



Las
aguas
subterráneas
en la planificación hidrológica



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Instituto Geológico
y Minero de España

DIRECCIÓN
GENERAL DEL
AGUA

Las aguas subterráneas en la planificación hidrológica

Edición a cargo de: **Loreto Fernández Ruiz**

Las AGUAS subterráneas en la planificación hidrogeológica/
Loreto Fernández Ruiz, ed.- Madrid: Instituto Geológico y Mi-
nero de España, 2012

481 pgs; ils; 30 cm
Nipo 474-11-028-8

1. Aguas subterráneas 2. Planificación cuenca hidrogeológica
3. Piezometría 4. Mapa piezométrico 5. Balance de agua. I Ins-
tituto Geológico y Minero de España, ed. II. Fernández Ruiz,
L., ed.

556.1

Ninguna parte de este libro y mapa puede ser reproducida o transmitida
en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluido
fotocopias, grabación o por cualquier sistema de almacenar información, sin
el previo permiso escrito del autor y editor.

© Instituto Geológico y Minero de España.
Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid

NIPO: 474-11-028-8
Depósito legal: M-21523-2012

Diseño interiores, cubierta y producción: Oficina gráfica de Barrero & Acedo

Las aguas subterráneas en la planificación hidrológica

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ix
Caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015.	1
Interrelación entre aguas superficiales y subterráneas, manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico.	37
Mapa piezométrico de España.	71
Establecimiento de indicadores de intrusión marina y cálculo de descargas ambientales al mar en masas de agua subterránea costeras.	127
Protección de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano.	151
Determinación de tendencias y punto de inversión en las cuencas intercomunitarias.	175
Selección e identificación de masas de agua donde es preciso plantear estudios y actuaciones de recarga artificial de acuíferos.	193
Actuaciones en aguas subterráneas para la revisión de los planes de sequía.	235
Incorporación de fuentes de datos, métodos y criterios geológicos en el análisis y la cartografía de áreas inundables por avenidas torrenciales.	267
Diseño y metodología de intercambio de información hidrogeológica.	297
ESTUDIOS ESPECÍFICOS DE APOYO A LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA	
Actualización de la masa de agua subterránea de Xinzo de Limia.	313
Evaluación de los recursos disponibles de agua subterránea en las masas de agua subterránea de la La Alcarria, Talavera, Ocaña, Tiétar de la Demarcación Hidrográfica del Tajo.	331
Estimación de los recursos disponibles para cada masa de agua subterránea de la cuenca alta del Guadiana	347
Propuesta de zonificación, basada en criterios geológicos e hidrogeológicos de la cuenca alta del río Guadiana.	363
Estudio hidrometeorológico y análisis del efecto del periodo húmedo 2009/10 en los acuíferos en la cuenca alta del Guadiana.	377

Estudio de la evolución futura del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana a partir de diferentes escenarios meteorológicos y de explotación.	397
Propuesta de declaración de sobreexplotación de un conjunto de masas de agua subterránea situadas en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.	415
Estudio de definición de la transferencia subterránea de la MASb Boquerón con otras masas definidas en la Demarcación hidrográfica del Júcar.	439
Caracterización básica de masas de agua subterránea de la Confederación hidrográfica del Júcar.	457

Presentación

La Dirección General del Agua, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, tiene entre sus competencias la elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico Nacional, el establecimiento de criterios homogéneos y de sistematización para la revisión de los Planes Hidrológicos de los organismos de cuenca, bajo el principio de sostenibilidad, así como la elaboración de la información sobre los datos hidrológicos y de calidad del agua y, en general, de aquella que permita un mejor conocimiento de los recursos, del estado de las infraestructuras y del dominio público hidráulico.

Los objetivos generales de la planificación hidrológica se centran en conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales, guiándose para ello por criterios de sostenibilidad en el uso del agua, mediante la gestión integrada y la protección a largo plazo de los recursos hídricos. Asimismo, la planificación hidrológica debe contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.

Para el cumplimiento de estos objetivos, las aguas subterráneas constituyen un elemento esencial en el proceso de planificación, en tanto que la superficie del país cubierta por afloramientos permeables es del orden de 176.000 km² que reciben una recarga natural media que asciende a casi 21.000 hm³/año. Son numerosas las demandas atendidas en España por aplicación directa de las aguas subterráneas, sea por medio de captación a través de pozos o galerías, sea por el aprovechamiento directo de las surgencias en fuentes o manantiales, estimándose en más de 6.000 hm³ el total aplicado para los distintos usos.

