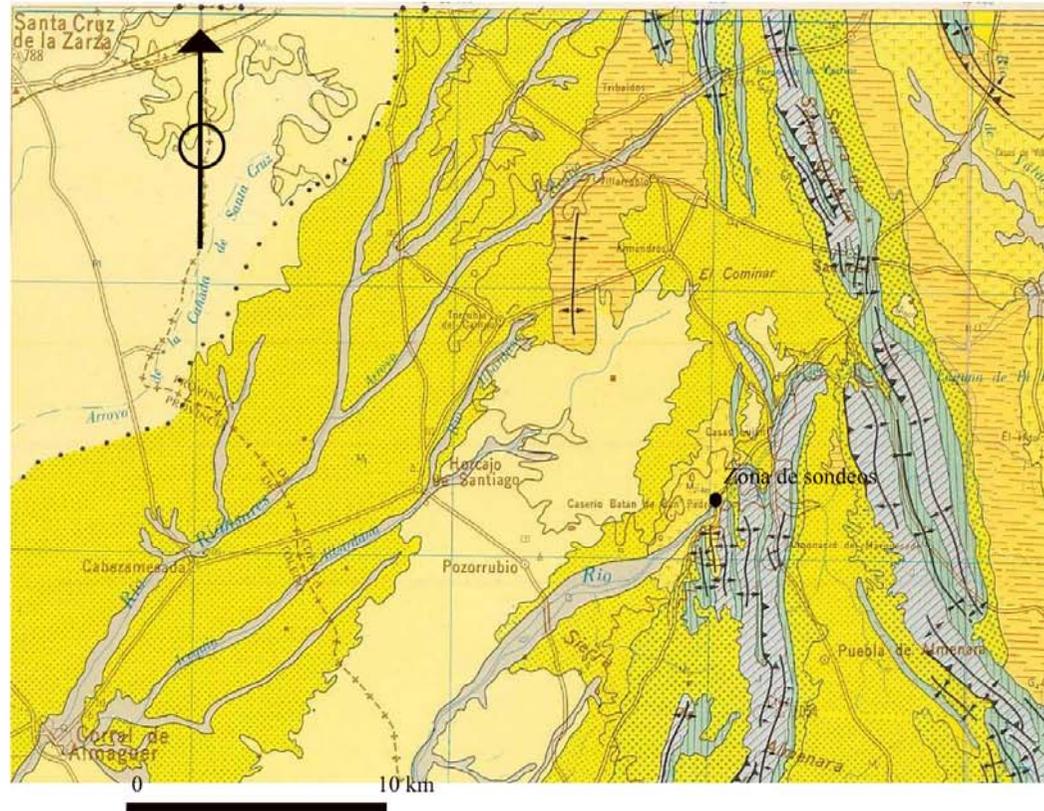


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio y ubicación de las captaciones (IGME, 1970)

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) tal y como se muestra en la Figura 4.

El municipio de Horcajo de Santiago pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Guadiana y aunque dicho municipio está incluido en la masa de agua subterránea MAS 041.003 Lillo-Quintanar, los sondeos de abastecimiento a la localidad se ubican y captan el acuífero jurásico de la Sierra de Altomira, que recibe la denominación de MAS 041.001: “Sierra de Altomira” (Figura 3), que es la única que a continuación se describirá.

La **MAS 041.001 Sierra de Altomira** está considerada como un acuífero complejo, el cual funciona en régimen libre o de semiconfinamiento en profundidad, cuyo acuífero principal está constituido por los materiales jurásicos. El límite oriental está definido por la divisoria hidrográfica de las cuencas del Guadiana y Júcar por una parte, el contacto con la MAS 041.002 La Obispalía al NE y el contacto con la vecina MAS 041.005 Rus-Valdelobos al SE. En su parte occidental limita con las MAS 041.003 Lillo-Quintanar y MAS 041.004 Consuegra-Villacañas y en su parte más meridional limita con la MAS 041.006 Mancha Occidental II, en contacto con los materiales terciarios de la fosa manchega y con la MAS 041.005 Rus-Valdelobos.

Los acuíferos están formados por un conjunto de calizas y dolomías jurásico-cretácicas que se apoyan sobre una base impermeable de arcillas, margas y yesos triásicos y que pueden alcanzar una potencia de hasta 1.100 m en el sector oriental de la cuenca. Sobre ellas se sitúa una serie margo-yesífera del tránsito cretácico-terciario y una sucesión de depósitos de origen continental, detríticos a evaporíticos, de edades paleógenas y miocenas y potencias superiores a los 300 m, coronada por afloramientos dispersos de calizas de reducido espesor (IGME, 1983).

