PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN PARA LA CAPTACIÓN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA LOCALIDAD DE GRAJA DE CAMPALBO (CUENCA)

Mayo 2011

Instituto Geológico y Minero de España

ÍNDICE

1. Introducción

1.1 Situación actual de abastecimiento

1.2 Demanda urbana

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 2002 se redactó *"Informe final del sondeo para el abastecimiento de agua potable a la localidad de Graja de Campalbo (Cuenca)"* en el que se informaba de los resultados de la ejecución del mismo así como instaba a controlar el parámetro químico de los compuestos nitrogenados sujeto a una posible influencia antrópica.

Graja de Campalbo se ubica a 108 km de la capital, Cuenca, y limítrofe con la provincia de Valencia. Las localidades más cercanas son Landete y Talayuelas (Figura 1).

Figura 1. Mapa de ubicación de la localidad de Graja de Campalbo

1.1 Situación actual de abastecimiento

En la actualidad la población de Graja de ampalbo se abastece de un único sondeo, el sondeo del Rebollejo, aunque en 2002 el IGME perforo otro sondeo para subsanar la dependencia del pueblo a un único sondeo. Este sondeo, aún equipado, todavía no se ha incorporado a la red por un fallo de dimensionamiento de las estructuras necesarias para bombear y distribuir el agua.

1.2. Demanda urbana

La población residente en Graja de Campalbo asciende a 120 habitantes (Padrón municipal 2010), incrementándose en períodos vacacionales aproximadamente a 500 habitantes. Suponiendo una dotación teórica de 200 L/hab/día se precisa un caudal continuo máximo de **0.3 l/s** y en periodo vacacional un caudal de **1.2 l/s.**

En la actualidad, el Ayuntamiento dispone de las siguientes captaciones:

- **Sondeo del Rebollejo**, de 208 m de profundidad, a 2500 m al O de Graja de Campalbo, es el que en la actualidad abastece a la población. Su caudal de explotación aproximado es de es de 4,5 L/s. no se dispone de más información del mismo.

- Sondeo Graja de Campalbo-II, perforado por el IGME en 2002, (X = 644593; Y = 4418196). Se equipó considerando la futura construcción de un depósito intermedio el cual no llegó a realizarse por lo que la potencia de la bomba instalada no es suficiente para alzar el agua del sondeo hasta el depósito. Están pendientes de mejora para poder incorporarlo a la red.

- Manantial La Coneja, no incorporado a la red, aunque ampliamente utilizado por los habitantes del pueblo para consumo de bebida.

El agua se conduce a dos depósitos comunicados de 150 y 50 m^3.

CAPTACIÓN	UTM_X	UTM_Y	Prof.	Año	NP (msnm)	Q(l/s)
S-Graja de Campalbo-II	644593	4418196	208	2002	881.6	5
S-Rebollejo	645622	4417976	208		884 (2009)	4.5
Manantial La Coneja	648603	4418449			1035	No incorporado a la red
DEPÓSITOS	**UTM_X**	**UTM_Y**	**CAPACIDAD (m^3)**			**OBSERVACIONES**
	648112	4418575	150 y 50			Están uno junto al otro

Tabla 1. Características del sistema de abastecimiento de la localidad de Graja de Campalbo

2. ESTUDIOS PREVIOS

Este informe se ha elaborado a partir de los estudios realizados por el IGME en 2002 previos a la perforación del sondeo Graja de Campalbo-II, los cuales junto a la información recopilada en campo el día 25 de mayo de 2011 ha servido para la redacción de la propuesta de perímetro de protección para ambos sondeos.

2.1 Marco geológico: estratigrafía y tectónica

ESTRATIGRAFÍA

Elaborado a partir del MAGNA 637 "Landete"

Jurásico

Carniolas, calizas dolomíticas y bioclásticas (J_{11-13}) (9)

Con un espesor conjunto de 160 m se distinguen tres tramos, que de base a techo son carniolas (60 m), calizas dolomíticas grises (80 m), en ocasiones oolíticas, con intercalaciones de calizas

arcillosas y margas y calizas bioclásticas (20 m) ocres y nodulosas. El conjunto se data como Liásico.

Margas y calizas (J_{14-14}) (10)

Margas gris amarillas, con intercalaciones de calizas arcillosas.

Calizas tableadas (J_{14-21}) (11)

Calizas bioclásticas gris amarillas, en capas finas, con intercalaciones oolíticas, de 20 m de espesor. Atribuible al Liásico superior.

Calizas tableadas y oolíticas (J_{14-2}) (12)

Son 40 m de calizas tableadas, 10 m de calizas con microfilamentos y diversa fauna y 0,2 m de calizas con oolitos ferruginosos. Hacia Talayuelas su espesor puede alcanzar los 180 m . Se datan como Dogger.

Calizas arcillosas (J_{31}) (14)

Son calizas arcillosas grises o crema, en capas irregulares decimétricas y nodulosas., con un espesor de 20-25 m. Se atribuyen al Malm inferior.

Margas amarillas (J_{32}) (15)

Tienen un espesor de 15-20 m.

Calizas y calizas arcillosas (J_{32}^{2})

Con un espesor de 90-120 m se disponen alternadamente.

Calizas pisolíticas (J_{32}^{3}) (16)

En paquetes gruesos, con un grosor total de 45-55 m.

Areniscas finas y margas (J_{33}) (17)

Son areniscas finas, margas arenosas rojas o gris verdosas, con intercalaciones de calizas arenosas en la base. Tienen un espesor de 30-50 m. Malm superior.

Cretácico

Facies "Weald" (C $_{13-15}$) (20)

Es una alternancia de areniscas y arcillas abigarradas, rojas y ocres, con restos de troncos y un espesor de 25 m.

Calizas, margas (C $^{2-3}_{15-15}$) (21)

Son calizas mal estratificadas, nodulosas o lumaquélicas, alternantes con margas y arcillas, con presencia de Ostreidos. Puede alcanzar los 50 m.

Fm "Escucha" (C $_{16-16}$) (22)

Es una alternancia de areniscas y arcillas abigarradas, rojas y ocres, con restos de troncos, niveles de lignito y un espesor de 60 m.

Fm "Utrillas" (C $_{16-21}$) (23)

Arenas caoliníferas blancas y amarillas, con delgados niveles de arcillas y un espesor de 60 m.

Alternancia de calizas y arcillas (C $_{21-21}$) (24)

Su potencia es de 110 m. Se han investigado recientemente en un sondeo realizado en La Cabezuela (sondeo de Talayuelas) donde se han reconocido 50 m de margas grises y negras (1-2 m), aunque predominan los niveles calizos, en ocasiones con oolitos; hacia la base aparecen areniscas y calcarenitas ocres y oscuras.

Calizas dolomíticas y dolomías masivas (C_{22}) (25)

Son dolomías compactas, de tonos rosáceos y un espesor medio de 45 m, aunque en el sondeo realizado en el cerro de la Cabezuela se han reconocido unos 25 m. Turoniense inferior.

Calizas organógenas y dolomíticas (C $_{22-22}$) (26)

Son 80 m de dolomías compactas grises, con niveles arcillosos a base y techo. En el sondeo mencionado anteriormente se distingue un espesor de 114 m. Turoniense superior.