Las aguas subterráneas están íntimamente ligadas con el medio ambiente, tanto en sus aspectos de generación como de preservación y constituyen una de las fórmulas que permiten incrementar la oferta de agua de manera rápida en situaciones extremas, si bien están también expuestas a los procesos de contaminación que, aunque con un mayor grado de protección frente a ella que las superficiales, su detección desde que se produce puede tardar mucho tiempo, tratándose además de un fenómeno masivo cuya solución puede ser compleja y costosa.

Por su parte, el Instituto Geológico y Minero de España, Organismo Público de Investigación adscrito al Ministerio de Economía y Competitividad a través de la Secretaría Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, tiene entre sus funciones la información, la asistencia técnico-científica y el asesoramiento a las Administraciones públicas, agentes económicos y a la sociedad en general, en geología, hidrogeología, ciencias geoambientales, recursos geológicos y minerales y realización de estudios y proyectos conducentes al establecimiento de criterios que sirvan de base para la elaboración de normativas ambientales preventivas y correctoras, así como realizar el control y seguimiento de la aplicación de las medidas en lo que haga referencia al terreno y al agua subterránea.

La Disposición Adicional Cuarta del Texto Refundido de la Ley de Aguas, faculta al IGME para colaborar y prestar asesoramiento a las distintas Administraciones Públicas en materia de Aguas Subterráneas, así como para formular y desarrollar planes de investigación tendentes a mejorar el conocimiento y protección de los acuíferos.

En estas circunstancias, en noviembre del año 2007 se tomó la decisión, por parte de los Ministerios de Medio Ambiente y Educación y Ciencia, de suscribir un acuerdo para la encomienda de gestión al Instituto Geológico

y Minero de España cuyo objetivo se centraba en la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas, a fin de mantener sus funciones potenciales y lograr una gestión sostenible, mediante un enfoque que armonizara los procesos cualitativos y cuantitativos, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Aguas, en la Directiva Marco del Agua y en la Directiva sobre protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

El presente documento presenta una síntesis del resultado de los trabajos realizados para cumplimentar las actividades objeto de la encomienda, y pretende ser una guía que permita conocer a quien la examine el alcance de la labor realizada.

Cabe mostrar aquí la satisfacción por los frutos obtenidos y, muy en particular, por la fluidez, disposición y espíritu de cooperación con que se ha desarrollado este proceso de colaboración entre dos Departamentos de la Administración, para cuyo desarrollo ha sido necesario coordinar a organismos de muy distinta naturaleza, empresas públicas y privadas y entidades de muy distinta índole cuyo único nexo común era el interés por el conocimiento del uso sostenible del agua.

Juan Urbano López de Meneses
Director General del Agua

Rosa de Vidania Muñoz
Directora del Instituto Geológico y Minero de España

CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE LAS MASAS DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN RIESGO DE NO CUMPLIR LOS
OBJETIVOS MEDIO AMBIENTALES EN 2015

Julio López Gutierrez
José María Ruiz Hernández
Celestino García de la Noceda



En este capítulo, se recoge una síntesis de los trabajos llevados a cabo en la Actividad n.º 2 *Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015* de la Encomienda de Gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al IGME relativa a la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas

Director de la actividad:

Miguel del Pozo Gómez. Instituto Geológico y Minero de España

Equipo de trabajo

Instituto Geológico y Minero de España

Julio López Gutiérrez
José M.ª Ruiz Hernández
Celestino García de la Noceda Márquez
Loreto Fernández Ruiz
José Román Hernández Manchado
Miguel Mejías Moreno

Dirección General del Agua:

Manuel Varela Sánchez
Ignacio del Río Marrero
Isaac Sánchez Navarro
Blanca Sahún Artiga
Antonio Perez Baviera

Empresas colaboradoras:

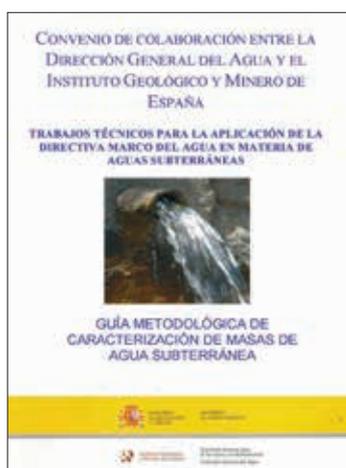
CONSULNIMA
U.T.E. AYESA-IBERHIDRA
ZETA AMALTEA

CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN RIESGO DE NO CUMPLIR LOS OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES EN 2015

INTRODUCCIÓN

El objetivo de los trabajos llevados a cabo en esta actividad, fue dar apoyo a las Confederaciones Hidrográficas en la realización de la caracterización adicional de aquellas masas de agua subterránea que, tras la revisión de las que habían sido designadas en estudio, fueron consideradas en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015 a fecha de enero de 2008 (232 masas de agua subterránea de las 8 Demarcaciones Hidrográficas intercomunitarias).