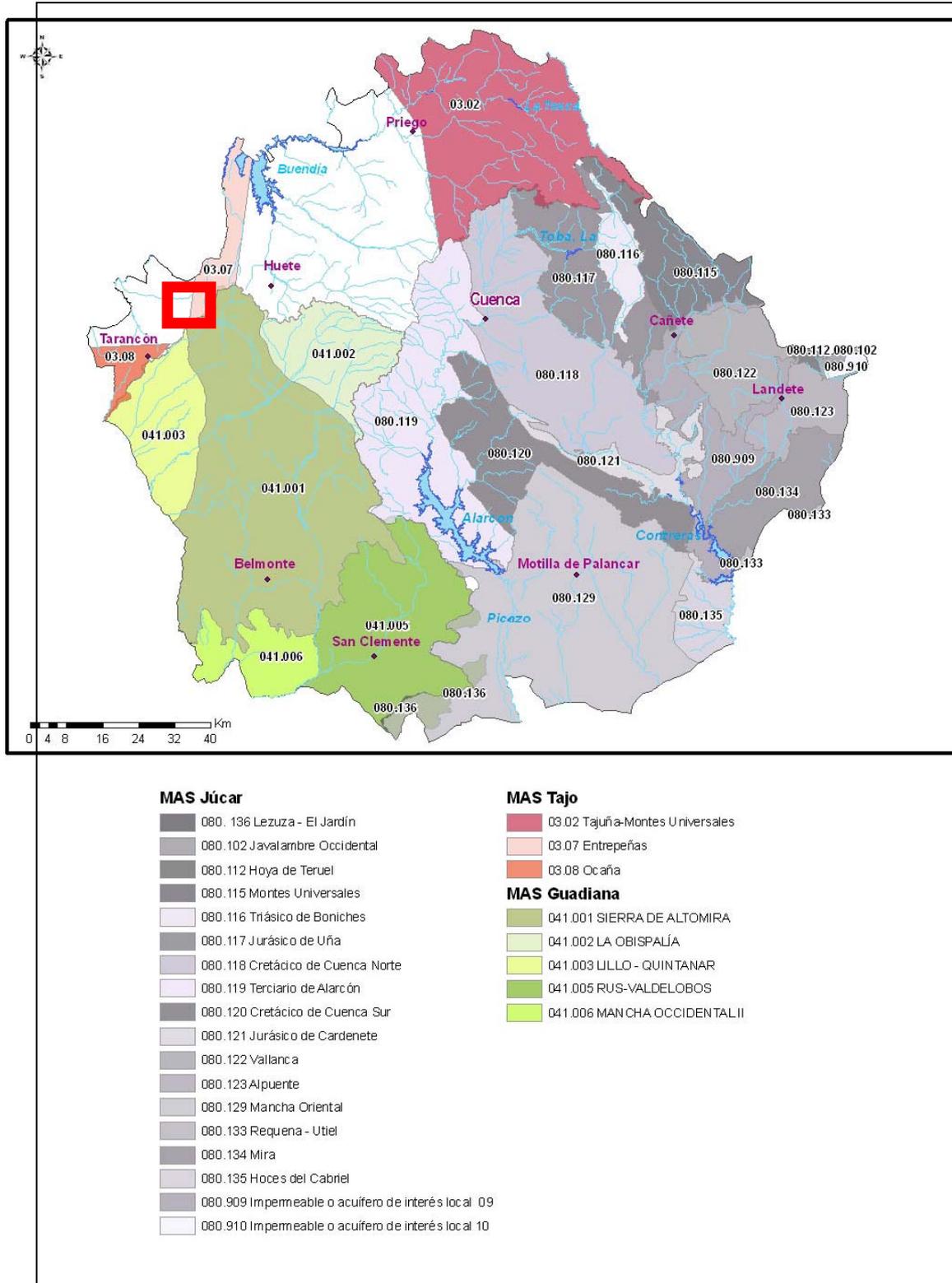


Figura 3. Masas de agua subterránea (MAS) de la provincia de Cuenca. En rojo el área estudiada.

La estructura tiene una gran importancia en el funcionamiento hidrogeológico. Así, los niveles margosos que favorecen el despegue de las distintas escamas y cabalgamientos funcionan como impermeables de base que individualizarán acuíferos. Los pliegues anticlinales y sinclinales funcionarán de divisoria de flujo subterráneo, así como las fallas que individualizan bloques y definen las depresiones terciarias. Se considera que el funcionamiento de los acuíferos puede ser libre o semiconfinado, según las zonas.

Sin embargo, esta es una simplificación que no refleja la realidad, en cuanto existen más acuíferos que se explotan. Así específicamente se pueden considerar las siguientes formaciones acuíferas, que de techo a base son:

-Acuíferos carbonatados jurásicos: aunque se tiende a considerar un único acuífero, en los sondeos de investigación hidrogeológica se han identificado diferentes horizontes acuíferos, algunos de interés más local y con calidades químicas distintas.

-Acuíferos detríticos cretácicos: las Facies Weald y Utrillas, de escaso espesor y poco afloramiento, sí suponen acuíferos de interés local.

-Acuíferos carbonatados cretácicos: todo el conjunto, que corresponde a la alternancia de calizas y margas del Cenomaniense hasta los depósitos calco-dolomíticos turonienses. Al estar más próximo a la superficie, es el acuífero más intensamente explotado.

-Acuífero calco-yesífero del tránsito cretácico-terciario: aunque su utilización está condicionada por la mala calidad del agua, muy mineralizada, potencialmente supone un gran recurso muy poco explotado.

-Acuíferos detríticos terciarios: típico acuífero multicapa, con horizontes arenosos y conglomeráticos alternantes con arcillas, y con cambios laterales de facies hacia litologías más evaporíticas, constituye otro acuífero poco conocido y de gran potencial.

-Acuíferos carbonatados terciarios: constituyen pequeños acuíferos que hacia el S presentan mayores extensiones pero poco espesor que aparecen, también próximas a la superficie, sobretodo hacia el S del sistema acuífero, siendo muy vulnerables a las afecciones antrópicas.

Respecto a su funcionamiento hidrodinámico, los **acuíferos carbonatados jurásicos** muestran una circulación preferente hacia el S, hacia Mancha Occidental y Mancha Oriental. No obstante existe un flujo procedente de la cuenca del Tajo, al N, correspondiente a la MAS 030.014

Entrepeñas y desde el S, de la MAS 041.010 Campo de Montiel. También se define una conexión hidráulica hacia el O, con la MAS 041.003 Lillo-Quintanar, y la MAS 041.004 Consuegra-Villacañas; así como al E a la Cuenca del Júcar. No obstante, dentro de la propia MAS existen áreas desconectadas, principalmente entre la zona central y la zona occidental. Así se define una circulación hacia el río Cigüela al N y hacia el río Riansares, al O. Las cotas piezométricas se encuentran entre 660-800 m s.n.m (figura 4).

La dirección de flujo de **los acuíferos carbonatados cretácicos** es hacia el S, con cotas piezométricas comprendidas entre 720-790 m s.n.m., hacia los acuíferos de Mancha Oriental y Occidental, aunque en la zona septentrional, de manera local, los acuíferos drenan hacia los cursos de agua superficiales, Riansares y Bedija. La recarga, aparte de provenir de la infiltración de la lluvia a través de las superficies aflorantes o del goteo de los materiales terciarios, puede provenir de la conexión al E con los materiales detríticos de la Depresión Intermedia y de la conexión con el acuífero cretácico de la Serranía de Cuenca. Otro hecho a señalar es la existencia, dentro del conjunto de formaciones cretácicas, de distintos niveles acuíferos, evidencia de una diferente litología y propiedades, con presencia de yesos, así como horizontes con diferente fracturación que pueden presentar diferencias en cota piezométrica (figura 4).

Los acuíferos carbonatados jurásicos y cretácicos no están conectados en la zona septentrional, existiendo una clara diferencia de cotas piezométricas entre ambos acuíferos. Sin embargo, hacia el contacto con Mancha Occidental y la superficie aflorante de materiales mesozoicos es más extensa y menos plegada, parece existir una conexión hidráulica entre ambos acuíferos.

Tramo	T (m ² /día)
Acuífero cretácico	10 a 1000
Acuífero jurásico	10 a 2000 hacia el S

Tabla 2. Valores de transmisividad para los distintos acuíferos

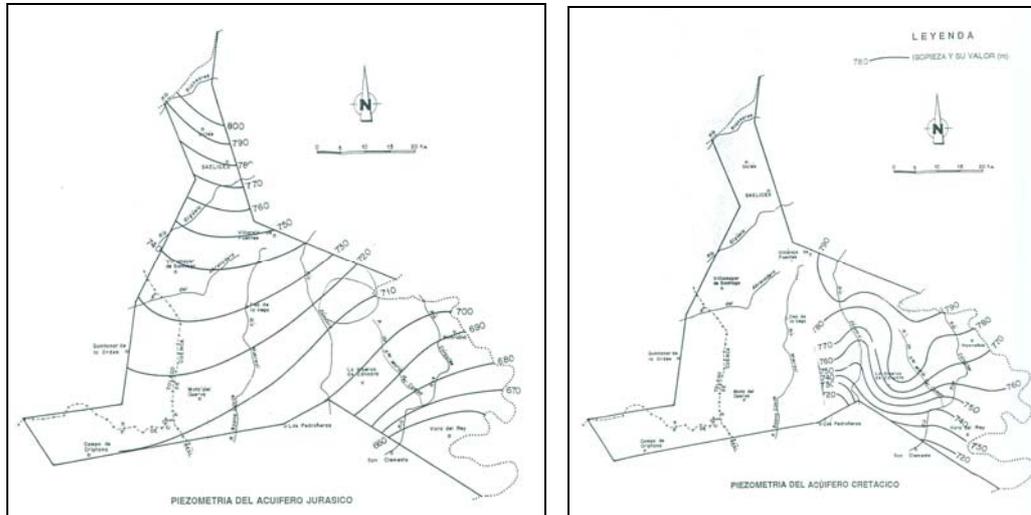


Figura 4. Piezometría en enero de 1994 para el acuífero jurásico y cretácico (García Jiménez, 1995).