Calizas, calizas dolomíticas y brechas (C $_{23-26}$) (27)

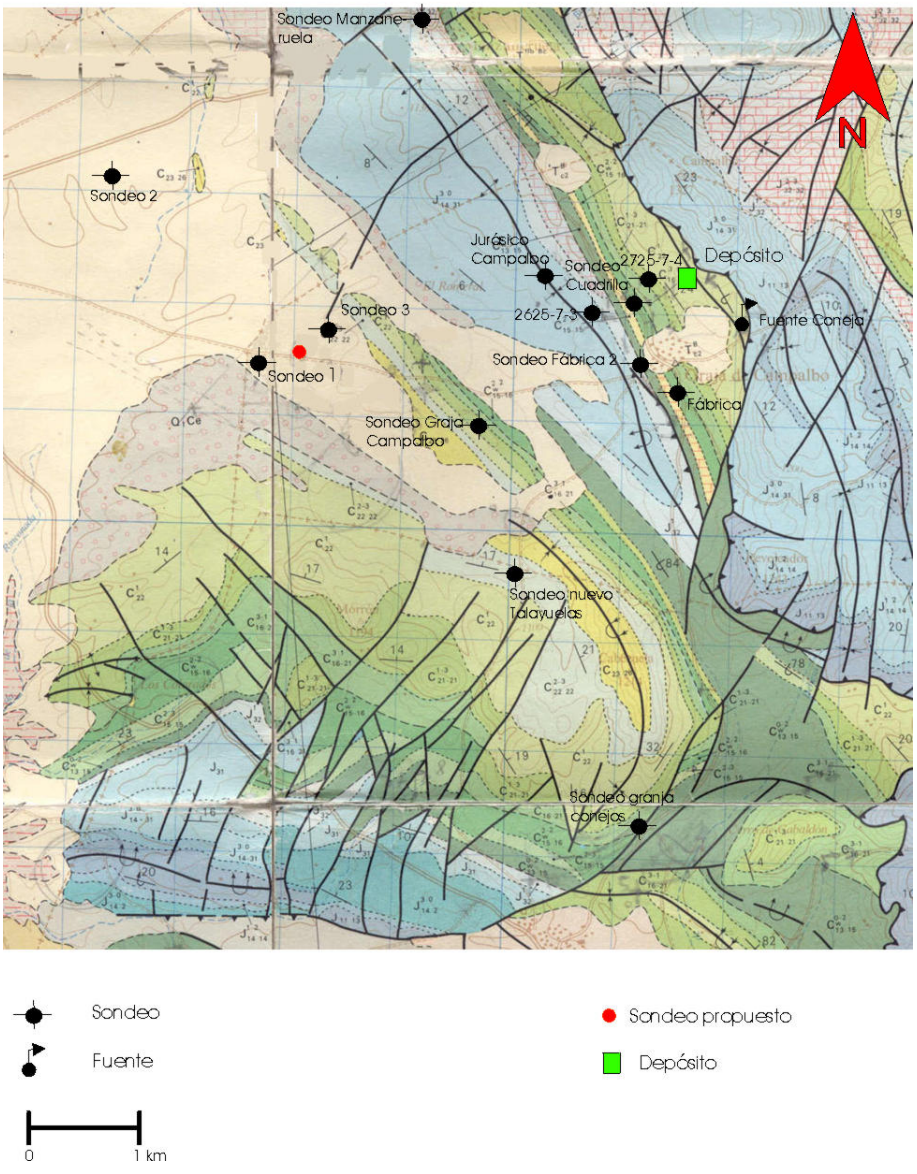
Son dolomías y calizas mal estratificadas a masivas, con niveles brechoides y carniolares. Su potencia es del orden de 80 m. Se definen como Senonienses.

Terciario

Conglomerados, areniscas, arcillas (T_{c2}^{B}) (32)

Son arcillas pardas, ocres y rojizas, con areniscas y conglomerados, que ocupan el núcleo del sinclinal cretácico de la Cabezuela. Se atribuye al Plioceno.

MAPA GEOLÓGICO Y DE SITUACIÓN



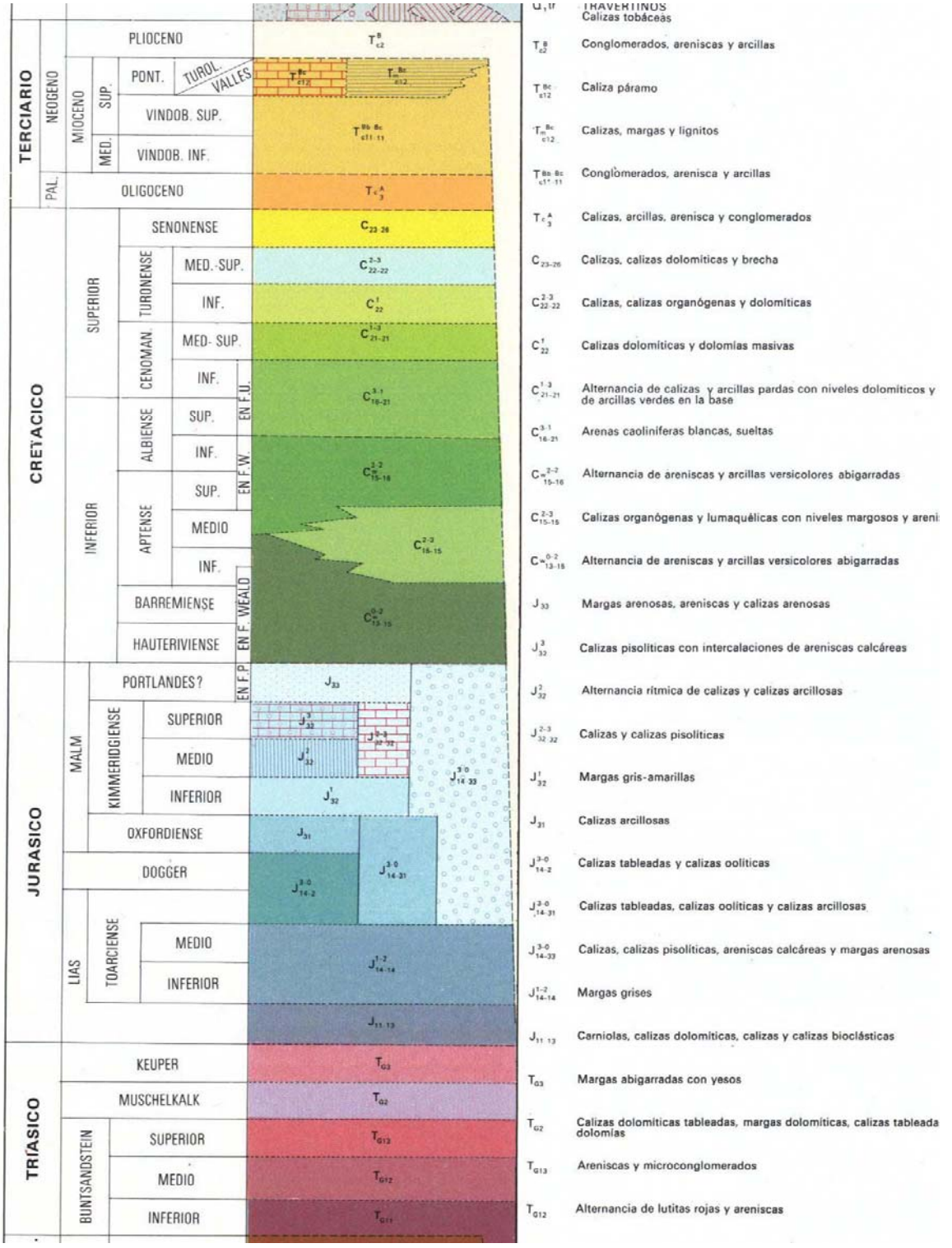


Figura 2. Mapa geológico con la ubicación de los puntos de agua más importantes.

TECTÓNICA

Graja de Campalbo se encuentra situada en una zona de fuerte plegamiento, de ejes NO-SE, siendo pliegues asimétricos, destacando:

- El sinclinal de la Cabezuela, cuyo flanco occidental es suave (10-20º) mientras que el oriental está muy verticalizado, con un núcleo de materiales cretácicos.
- El anticlinal de Graja de Campalbo, de flancos verticalizados (con buzamientos incluso invertidos) y cuyo núcleo aflorante es Jurásico.

Estos pliegues se encuentran parcialmente cubiertos por un cabalgamiento de materiales jurásicos.

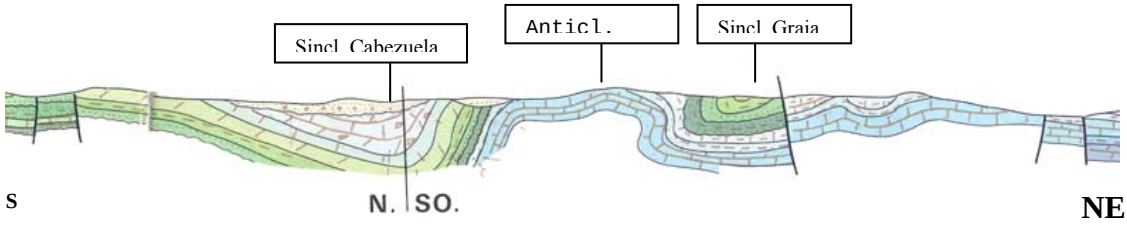


Figura 3.- Corte geológico de la zona estudiada (IGME, 1974).