Como antecedentes más destacables de estos trabajos, hay que mencionar, entre otros, el desarrollo dentro del Convenio de Colaboración entre la Dirección General del Agua (DGA) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), de una documento guía para la caracterización adicional de las masas de agua subterránea y, la realización de estudios piloto de caracterización adicional de cuatro masas representativas de diferentes problemáticas.



Los trabajos se realizaron en coordinación con los órganos responsables de las Demarcaciones Hidrográficas intercomunitarias, competentes en el cumplimiento de esta obligación de ámbito comunitario, solicitando de los

mismos los datos que estuvieran manejando o fueran a reflejar en los planes hidrológicos de cuenca en proceso.

La información disponible se almacenó en una ficha diseñada al efecto, incorporada a una base de datos desarrollada en Access, que permitió recoger de forma sistemática la información requerida para la caracterización adicional de las masas en riesgo y disponer de datos representativos para su posterior utilización.

METODOLOGÍA DESARROLLADA

El elemento central de la actividad es la *Ficha de caracterización adicional para cada una de las masas de agua subterránea*, compuesta por los apartados que se describen a continuación.

APARTADO	DENOMINACIÓN
1	IDENTIFICACIÓN
2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES
3	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
4	ZONA NO SATURADA
5	PIEZOMETRÍA. VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO
6	SISTEMAS DE SUPERFICIE ASOCIADOS Y ECOSISTEMAS DEPENDIENTES
7	RECARGA
8	RECARGA ARTIFICIAL
9	EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
10	CALIDAD QUÍMICA DE REFERENCIA
11	EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO
12	DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS DE CONTAMINANTES
13	USO DEL SUELO
14	FUENTES SIGNIFICATIVAS DE CONTAMINACIÓN
15	OTRAS PRESIONES
16	OTRA INFORMACIÓN GRÁFICA