Hidroquímicamente las aguas asociadas a los acuíferos jurásicos presentan facies bicarbonatadas cálcicas a sulfatadas cálcicas, con facies de mezcla muy extendidas. Así las bicarbonatadas cálcicas y mixtas presentan mineralización superior a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y contenido medio de nitratos de 31 mg/L. Las sulfatadas cálcicas están muy mineralizadas, con una conductividad media superior a 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque bajo contenido medio en nitratos, de 16 mg/L.

Las aguas asociadas a los acuíferos carbonatados cretácicos presentan las mismas facies que las jurásicas, con conductividades inferiores a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y bajos contenidos en nitratos para las bicarbonatadas cálcicas y de 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 32 mg/L de nitratos para las aguas sulfatadas cálcicas.

2.3 Hidrogeología local: formaciones acuíferas

Los niveles acuíferos del Jurásico de la MAS Sierra de Altomira se captan para el abastecimiento a la población de Horcajo de Santiago. Como se observa en la figura 5, se atravesaron 143 m de una alternancia de dolomias, calizas y margas, con una profundidad de nivel piezométrico en 2005 de 41 m ó 735 m s.n.m. En el área de estudio, los sondeos explotan del orden de 18 L/s. Se estimó una transmisividad elevada, del orden de 1100 m^2/dia .

Los tramos arenosos que forman la base de la formación paleógena constituyen un nivel permeable de alta transmisividad, proporcionando un acuífero de interés para su captación.

Las calizas miocenas se encuentran muy karstificadas en ocasiones, constituyendo un nivel permeable de interés, así como los materiales detríticos pliocenos, que alcanzan su mayor potencia en las inmediaciones de la zona de estudio.

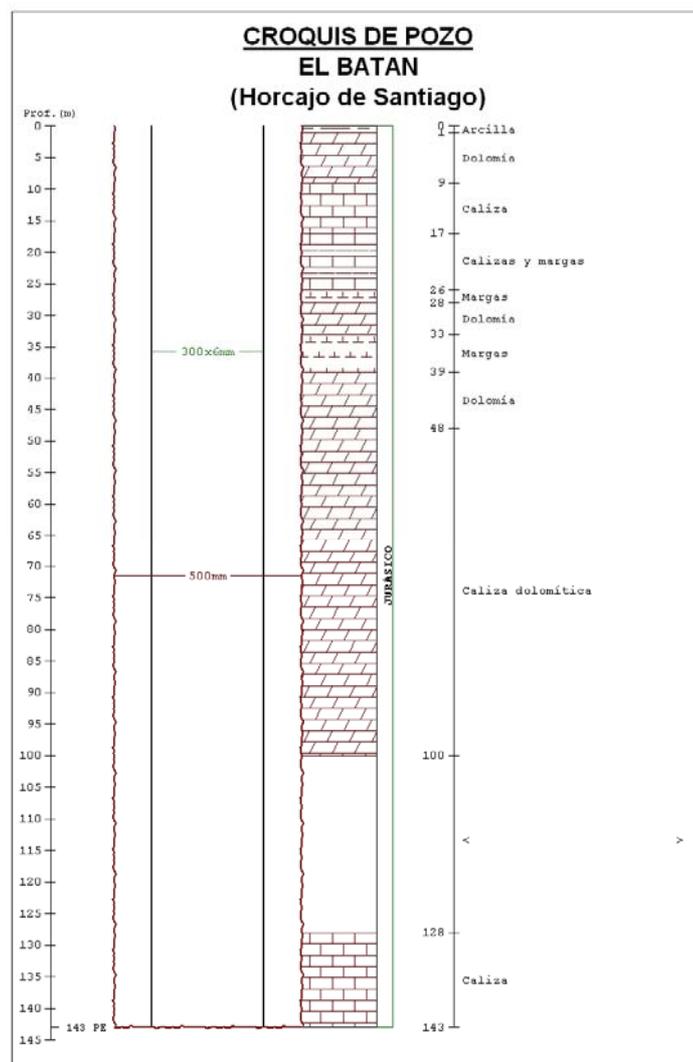


Figura 5 .- Perfil constructivo de los sondeos de Horcajo de Santiago. No se conoce la distribución del ranurado de la entubación.

Para la caracterización hidroquímica del abastecimiento, se tomaron muestras de agua procedentes de los sondeos (CA16106101 - Batán 1, CA16106102 - Batán 2 y CA16106103 - Batán 3) que captan sus aguas del acuífero calizo y dolomítico del Jurásico, y de manantiales que captan sus aguas del acuífero mioceno, (CA 16106104 - El Nacimiento y CA 16106105 - El Encaño) durante las inspecciones medioambientales realizadas en Horcajo de Santiago en noviembre de 2005.

Muestra	DQO	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂ ²⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	pH	Cond	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P ₂ O ₅	SiO ₂
CA16106101	0,4	22	410	289	0	15	11	58	192	1	7,7	1130	0,00	0,00	0,00	11,3
CA16106102	0,4	22	415	285	0	16	11	59	192	1	7,4	1131	0,00	0,00	0,00	11,3
CA16106103	0,5	22	450	279	0	15	12	59	196	1	7,3	1130	0,00	0,00	0,00	11,3
CA16106104	0,7	39	125	199	0	128	29	23	118	0	7,7	768	0,00	0,00	0,00	20,4
CA16106105	0,7	38	130	196	0	136	29	22	120	0	7,7	774	0,00	0,00	0,00	20,9

Tabla 3. Resultados del análisis efectuado de tres de las captaciones de Horcajo de Santiago. Los datos están en mg/l, excepto conductividad ($\mu\text{S/cm}$) y pH.

El agua procedente de los sondeos presenta una mayor mineralización, con valores de la concentración de sulfatos que superan los límites establecidos en la normativa vigente para aguas de abastecimiento, según el R.D. 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Lo mismo sucede para los nitratos en las muestras procedentes de los manantiales muestreados, en la que se superan los límites para aguas de abastecimiento.