Al E de la población se encuentra el sinclinal cretácico de Graja de Campalbo, que parece formar un sinclinal tumbado y vergente al NE, aunque en la cartografía no se recoge; en el reconocimiento de campo se observa, entre la calizas jurásicas del Pico Campalbo y las calizas cretácicas del cerro del depósito de agua, unas arcillas rojas y areniscas gruesas que bien podrían corresponder al Cretácico Inferior y que en la cartografía figuran como calizas del Cretácico superior.

2.2 Marco hidrogeológico 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 y Júcar y en Unidades Hidrogeológicas para la cuenca del Tajo, tal y como se muestra en la Figura 4.

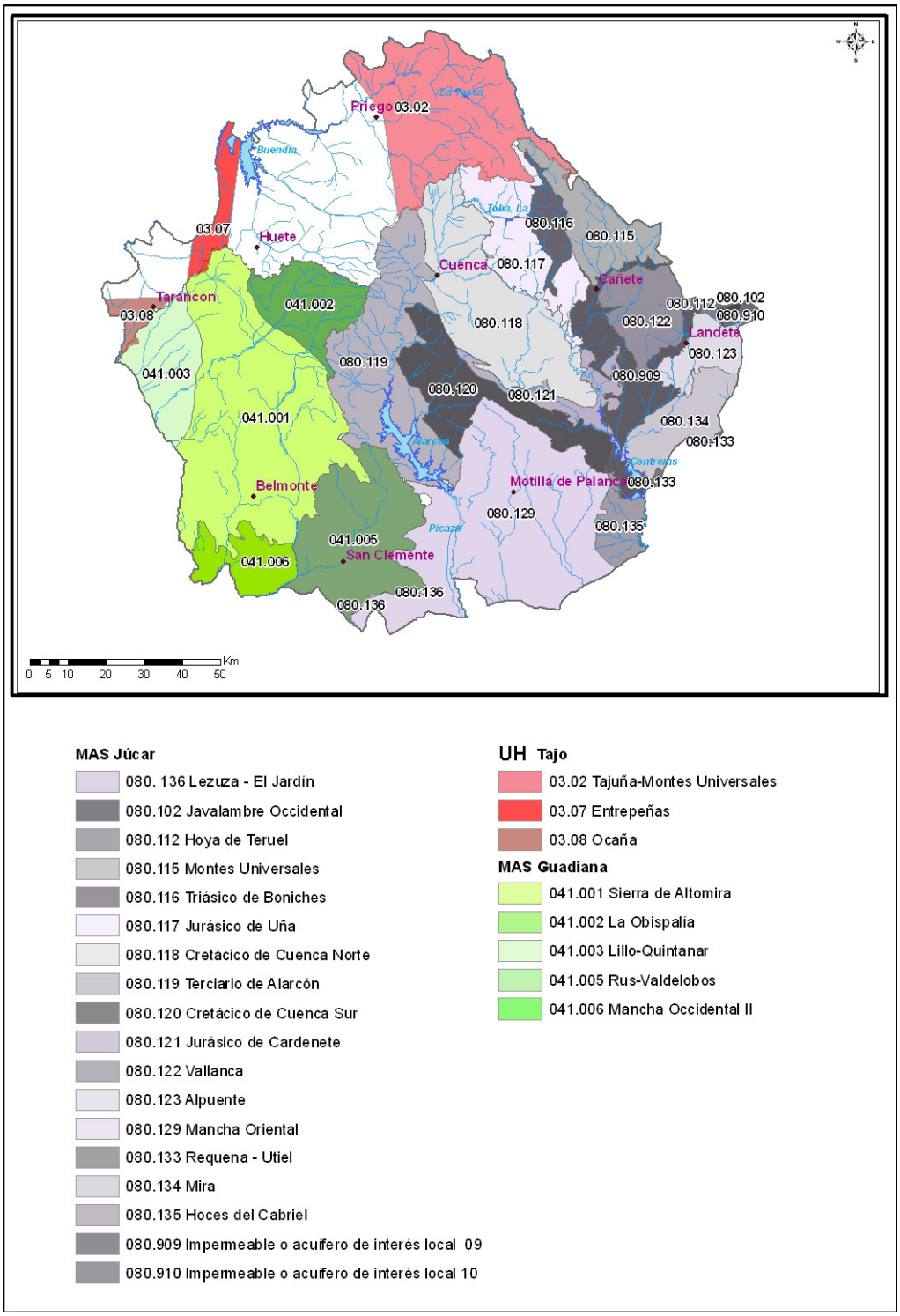


Figura 4. Masas de Agua Subterránea del Júcar y Guadiana (MAS) y Unidades Hidrogeológicas del Tajo de la provincia de Cuenca.

Graja de Campalbo pertenece a la Masa de Agua Subterránea 080.123 "Alpuente" de la Cuenca Hidrográfica del Júcar, anteriormente denominada 080.017 y antes como Unidad Hidrogeológica 08.15. Se trata de una masa que cuenta con diversos acuíferos, afectando el sondeo de Graja al acuífero Jurásico-Cretácico. La naturaleza de sus aguas es en su mayoría bicarbonatada cálcico- magnésicas aunque también se dan facies sulfatadas cálcico-magnésicas.

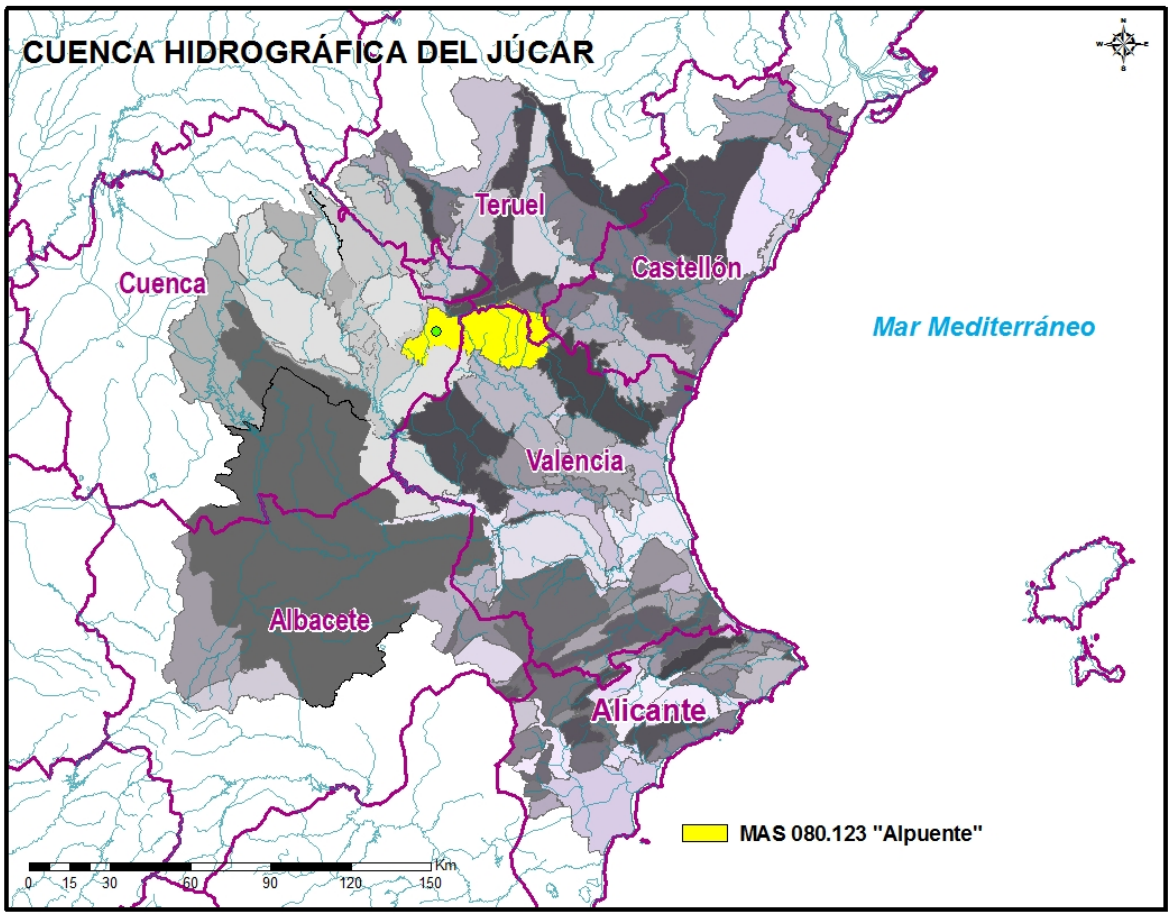


Figura 5. Masas de Agua Subterránea de la Cuenca Hidrográfica del Júcar y ubicación de los sondeos de Graja de Campalbo dentro de la MAS 080.123 "Alpuente".