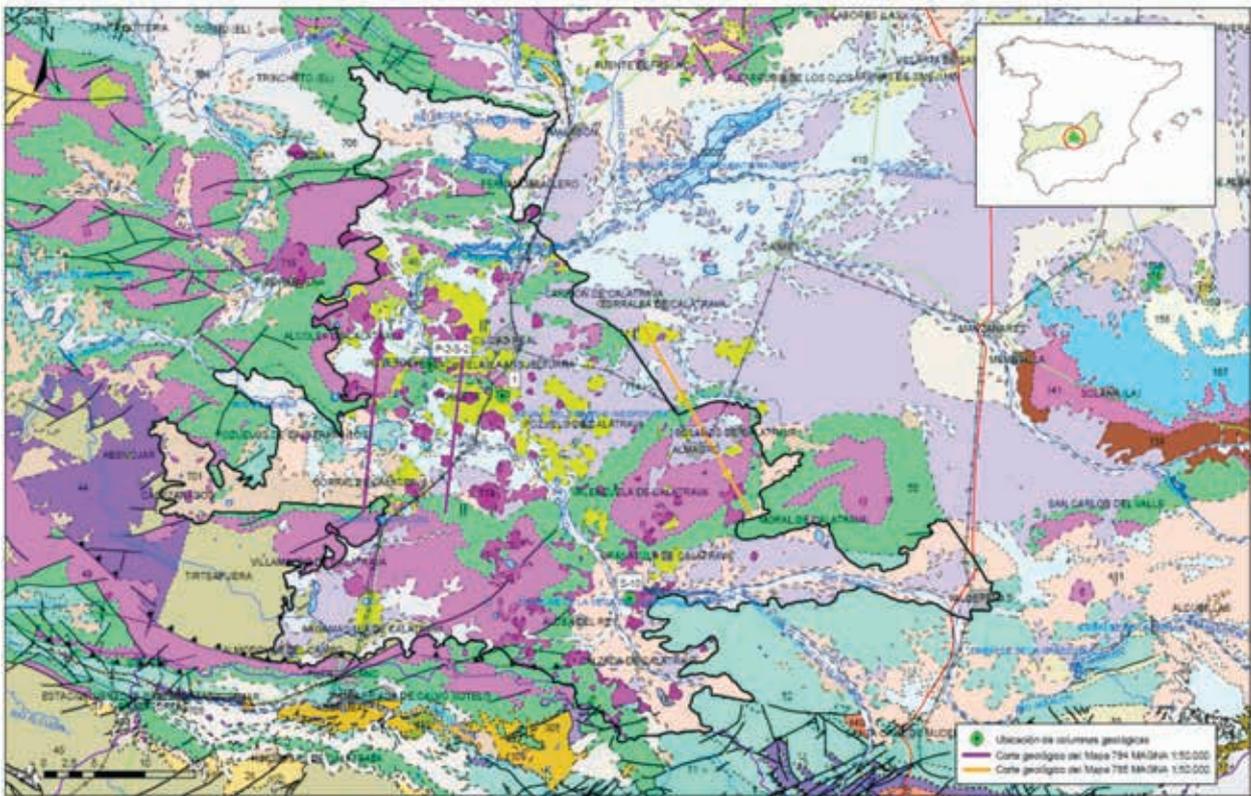


Figura 2. Mapa litoestratigráfico 041.009 Campo de Calatrava.

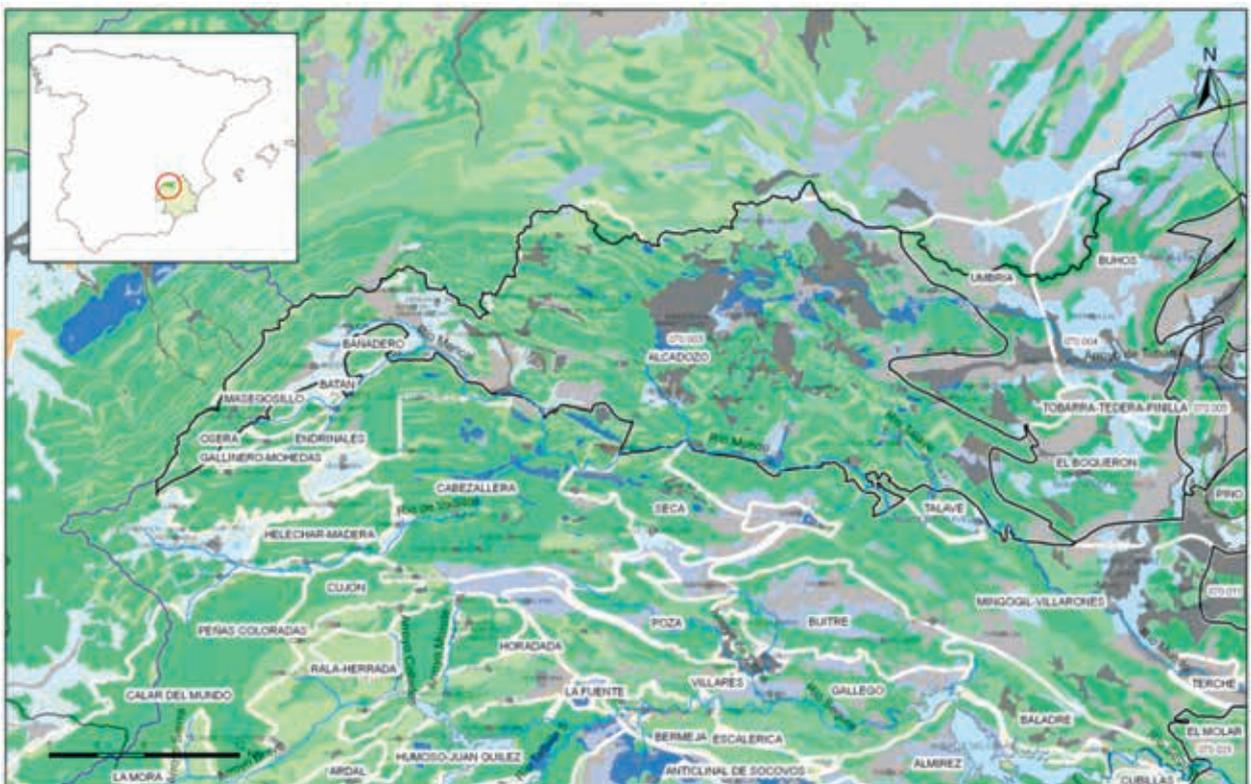


Figura3. Mapa de permeabilidades con especificación de acuíferos 070.003 Alcazozo

los datos de espesores se calcularon, cuando existía información, por diferencia entre las cotas del modelo digital de elevaciones del terreno y las cotas de la superficie piezométrica del acuífero. En el caso de no poder calcularse, se representaron mediante puntos con los valores calculados en un mapa, cuya base era el mapa de permeabilidades.