Las aguas procedentes de los sondeos que captan materiales jurásicos (figura 6) presentan una facies sulfatada cálcica, con una conductividad de 1.130 $\mu\text{S/cm}$ y una concentración de nitratos de 15-16 mg/l de NO₃⁻. Por su parte, las muestras tomadas en manantiales provenientes de las calizas miocenas son de facies mixta bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas, con una conductividad de 768 y 774 $\mu\text{S/cm}$ y una concentración de nitratos de 128 y 136 mg/l de NO₃⁻.

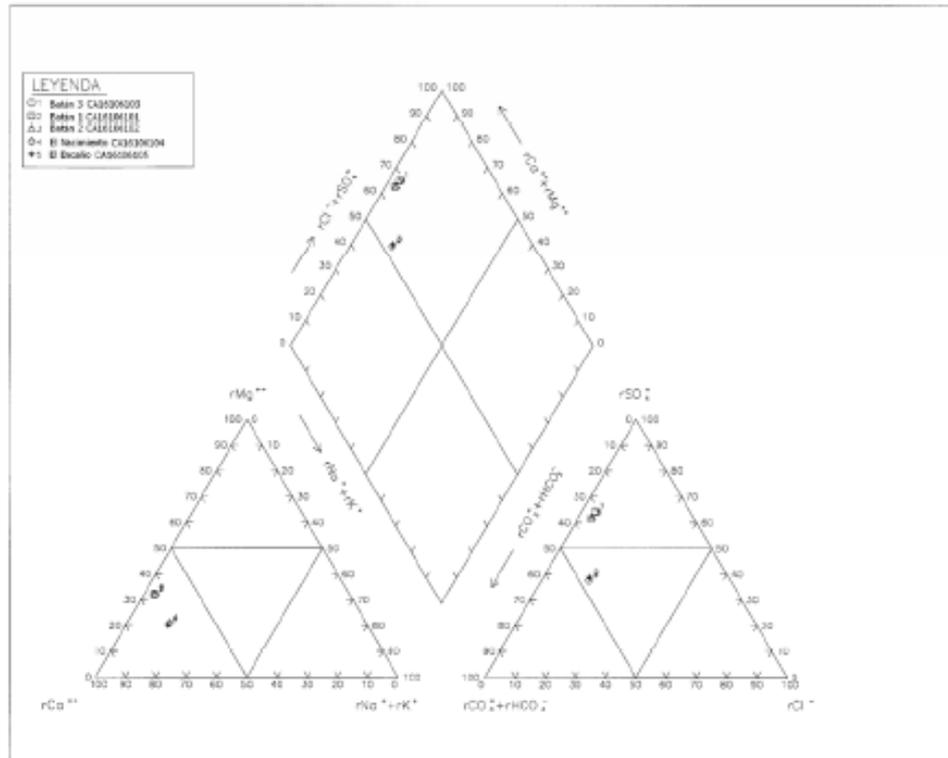


Figura 6. Diagrama de Piper-Hill-Langelier para las muestras de las captaciones de Horcajo de Santiago.

3. PROPUESTA DE PERIMETRO DE PROTECCIÓN

3.1 Inventario de focos potenciales de contaminación

Según IGME-Dip. de Cuenca (2006), se han localizado cuatro focos potenciales de contaminación en las inmediaciones de las captaciones que podrían estar influyendo negativamente en la calidad del agua de las mismas, además de la contaminación difusa que suponen las tierras de cultivo de olivo, almendro y viña (figura 7, tabla 4).

FOCOS	UTM_X	UTM_Y	Contaminante potencial
Granja ovejas	511792	4409754	Nitratos, fosfatos y potasio
Residuos sólidos urbanos	501133	4408611	Materia orgánica, contaminación bacteriológica, aceites, grasa, detergentes...
Gasolinera	500225	4410934	Hidrocarburos
Cementerio	500150	4411455	Fosfatos

Tabla 4. Potenciales focos de contaminación en el entorno de Horcajo de Santiago.

Los sondeos de captación de agua (CA16106101, CA16106102 y CA16106103) se encuentran emboquillados sobre materiales en general permeables, aunque con niveles margosos intercalados, y captan el agua a profundidades superiores a los 50 m.

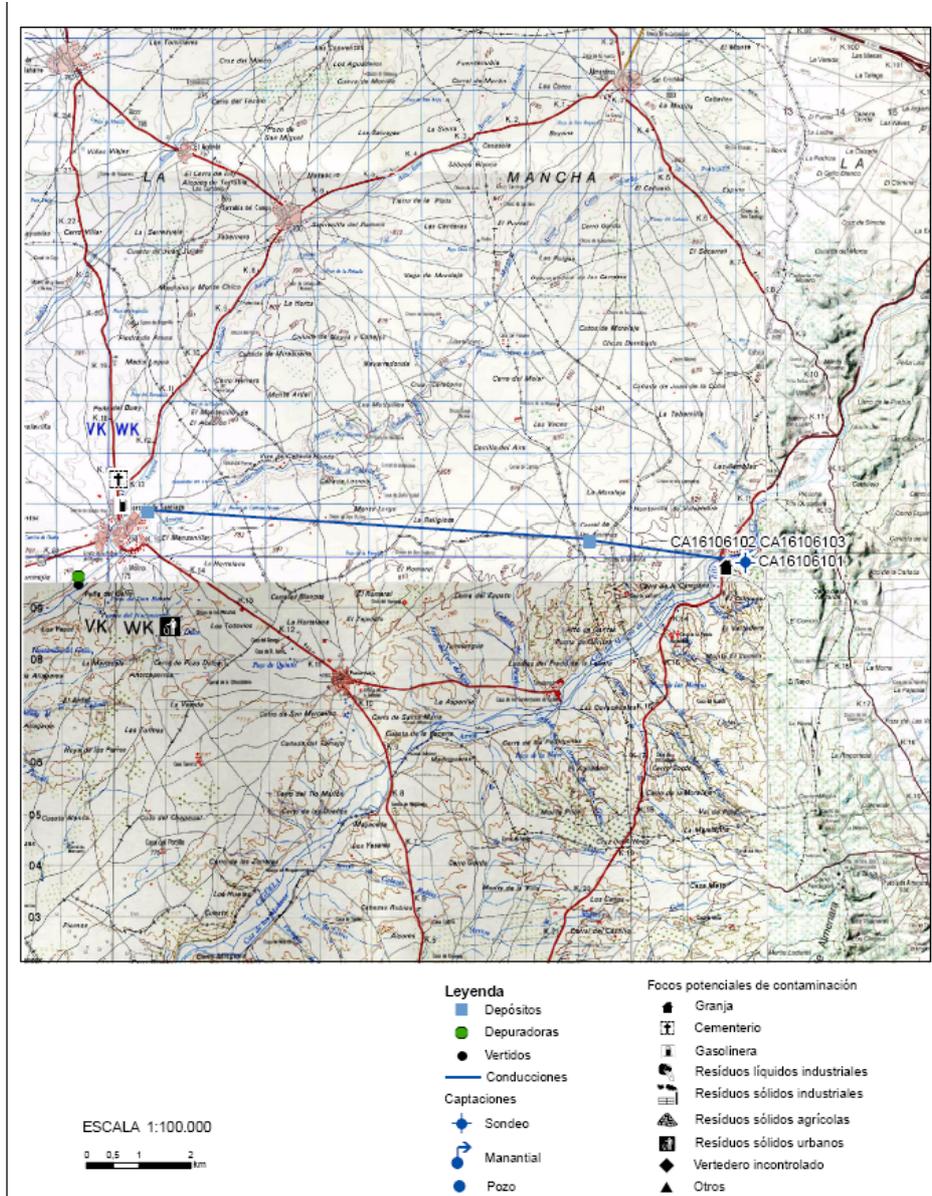


Figura 7. Mapa con la ubicación de los potenciales focos de contaminación de Horcajo de Santiago (IGME-Dip Cuenca, 2007).