2.3. Marco hidrogeológico local: formaciones acuíferas

Las principales formaciones acuíferas que encontramos en la zona son:

Calizas jurásicas

- *Anticlinal de Graja de Campalbo*

Las captaciones situadas en estos materiales en esta zona han resultado poco productivas, con caudales pequeños o no explotables, entre 0,5-3 L/s. Parecen definirse dos niveles acuíferos, con cotas piezométricas diferenciadas,en torno a 945 msnm y 885 msnm. Las transmisividades encontradas no son muy elevadas, del orden de 70 m^2/día a 5 m^2/día.

Es posible que al tratarse de áreas de recarga y no captarse en profundidad, de manera confinada, sus posibilidades de explotación sean pequeñas.

Se dispone de análisis del agua del sondeo de la Fábrica. Es de facies bicarbonatada cálcica, aunque muestra un elevado contenido en NO_3 (y también de Cl y SO_4) que puede indicar algún tipo de contaminación local.

- *Jurásico cabalgante del Pico de Campalbo*

Al NE de la localidad , a unos 600 m, se encuentra una cadena montañosa constituida por estas calizas jurásicas. El único punto de agua conocido, la fuente Coneja, se encuentra próximo a la localidad, con un caudal reducido, de 0,25 L/s, a una cota de 1114 m s.n.m. y una conductividad de campo muy baja, de 241 µS/cm. Su agua es de facies bicarbonatada cálcica

Arenas del Cretácico Inferior

Se captan en el extremo oriental del sinclinal de la Cabezuela, en una granja de conejos. Se atravesaron 88 m de arcillas y gravas, con un caudal de explotación < 2 L/s y una cota piezométrica de 1015 m s.n.m, aproximadamente. Regionalmente se ha reconocido un espesor de 60 m. Su conductividad es de 560 µS/cm.

Calizas y dolomías del Cretácico Superior

Se diferencian dos posibles acuíferos: el constituido por *el sinclinal de la Cabezuela* y el situado *al E de Graja de Campalbo*.

Acuífero del Sinclinal de la Cabezuela

Es un sinclinal asimétrico (Figura 2 y 3), sobre las calizas jurásicas, aisladas por las margas del Cretácico inferior. Se distinguen a su vez, como formaciones acuíferas independientes, los 125 m de dolomías turonienses (la más importante) y las calizas y dolomías cenomanienses.

Este sinclinal presenta unos buzamientos verticalizados en el flanco norte y 15-20º en el flanco sur.

Las ***dolomías turonienses*** parecen captarse en el "sondeo de Graja de Campalbo", de 208 m de profundidad, con una profundidad de nivel de 151 m ó 884 m s.n.m.(enero de 2002). Se explota con un caudal de 5 L/s. La conductividad de campo es de 406-454 µS/cm. Respecto a 1990 el nivel ha descendido 8 m. Las aguas son de facies bicarbonatada cálcica, con bajos contenidos en sulfatos y nitratos (19 y 17 mg/L) (Tabla 2).

Hacia el S de han perforado dos sondeos, de 170 y 215 m, con una cota piezométrica de 889 y 873 m s.n.m., definiéndose una dirección de flujo hacia el NO, hacia Landete. En el "sondeo 1" se realizó un ensayo de bombeo, descendiendo el nivel piezométrico tan sólo 1 m para un caudal de 19 L/s, suponiendo una T muy elevada, superior a 15.000 m^2/día. No obstante es preciso disponer de un ensayo adecuado para poder obtener los parámetros hidrológicos.

Esta formación se encuentra en el área de estudio con numerosas cavidades, que pueden indicar la presencia de karstificación.

	HCO_3	Mg	Ca	Cl	Na	SO_4	NO_3	Conductividad	Fecha
Sondeo Graja Campalbo	296	20	83	7	4	19	17	490	1/2000
	299	20	84	11	3	11	17	494	1/2002
Sondeo nuevo Talayuelas	328	27	83	6	4	18	16	509	1/2001

Tabla 2.- Características hidroquímicas de las aguas de las formaciones carbonatadas cretácicas.

Las ***calizas y dolomías cenomanienses*** se han alcanzado en el nuevo sondeo de Talayuelas, de 202 m de profundidad; los niveles acuíferos corresponden a niveles calizos, de 6 a 12 m de espesor, entre paquetes margosos. El nivel piezométrico se situaba a 107,22 m (952, 78 m s.n.m.), con una T próxima a 100 m^2/día y un caudal de explotación de 5 L/s. Las aguas presentan una facies bicarbonatada cálcica, muy

similar a la de las formaciones anteriores (Tabla 2).

Al E de Graja de Campalbo

Supone una incógnita. El área corresponde al afloramiento calizo donde se encuentran ubicados los depósitos de la localidad; allí las formaciones calizas presentan un buzamiento de capas entre 45º NE a la verticalidad, por lo que el espesor del acuífero puede ser importante. En superficie las capas muestran un aspecto de lapiaz, que indica una incipiente carstificación. Sin embargo no existen puntos o captaciones que permitan conocer si es un acuífero de interés.

HIDROQUÍMICA

Se dispone de análisis del agua del sondeo de Rebolledo (del que se abastecen actualmente) y del manantial de la Coneja, que aunque no incorporado a la red su uso como agua de bebida está ampliamente extendido en el pueblo. Ambas aguas presentan una facies bicarbonatada cálcica aunque el agua del manantial presenta una mineralización mucho más débil en comparación con el agua del sondeo. Éste presenta una concentración en nitratos de 13 mg/l, lo cual parece indicar cierta influencia de las prácticas agrícolas sobre el sondeo.

Muestra	DQO	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH	C.E.	NO2	NH4	SiO2
F-Campalbo	0,8	9,0	10,0	138,0	2,4	3,0	3,0	9,0	41,0	0,0	8,3	253	0,0	**0,0**	4,9
S-Rebolledo	0,6	10,0	11,0	324,0	0,0	13,0	5,0	23,0	85,0	0,0	7,5	503	0,0	0,0	4,8

Tabla 3. Características físico-químicas de las captaciones (CE en µS/cm, concentraciones en mg/l)

PROPUESTA DE PERIMETRO DE PROTECCIÓN

3.1 Inventario focos potenciales de contaminación.

El día de la visita se inventariaron los siguientes puntos de contaminación en las inmediaciones de la captación que podrían estar afectando negativamente a la calidad del agua del sondeo. Estos focos, situados en la Figura 6, quedan reflejados en la Tabla 4.

Foco	UTM_X	UTM_Y	Tipo de contaminación
Cementerio	648211	4417801	Fosfatos
Vertedero de inertes	647354	4418236	Variado
Granja de conejos	647534	4418165	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de cerdos 1	647541	4417949	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de cerdos 2	647787	4417643	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de cerdos 3	647916	4417362	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de cerdos 4	647812	4417328	Nitratos, fosfatos y potasio
Granja de cerdos 5	646855	4417038	Nitratos, fosfatos y potasio
Fábrica reciclaje plásticos	647797	4417927	Variado
Depuradora	647853	4417526	Vertido cumple requisitos técnico-sanitarios
Cultivos de cereal, vid y almendros	areal		Nitratos, fosfatos y potasio