La información edafológica se recogió en una tabla en la que se incluyeron tanto la clasificación sistemática de los distintos tipos de suelos, como la superficie ocupada por cada tipo de suelo. En los casos en los que no existían mapas edafológicos de detalle, se optó por utilizar el mapa de suelos del IGN, a escala 1:1.000.000 (figura 4).

En el apartado correspondiente a la vulnerabilidad frente a la contaminación se recogen los valores procedentes de estudios publicados, indicando en cada caso el procedimiento de cálculo del índice, y la información gráfica disponible (figura 5).

Piezometría. Variación del almacenamiento

Se hace referencia a la red de seguimiento utilizada para

el control de la piezometría en la masa (número de puntos, densidad espacial etc.) y al análisis de tendencias sobre la evolución observada en algunos piezómetros.

Dentro del apartado de *Características piezométricas*, se recoge la información básica que procede tanto de los datos de las redes de observación de piezometría actuales e históricas, como de los datos numéricos o gráficos existentes en estudios e informes de interés, para año seco y húmedo, de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) *Piezometría de referencia*: definida como aquella que corresponde a la situación menos antropizada y que más se debe asemejar al flujo natural.
- b) *Recientes de estiaje*: Se consideró como periodo de estiaje el correspondiente a la situación existente al finalizar el año hidrológico, es decir septiembre-octubre, del año más reciente disponible.
- c) *Reciente de periodo húmedo*: En este caso, se considera la situación que se debe encontrar en aguas altas, es decir al final del periodo de lluvias de primavera, normalmente en mayo.
- d) *De año seco y de año húmedo*: Se utilizó la serie de precipitaciones de cada Demarcación para un perio-