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)

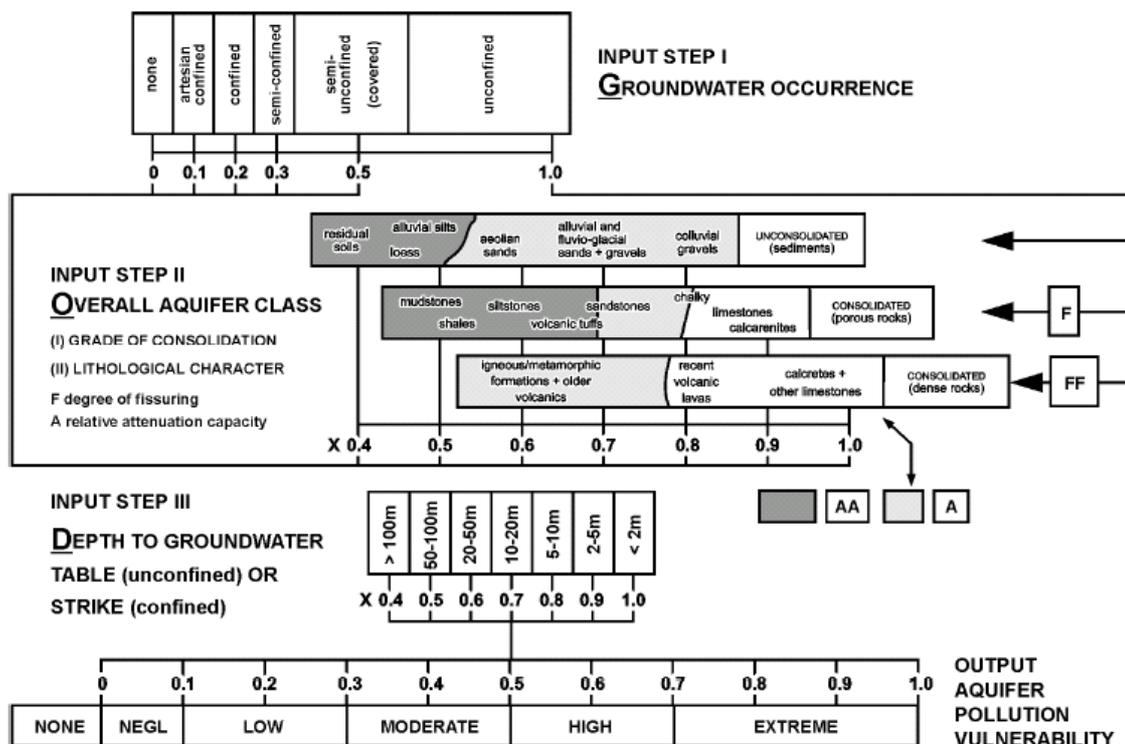
se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables (G, O, D) las cuales conforman el acrónimo:

G- tipo de acuífero.

O- litología de cobertura del acuífero

D- profundidad del agua o del acuífero.

En la Figura 8 (Foster e Hirata, 1991) se reproduce el diagrama para cualificar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. Los tres índices que se multiplican entre sí, resultan en uno final que puede variar entre 1 (vulnerabilidad máxima) y 0 (mínima).



GOD empirical system for the rapid assessment of aquifer contamination vulnerability (from Foster, 1987).

Editorial note: Corrections received from the author

Step I: substitute "overflowing" for "artesian confined"; Step II: title should be "Overlying Lithology"; Output: omit "none".

Figura 8. Esquema de la valoración del índice GOD.

Los tres sondeos de abastecimiento se ubican 12 km al E de la localidad de Horcajo de Santiago. Captan el acuífero calcodolomítico jurásico de la Sierra de Altomira, contando con 143 m de profundidad cada uno de los sondeos. El zócalo impermeable lo constituyen las arcillas de Keuper y a techo queda delimitado por los tramos arcillosos y margosos del Jurásico superior. Para la aplicación del método GOD se ha dividido la zona de estudio en celdas de 1 km² a las que se les asigna individualmente los valores del acrónimo GOD que les corresponda.

En las celdas en las que los materiales jurásicos afloran se considerará un valor de $G = 1$ (acuífero libre). En las celdas donde se encuentren cubiertos por los depósitos cretácicos, se considerará un cierto grado de confinamiento debido a este recubrimiento y posible conexión hidráulica o goteo de los materiales cretácicos

($G = 0.5$). En el resto de celdas se considerará acuífero confinado por los distintos materiales detríticos terciarios y se asigna un valor de $G = 0.2$ (figura 9).

En cuanto a la capacidad protectora que ofrecen los materiales que se encuentran por encima del acuífero, ésta 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 detríticos, este valor disminuirá.

La profundidad a la que se encuentra el techo de la formación acuífera variará para cada celda. En toda la franja N-S correspondiente a los materiales carbonatados de la Sierra de Altomira se considera que el techo de la formación acuífera se encuentra cercano a la superficie y se le asigna un valor de $D = 0.9$. El resto del área considerada obtiene un valor de $D = 0.4$.