Tabla 4. Potenciales focos de contaminación en el entorno de Graja de Campalbo

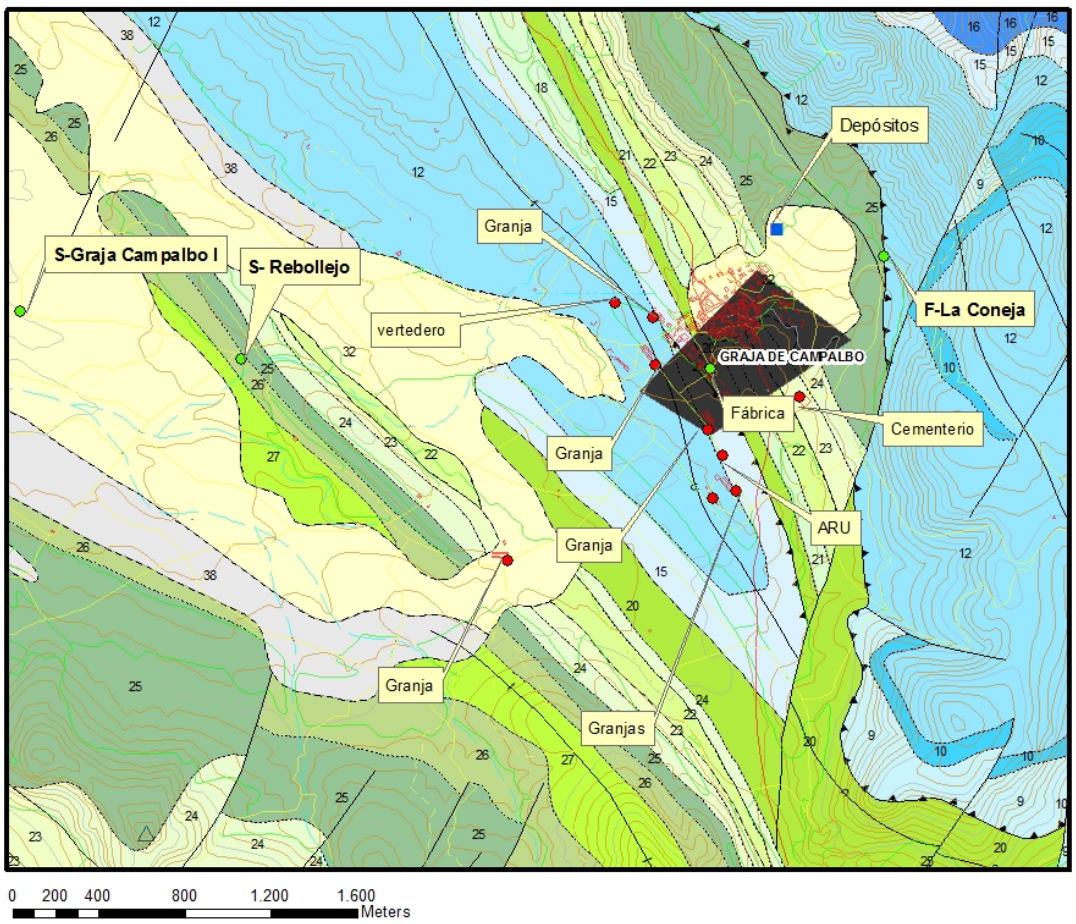


Figura 6. Mapa geológico con la ubicación de los potenciales focos de contaminación de Graja de Campalbo.

3.2 Estimación de la vulnerabilidad

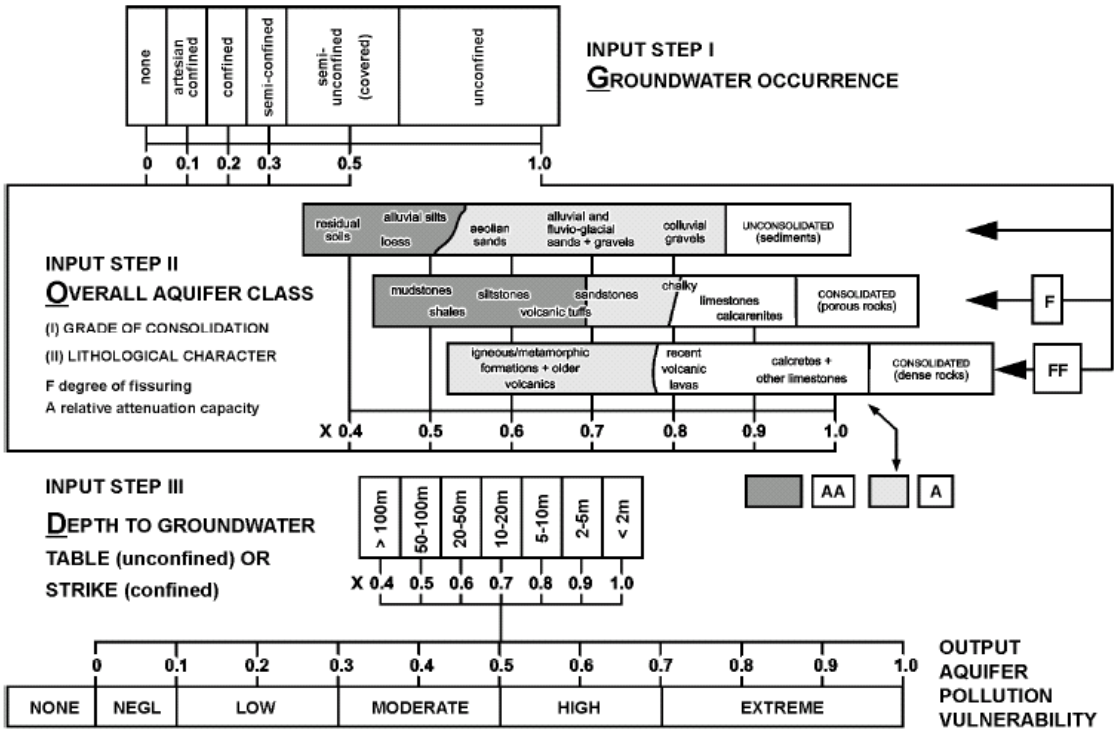
Una de las metodologías más adecuadas para la determinación de la vulnerabilidad es la realización de una cartografía de vulnerabilidad. Para su realización existen distintos métodos, como el método GOD utilizado en el presente estudio. Este método propuesto por Foster (1987) se basa en la asignación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

El sondeo Graja de Campalbo – 2 atraviesa 98 metros de arcillas y cantos calizos identificados como de edad cuaternaria en el esquema constructivo del sondeo (Figura 8), aunque según el mapa geológico serían materiales del Plioceno, y 110 m de materiales principalmente carbonatados del

Cretácico Superior. Se trata por tanto de un acuífero confinado y el valor de G será G = 0.2.

No se dispone de columna estratigráfica del sondeo del Rebollejo, el cual se encuentra perforado directamente sobre materiales carbonatados del Turoniense, pero que presumiblemente se encontraría en régimen de libre y por tanto tendrán las celdas un valor de G = 1.

En las celdas en las que afloran las calizas jurásicas se considera acuífero ausente.

El nivel piezométrico se encuentra en ambos sondeos a una profundidad de 133,4 m (Graja de Campalbo-2) y de 151 m (El Rebollejo), por lo que se asigna un valor de D = 0,4.

El valor del parámetro O va a depender del tipo de material presente en la celda en cuestión. Para las celdas donde afloran los materiales carbonatados acuíferos el valor será elevado (O = 0,9) El recubrimiento terciario a base de una serie fundamentalmente arcillosa protegería lo materiales calcáreos subyacentes más permeables (O = 0,5).

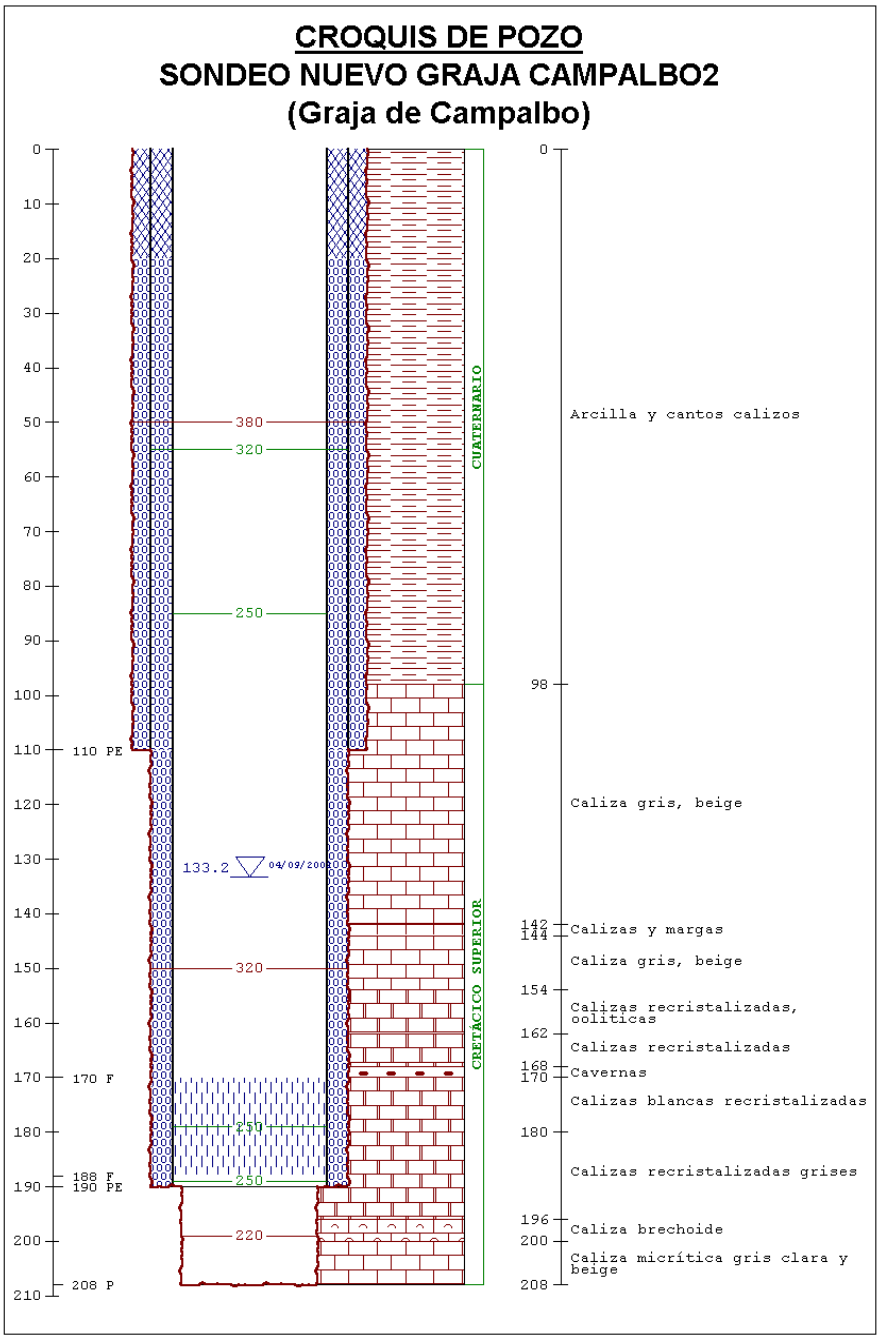


Figura 8. Esquema constructivo y columna estratigráfica del sondeo Graja de Campalbo-2.

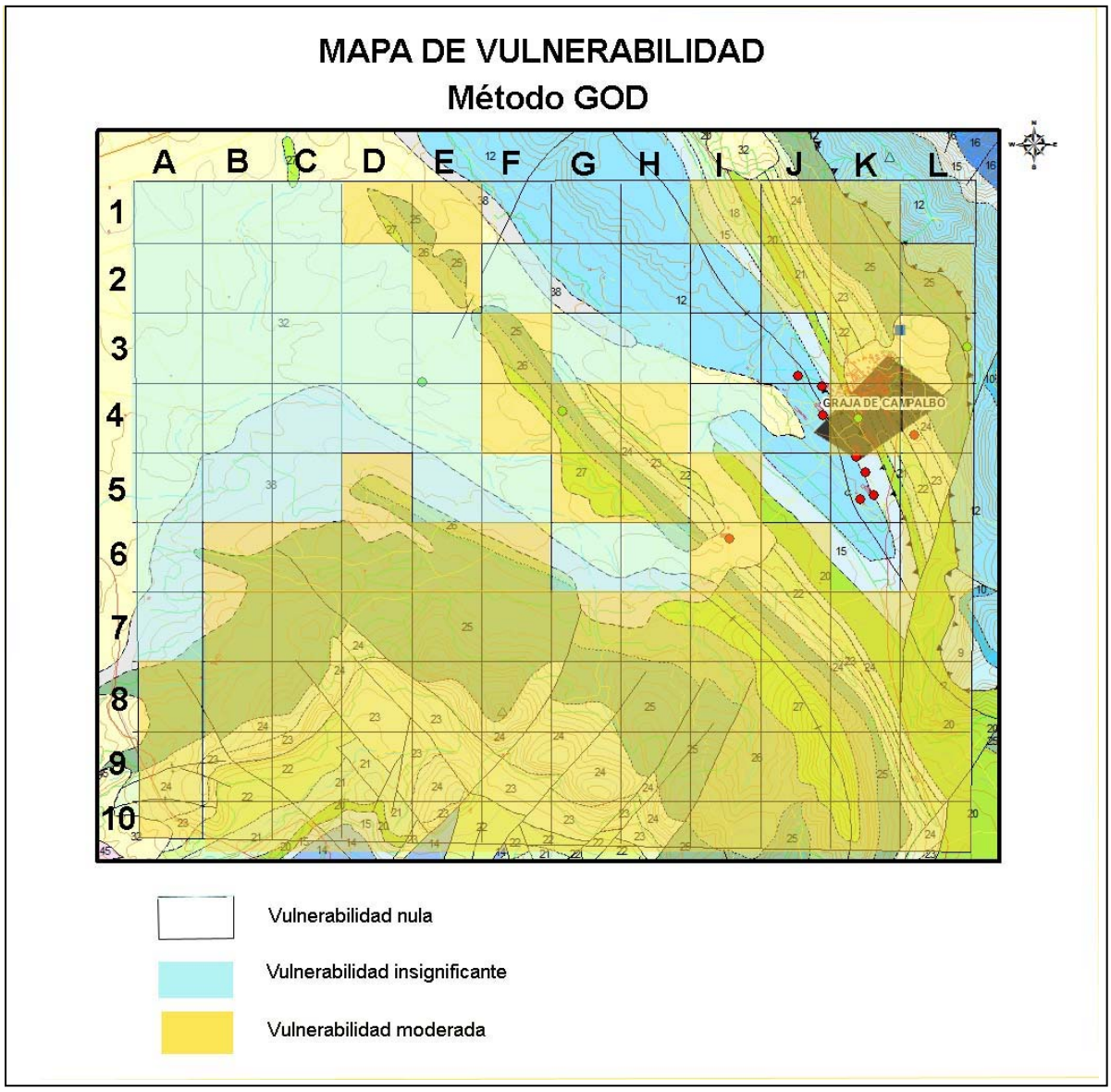


Figura 9. Cartografía de vulnerabilidad empleando el método GOD

La cartografía de vulnerabilidad obtenida muestra tres zonas diferenciadas en función de los materiales aflorantes, distinguiéndose una zona en la que la vulnerabilidad es moderada y otras dos, en las que la vulnerabilidad es nula (celdas con el jurásico aflorante) o insignificante (celdas en las que los materiales acuíferos se encuentran recubiertos por materiales arcillosos). El sondeo del Rebollejo se ubica en una celda de vulnerabilidad moderada mientras que el nuevo sondeo Graja de Campalbo-2 sobre una celda con vulnerabilidad insignificante.

En la zona de vulnerabilidad moderada más próximas a la captación, las precauciones en relación a potenciales actividades contaminantes habrá que extremarlas debido a las características del acuífero.

3.3. Perímetro de protección de las captaciones

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 Cañete, 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^2. 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 (m3/s)
k = permeabilidad horizontal (m/s)
me = porosidad eficaz
b = espesor del acuífero (m)

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

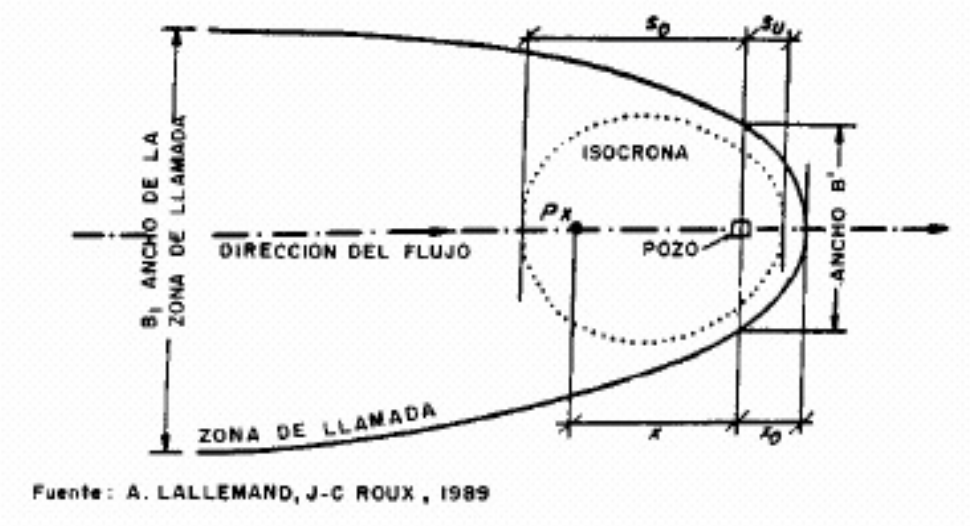


Figura 10. Método de Wyssling para el cálculo del tiempo de tránsito

Para el cálculo de las distintas zonas de protección del abastecimiento a Graja de Campalbo 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 disponible de niveles de sondeos próximos (Ver Anexo).