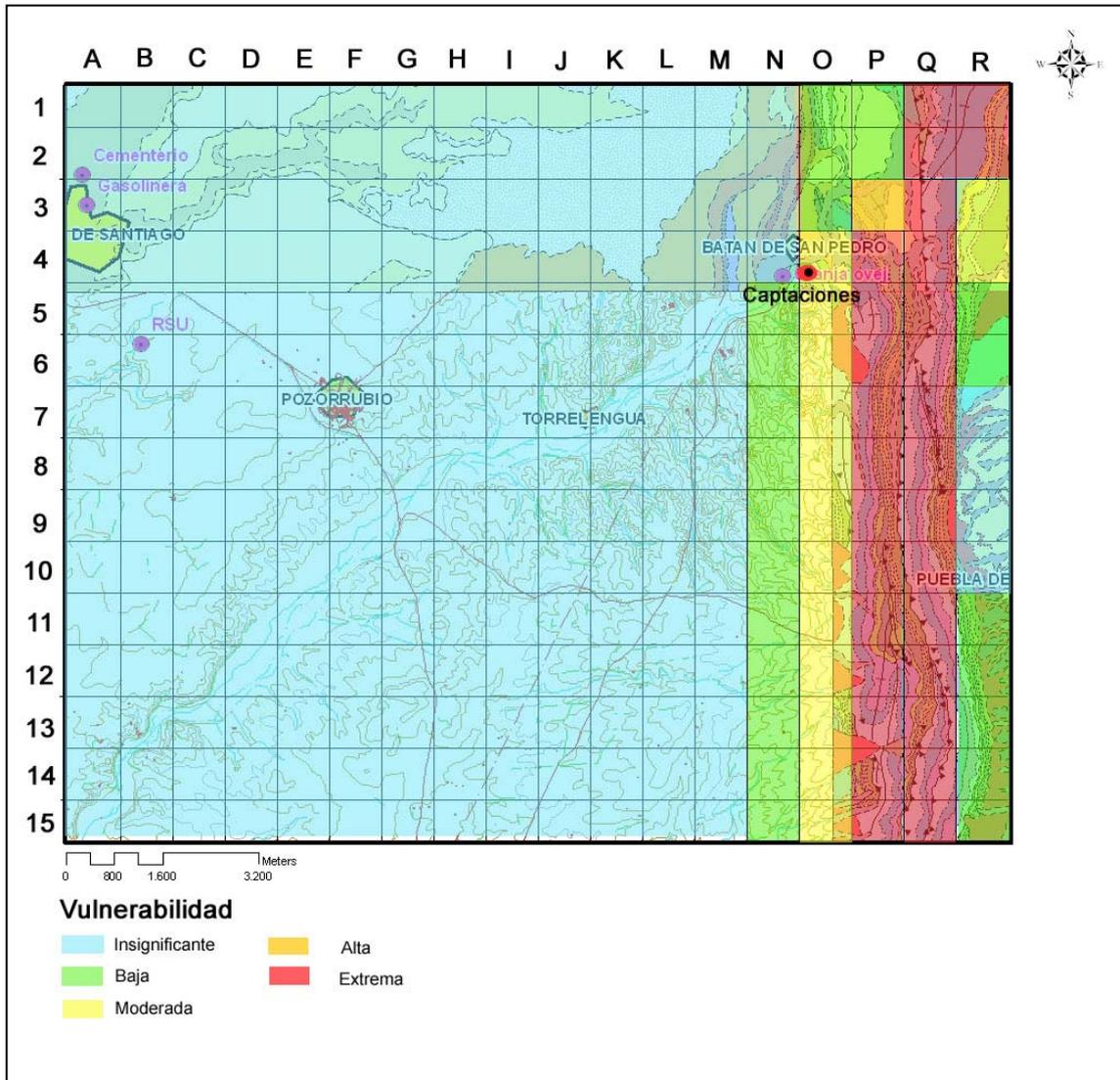


Figura 9. Cartografía de vulnerabilidad empleando el método GOD y ubicación de los potenciales focos de contaminación.

La cartografía de vulnerabilidad obtenida (Figura 9) muestra unos valores extremos para las celdas en las que afloran los materiales acuíferos del Jurásico de la Sierra de Altomira, ya que en ellas se ha considerado un acuífero libre o solo ligeramente confinado por algún nivel margoso y de elevada vulnerabilidad por fisuración y/o karstificación. Las celdas con materiales aflorantes estratigráficamente más recientes disminuyen progresivamente la vulnerabilidad, ya que confinan el acuífero y ofrecen protección natural a una potencial contaminación.

Los focos de contaminación puntual se ubican todos sobre un área de vulnerabilidad insignificante, excepto la granja de ovejas que se encuentra en área de vulnerabilidad moderada y muy próxima al área donde la vulnerabilidad se ha calculado extrema.

En cuanto a la contaminación difusa originada por la aplicación de fertilizantes y plaguicidas a los campos de cultivo habría que señalar la directa relación que existe en el elevado contenido

en nitratos del agua de abastecimiento con la existencia de campos, aunque no abundantes, en la zona de la Sierra donde aflora el Jurásico y de vulnerabilidad extrema.

3.3. Perímetro de protección de las captaciones

Para la elaboración de este apartado, se ha adaptado también el área de protección propuesta en el mencionado informe de IGME-Dip. de Cuenca elaborado en octubre de 2006.

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.

En el presente documento se proponen los perímetros de protección en torno a las captaciones utilizadas para el abastecimiento de Horcajo de Santiago, 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 (figura 10).

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).

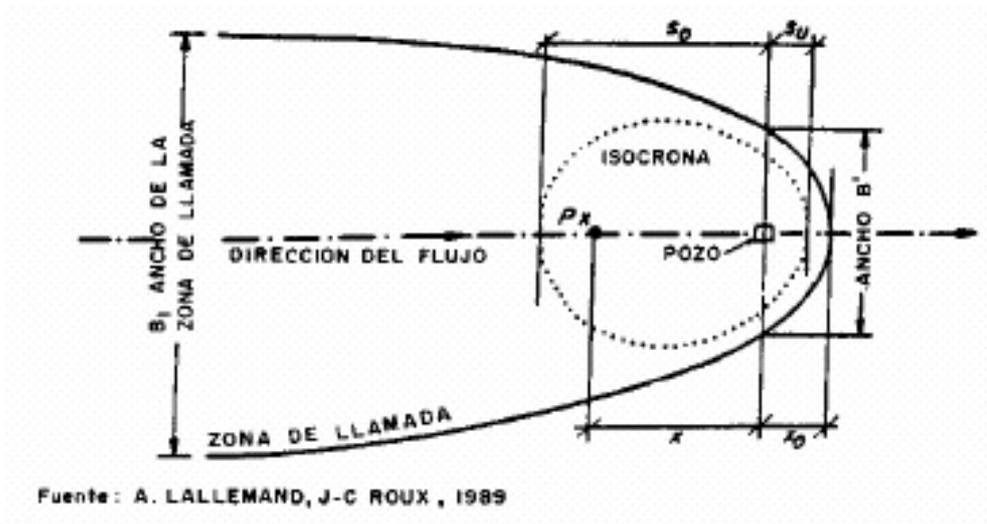


Figura 10. Método de Wyssling para el cálculo del tiempo de tránsito

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Horcajo de Santiago 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.

Horcajo de Santiago	
Espesor del acuífero (m)	130
Porosidad eficaz	0.002
Permeabilidad horizontal (m/día)	1
Permeabilidad horizontal (m/s)	1.16×10^{-5}
Caudal de bombeo (l/s)	18
Caudal de bombeo (m ³ /s)	0.018
Gradiente hidráulico	0.005

Tabla 5. Parámetros utilizados para el cálculo del tiempo de tránsito según el método Wyssling (IGME-Dip de Cuenca, 2007).

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. Esta zona tendrá forma circular u oval, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas. Para definir las coordenadas del perímetro, a su vez se simplifica el área adaptándola a una superficie rectangular, de más fácil gestión y manejo (Figura 11, Tabla 6).