Graja de Campalbo	
Espesor del acuífero (m)	41 (espesor saturado en el sondeo)
Porosidad eficaz	0.0005 (confinado) o 0,06 (libre)
Permeabilidad horizontal (m/d)	240
Caudal de bombeo (l/s)	5
Gradiente hidraúlico	0.00515

Tabla 5. Parámetros utilizados para el cálculo del tiempo de tránsito según el método Wyssling

Como espesor del acuífero se ha tomado el espesor saturado encontrado en el sondeo, un total de 41 m, aunque muy probablemente el espesor real sea mayor.

Para la porosidad eficaz se ha tomado un valor estimativo basándose en los valores proporcionados por Iglesias (1985) y considerando que el acuífero es confinado. Si consideráramos acuífero libre, los

resultados obtenidos se reducirían considerablemente.

La permeabilidad se ha deducido del ensayo de bombeo del sondeo Graja de Campalbo-2 y el gradiente se ha calculado con medidas de piezometría de sondeos próximos.

Los valores así obtenidos para los radios de los distintos perímetros son en general muy elevados y se van a adaptar a las características hidrogeológicas del terreno y vulnerabilidad intrínseca. Se trata de un acuífero carbonatado kárstico, compartimentado, en el que el medio en el que se da el transporte no va a ser homogéneo por lo que habrá que prestar especial atención a las zonas con mayor vulnerabilidad intrínseca a la contaminación y otras consideraciones hidrogeológicas ya que es sabido que el riesgo de contaminación en estos acuíferos no decrece de modo continuo con el aumento de la distancia a la captación. En el caso del sondeo nuevo Graja de Campalbo-2 y similares, perforados sobre la cobertura terciaria a base de arcillas fundamentalmente, estas van a ofrecer una protección natural a la contaminación a través de sus 100 m de espesor, por lo que se va a poner especial énfasis en las zonas en las que el acuífero aflora y actúa como libre.

3.3.1 Perímetro de restricciones absolutas

Ambos sondeos de abastecimiento ya cuentan con un perímetro vallado pero de escasas dimensiones los cuales se recomienda ampliar hasta un cuadrado de aproximadamente 15x15 m de lado, suficiente para proteger al sondeo de una contaminación con tiempo de tránsito hasta llegar a la captación de un día. En el sondeo de El Rebollejo, se haría necesario modificar el trazado del camino En esta zona se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación. Las coordenadas de dicho perímetro vallado se encuentran en la Tabla 8.

Figura11. Mapas de la propuesta de vallado parta el perímetro de restricciones absolutas. (izquierda, Sondeo del Rebollejo; dcha. Sondeo nuevo de Graja de Campalbo-2).

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.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos para Sii, según este método, y en la Figura 12 la representación cartográfica que se ha hecho del mismo ajustándose a las consideraciones hidrogeológicas señaladas antes.

Graja de Campalbo	
SII aguas arriba (m)	1510
SII aguas abajo (m)	3

Tabla 6. Valores del radio del perímetro de restricciones máximas

Así, se ha extendido el perímetro para incluir la zona elevada al sur de los sondeos en los que afloran los materiales carbonatados del cretácico Superior y que suponen el área de recarga más próxima a los sondeos. En esta zona, el perímetro se ha hecho coincidir con la divisoria de aguas superficiales.

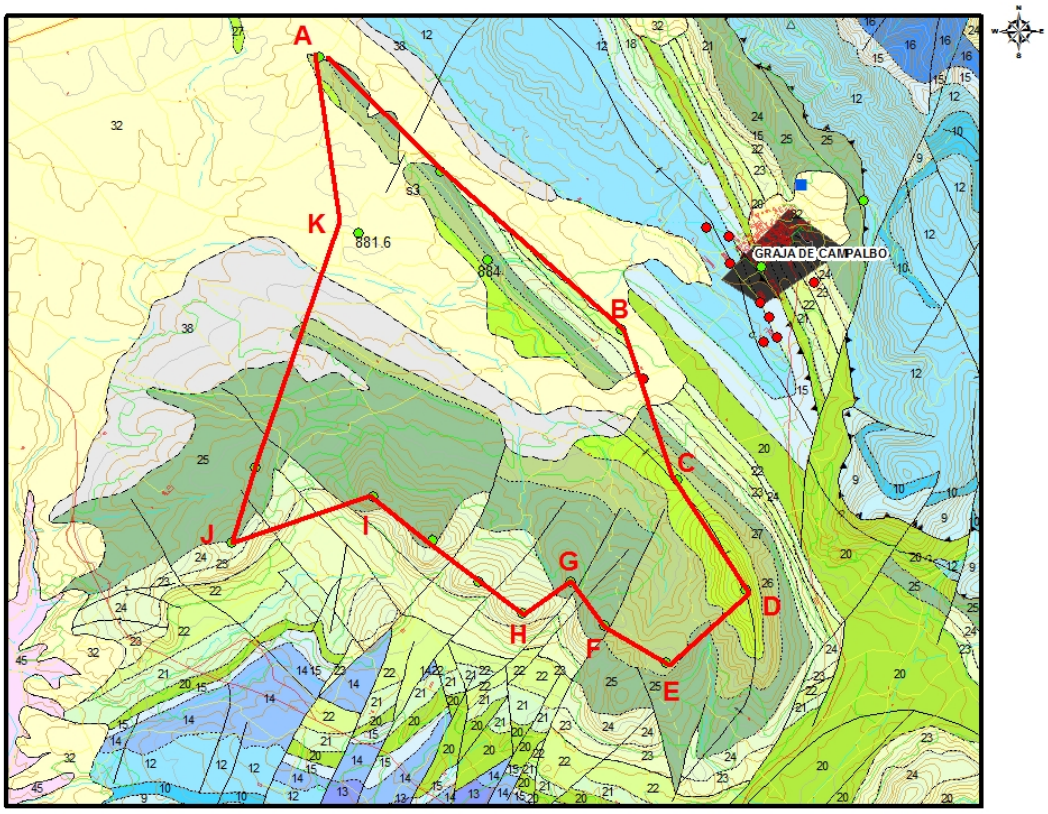


Figura 12. Mapa de la propuesta del perímetro de zona de restricciones máximas.

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.

Graja de Campalbo	
SII aguas arriba (m)	91698
SII aguas abajo (m)	3

Tabla 7. Valores del radio del perímetro de restricciones moderadas

El valor obtenido mediante este método se considera desproporcionado y se ajustará a las características geológicas del terreno. El perímetro es similar al planteado para el caso del perímetro de restricciones máximas pero incluyendo también los materiales carbonatados del Cretácico Superior al sur de la divisoria de aguas superficiales. (Ver 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 de los sondeos de Graja de Campalbo 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 = 10000 m2/día
Q = Caudal (caudal máximo del sondeo a proteger) = 5 l/s
t = Tiempo de bombeo (generalmente 120 días)
r = Distancia al sondeo de captación (1000 m)
S = Coeficiente de almacenamiento = 0.05 y 0,0005

Con los datos indicados se obtiene el descenso provocado por un sondeo, que explote 5 l/s durante 120 días continuados, y situado a unos 1000 m de distancia. El descenso obtenido de 0.01 m considerando acuífero libre y de 0.03 en caso de acuífero confinado se considera razonable, puesto que es muy inferior al 10% del espesor saturado de la captación a proteger.

En la Figura 13 se representan gráficamente las distintas zonas de protección definidas dentro del perímetro de protección del sondeo de abastecimiento a Graja de Campalbo y en la Tabla 8 las actividades restringidas en cada área.