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para sI.

Horcajo de Santiago	
SI aguas arriba (m)	45
SI aguas abajo (m)	42

Tabla 6. *Valores del radio del perímetro de restricciones absolutas*

Por criterios de seguridad, se considerará esta zona de radio 50 m que englobará las tres captaciones. 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 los sondeos, para el caso en que no la hubiere, que se valle la zona definida y se instale un drenaje perimetral.

Por posibles imprecisiones en la toma de coordenadas, este perímetro es solo orientativo (Figura 11) y sus coordenadas se encuentran en la Tabla 9.



Figura 11. 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 restricciones máximas** 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 7).

Horcajo de Santiago	
SII aguas arriba (m)	421
SII aguas abajo (m)	271

Tabla 7. Valores del radio del perímetro de restricciones máximas

Por criterios de seguridad se delimitará como zona de restricciones máximas una superficie de forma hexagonal con el eje mayor que se extenderá 500 m aguas arriba de la captación en función de la dirección principal del flujo subterráneo que, según la piezometría que se dispone, es de sur a norte hasta la línea de drenaje que supone el río Gigüela. El eje menor se extenderá 300 m hacia el norte hasta dicho cauce. Para definir las coordenadas del perímetro, a su vez se simplifica el área adaptándola a una superficie rectangular, de más fácil gestión y manejo (Figura 12, Tabla 7).

En esta zona se encuentra una granja de ovejas, que habrá que controlar para evitar afecciones al acuífero (ver apartado recomendaciones).

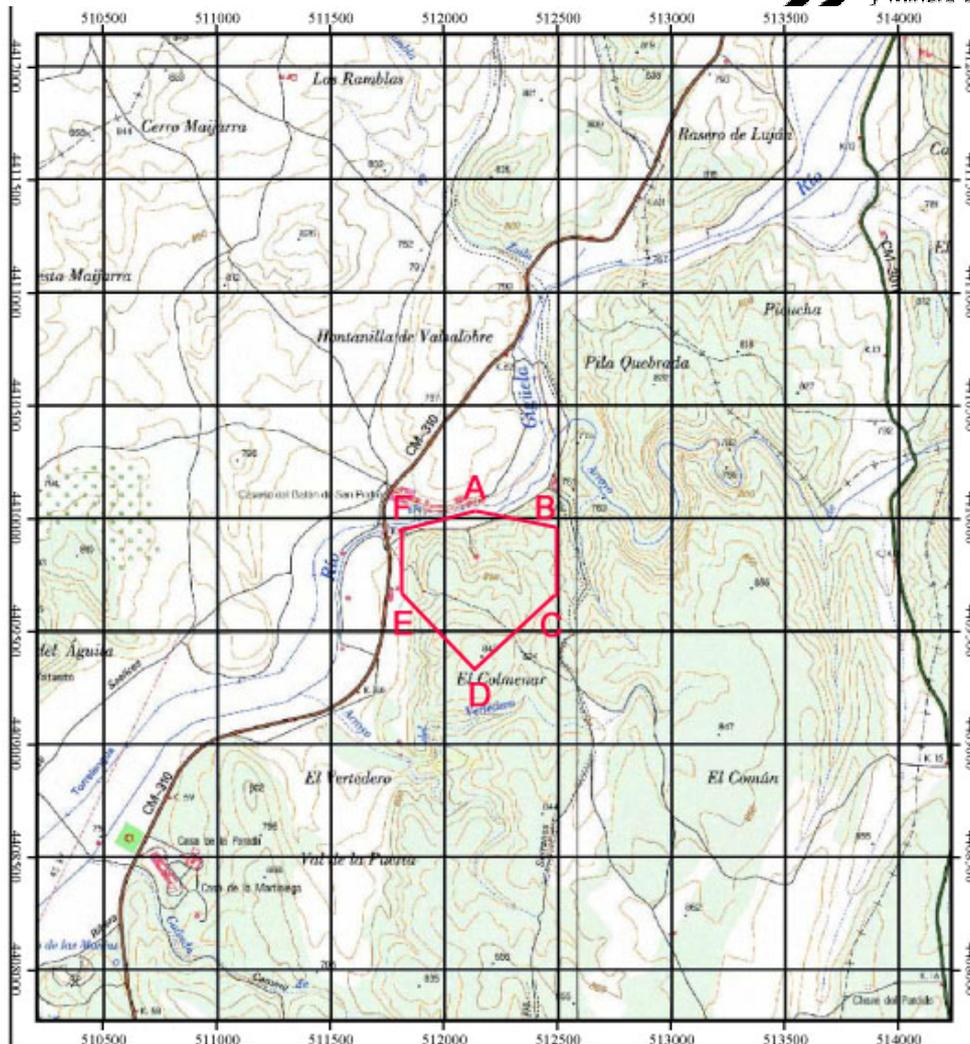


Figura 12. Mapa de la propuesta del perímetro de zona próxima y restricciones máximas.

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 8).

Horcajo de Santiago	
SIII aguas arriba (m)	9832
SIII aguas abajo (m)	707

Tabla 8. Valores del radio del perímetro de restricciones moderadas

Atendiendo a la naturaleza de los materiales captados, se delimitará como zona de restricciones moderadas una superficie basada en criterios hidrogeológicos. Esta superficie tendrá una forma aproximadamente elipsoidal, con el eje mayor en la dirección principal del flujo subterráneo que se extenderá, aguas arriba hasta la divisoria de aguas, y aguas abajo hasta el cauce del río Cigüela (figura 13).

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 Horcajo de Santiago 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:

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

D = Descenso del nivel piezométrico

T = Transmisividad = 130 m²/día

Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger: 18 l/s = 1555 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 18 l/s durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia, en la zona de afloramiento de calizas cretácicas (existente al este del núcleo urbano). El descenso obtenido de 2.7 m se considera razonable, puesto que es inferior al 10% del espesor saturado de la captación a proteger (del orden de 130 m). Así el perímetro, para su mejor representación y gestión se ha representado de manera poligonal, adaptándolo mediante criterios hidrogeológicos.

En la Figura 16 se representan gráficamente el perímetro de protección de la cantidad así como el resto de perímetros y el propuesto en 2006 para observar las diferencias.

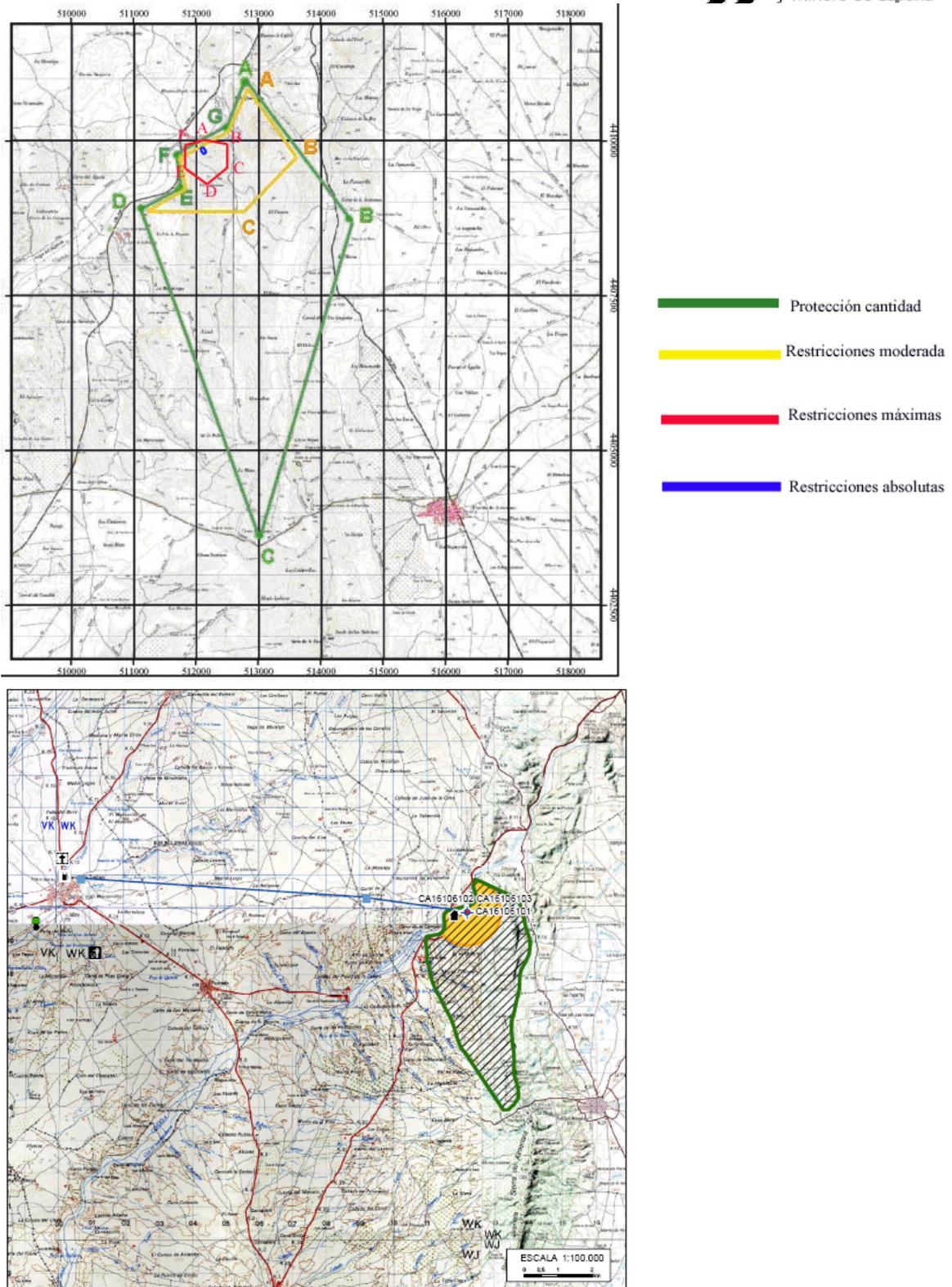


Figura 16. Mapa de la propuesta del perímetro de calidad y de restricciones de cantidad (arriba) y mapa de la propuesta del perímetro de restricciones moderadas y de restricciones de cantidad (abajo) de IGME-Dip. de Cuenca (2006).

	Nº PUNTO	UTM_X	UTM_Y
Zona de restricciones absolutas	A	512151	4409891
	B	512205	4409841
	C	512143	4409796
	D	512091	4409850
Zona de restricciones máximas	A	512091.5	4410025
	B	512564	4409937
	C	512547	4409629
	D	512139	4409313
	E	511835.5	4409661
	F	511791	4409917
Zona de restricciones moderadas	A	512462	4410940
	B	514333	4408675
	C	512892	4403941
	D	510885	4409000
	E	511634	4409228
	F	511606	4409975
	G	512425	4410370
Zona de restricciones de cantidad	A	512462	4410940
	B	513500	4409975
	C	510885	4410940
	D	510885	4409000
	E	511634	4409228
	F	511606	4409975
	G	512425	4410370

Tabla 9. *Coordenadas UTM propuestas para los distintos perímetros de protección de los sondeos de abastecimiento a Horcajo de Santiago.*

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 10.

	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	•	•				•	
ACTIVIDADES URBANAS	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	•	•			•		
	Vertido de residuos sólidos urbanos	•	•			•		
ACTIVIDADES INDUSTRIALES	Cementerios	•	•				•	
	Asentamientos industriales	•	•				•	
	Vertido de residuos líquidos industriales	•	•			•		
	Vertido de residuos sólidos industriales	•	•			•		
	Almacenamiento de hidrocarburos	•	•				•	
	Depósito de productos radiactivos	•	•			•		
	Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	•	•			•		
	Conducciones de líquido industrial	•	•			•		
	Conducciones de hidrocarburos	•	•			•		
	Apertura y explotación de canteras	•	•				•	
	Relleno de canteras o excavaciones	•	•				•	
OTRAS	Campings	•	•				•	
	Acceso peatonal	•			•			•
	Transporte redes de comunicación	•		•			•	

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

Tabla 10. Definición de las actividades dentro de los perímetro de protección de calidad.

Una vez realizados los perímetros de protección correspondientes y la cartografía de vulnerabilidad se hace patente la necesidad de restringir ciertas actividades que pudieran afectar negativamente a la calidad del recurso.

La primera recomendación a realizar es instar al Ayuntamiento de la localidad a informar a la población del elevado contenido en nitratos de las aguas de las fuentes públicas y de los efectos negativos que éstos tienen para la salud, en especial sobre los bebés menores de 6 meses y mujeres embarazadas.

En cuanto a la actividad ganadera, preocupa la presencia de una granja de ovejas lindando con

el perímetro de protecciones máximas. Esta granja debe ser alejada de los afloramientos calizos y emplazarla sobre materiales arcillosos que ofrezcan protección natural al acuífero y/o asegurar la correcta gestión de los residuos.

En cuanto a la actividad agrícola, dentro del perímetro de restricciones moderadas queda prohibida la aplicación de pesticidas sobre los campos de cultivo, que aunque no muy abundantes, existen en el área definida. La aplicación de fertilizantes y herbicidas quedará condicionada al cumplimiento de lo establecido en informe técnico sobre las condiciones de la actividad restringida para no afectar a la calidad del agua subterránea.

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, diciembre 2009

Los autores del informe

Fdo. Esther Alonso Marín

Marc Martínez Parra

4. BIBLIOGRAFÍA

García-Jiménez, M.A. (1995): Estudio de la Unidad hidrogeológica de la Sierra de Altomira en la cuenca del río Guadiana. DGOH.

IGME (1970): Mapa geológico de síntesis 1:200.000 nº 54 Campo de Criptana.

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: Horcajo de Santiago.