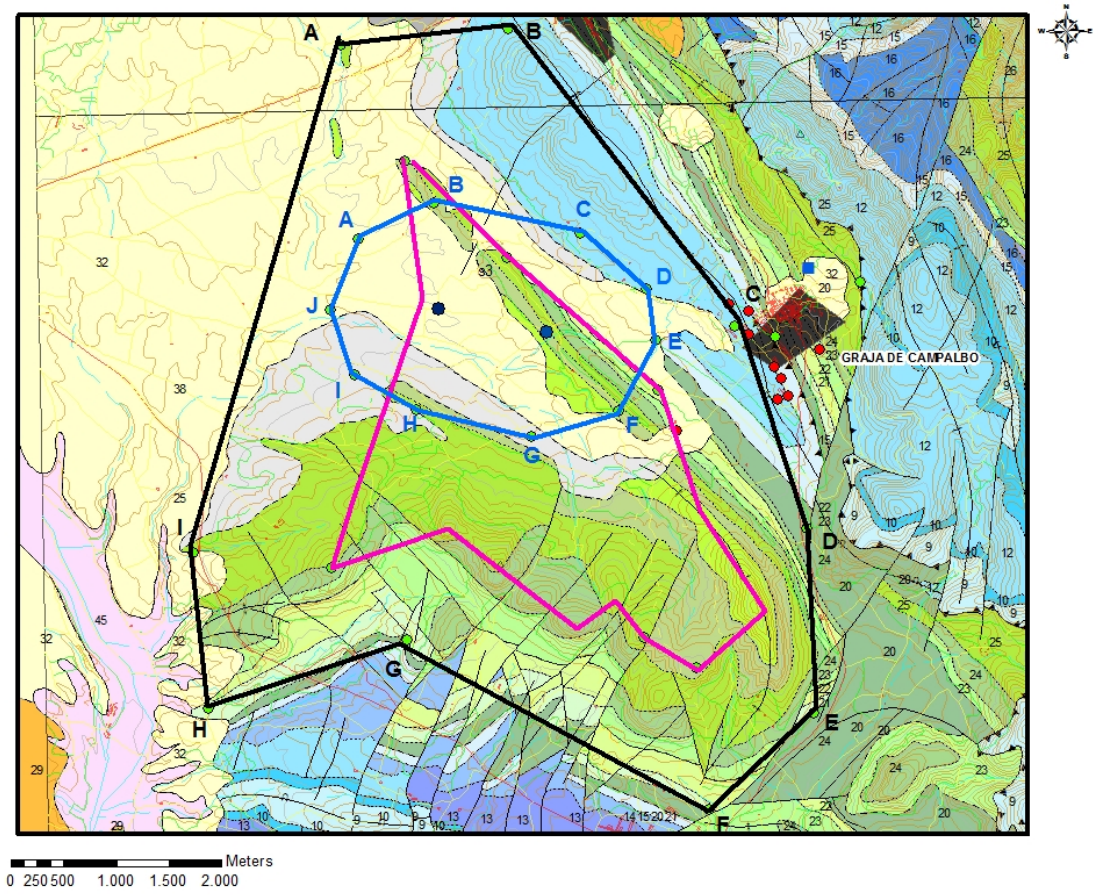


Figura 13. Resumen cartográfico de los perímetros de protección de la captación de las Mesas.

		Nº PUNTO	UTM_X	UTM_Y	Z
ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS	**S-Rebollejo**	A	645617	4417978	1018
		B	645629	4417986	1018
		C	645637	4417975	1018
		D	645623	4417967	1018
	S-Graja 2	A	644578	4418212	1000
		B	644595	4418214	1000
		C	644594	4418195	1000
		D	644576	4418198	1000
ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS	**S-Rebollejo S-Graja 2**	A	644222	4419616	998
		B	646698	4416231	1042
		C	647128	4416231	1042
		D	647696	4415361	1190
		E	647040	4414774	1150
		F	646531	4415067	1160
		G	646277	4415399	1120
		H	645896	4415145	1160
		I	644702	4416084	1160
		J	643587	4415723	1150
		K	644467	4418266	1000
ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS	**S-Rebollejo S-Graja 2**	A	643683	4420683	1091
		B	645281	4420888	1070
		C	647448	4418092	1080
		D	648102	4416082	1060
		E	648174	4414387	1030
		F	647182	4413455	1010
		G	644264	4415029	1040
		H	642412	4414399	970
		I	642242	4415900	980
ZONA DE RESTRICCIONES DE CAUDAL		A	643838	4418849	990
		B	644550	4419204	1010
		C	645942	4418947	1042
		D	646574	4418365	1050
		E	646673	4417881	1040
		F	646673	4417881	1040
		G	645488	4416972	1020
		H	644382	4417209	1017
		I	643809	4417565	1000
		J	643601	4418180	990

Tabla 8. Coordenadas UTM propuestas para los distintos perímetros de protección de los sondeos de abastecimiento a Beteta.

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 9.

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

La zona en la que se emplaza el sondeo es una zona eminentemente agrícola y ganadera, dedicada fundamentalmente al cereal, la vid, almendros y granjas de cerdos y conejos. En el mismo pueblo existe una fábrica de reciclaje de plásticos. Las actividades relacionadas con la agricultura extensiva se revelan como fuente de los nitratos presentes en el agua de la captación por lo que habría que controlar y limitar la aplicación de compuestos nitrogenados como fertilizantes. Ninguno de los potenciales focos de contaminación queda englobado en ninguno de los perímetros de protección

propuestos, aunque alguno queda muy próximo, como es el caso de una granja de cerdos, limítrofe con el perímetro de restricciones máximas.

Así, tras examinar los perímetros, la cartografía de vulnerabilidad realizada y las actividades que en ellos se dan, se estima necesario un control exhaustivo sobre los **fertilizantes y pesticidas** aplicados al terreno, los cuales quedarían prohibidos en el perímetro de restricciones máximas y que afectarían directamente a los campos colindantes con los sondeos. Asimismo, instalaciones ganaderas dentro de este perímetro quedarían también prohibidas. La granja de coordenadas X = 646855 e Y = 4417038 deberá asegurar la correcta gestión de los residuos generados, prohibiéndose la aplicación de purines a los campos próximos. En el caso del perímetro de restricciones moderadas, se recomienda estudio agronómico en el que se evalúe, por ejemplo, la dotación más adecuada para cada tipo de cultivo.

Cualquier actividad que se pretenda llevar a cabo dentro de alguno de los perímetros descritos deberán cumplir los requisitos expuestos en la Tabla 9. Por ejemplo, la apertura de canteras quedará prohibida excepto en el perímetro de restricciones moderadas, en el que quedará supeditado a informe favorable acerca de la no afección de la cantera a la calidad del agua subterránea.

En el caso de la perforación de nuevos sondeos, 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, mayo de 2011
Los autores del informe

Fdo. Esther Alonso Marín
José Ángel Díaz Muñoz

4. BIBLIOGRAFÍA

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

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

IGME (1998). Mapa geológico nº637 "Landete". E 1/50.000 Segunda serie-Primera Edición. Madrid.

ANEXO

INVENTARIO PUNTOS DE AGUA EN EL ENTORNO DE GRAJA DE CAMPALBO

Nº INVENTARIO	NAT.	COTA (m s.n.m.)	PROF. (m)	Q (L/s)	Prof. N.pz./Fecha	ACUIFERO
2625-7-0004	S	1100	120		111 (3/73)	Cretácico
Sondeo Manzaneruela	S	1060	280		155,5 (11/87) negativo	Caliza jurásica Anticlinal Graja
Sondeo Fábrica 2	S	1080	280	2	242 (1/02)	
2625-7-0003	S	1070	150		125,05(6/72)	
Jurásico Campalbo	S	1089	216	1,5	174,8 (3/82) 185(11/87)	
Sondeo Graja Campalbo	S	1035	208	5	143 (1990) 150 (3/01) 151(1/02)	Caliza cretácica Sinclinal Cabezuela
Sondeo nuevo Talayuelas	S	1060	202	4	107,22 (2/01)	
Sondeo 1	S	1010	170	15	121 (1/02)	
Sondeo 2	S	1008	215	4	138(3/01)	
Sondeo 3	S	1030	180		No se finalizó	
Fábrica Graja	S	1070	114		seco	Margas cretácicas
Sondeo Cuadrilla	S	1100	22	1	16,9 (11/87)	Detrítico cretácico
Sondeo granja conejos	S	1050	88	2		
Fuente Coneja	F+G	1114		0,25		Caliza jurásica Pico Campalbo