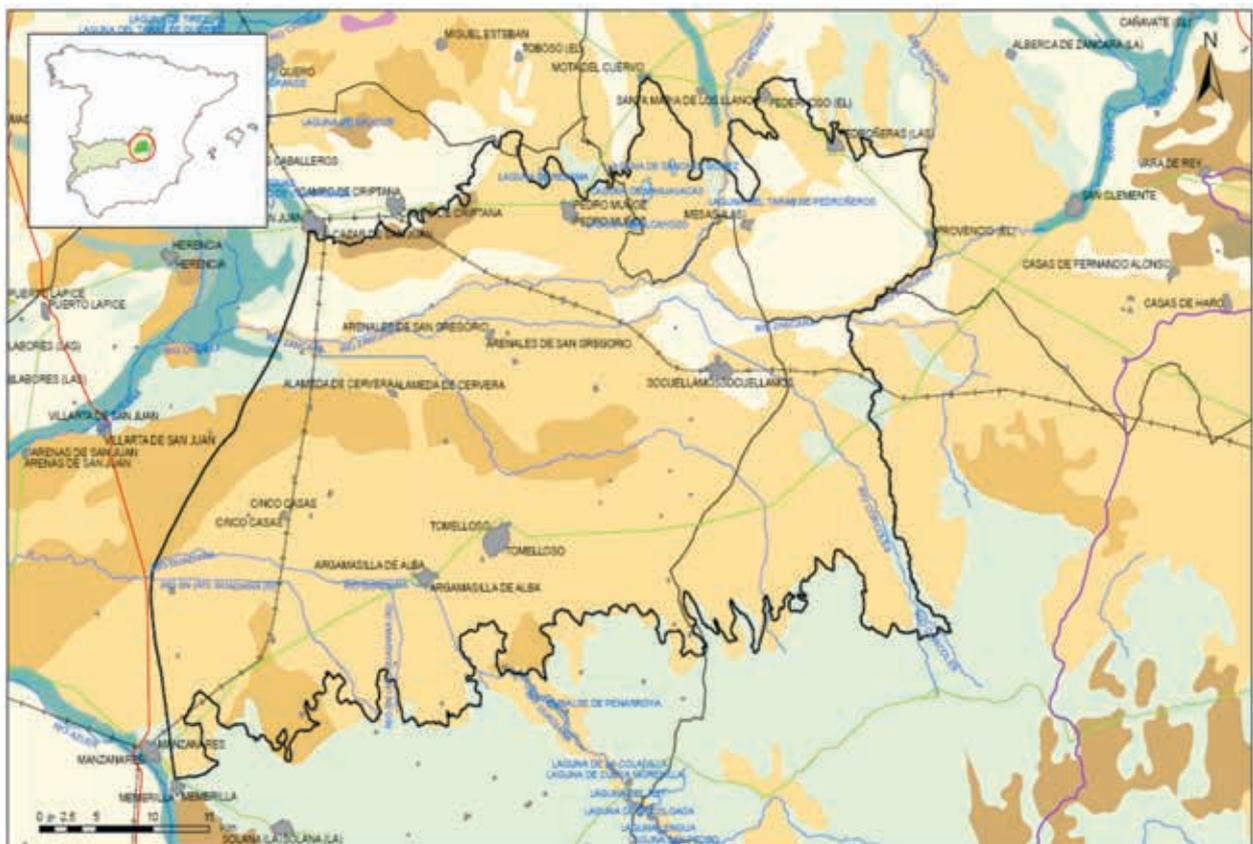


Figura 4. Mapa de suelos 041.006 Mancha Occidental II.

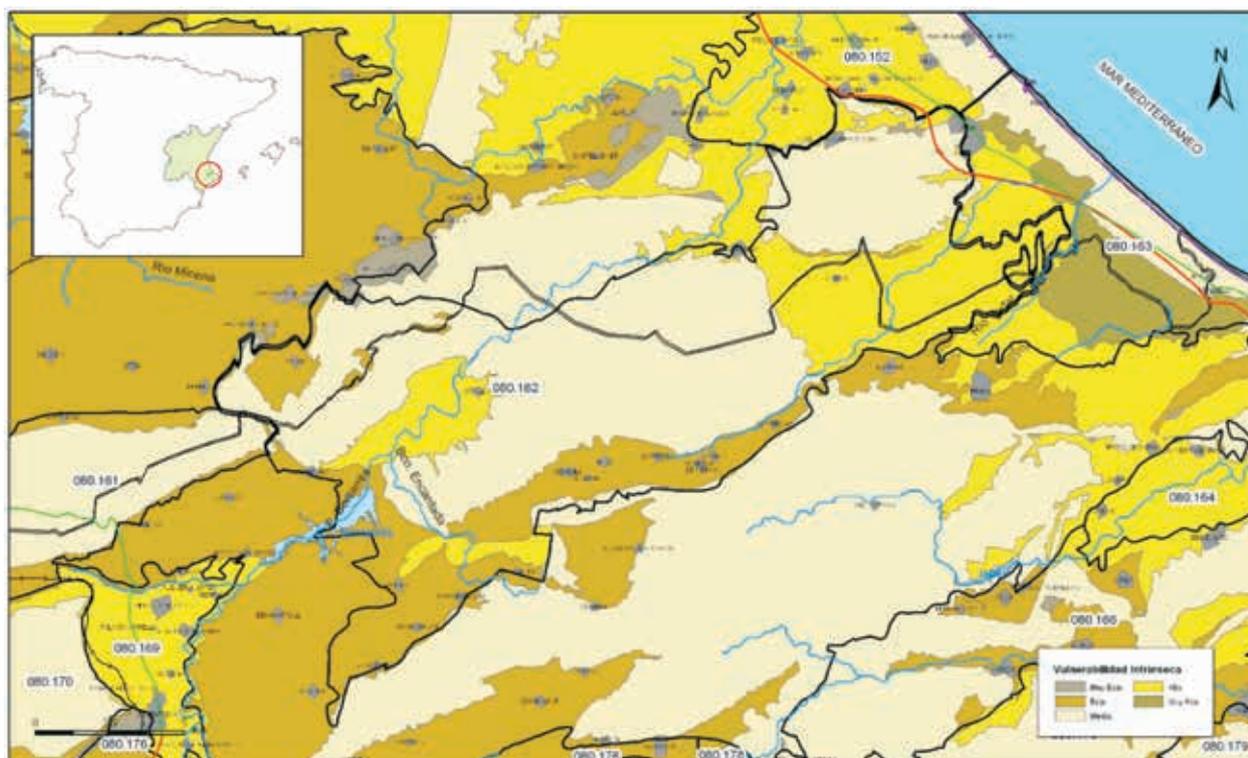


Figura5. Mapa de vulnerabilidad intrínseca 080.162 Almirante Mustalla.

do de al menos 50 años, para identificar años secos y húmedos.

Los planos de piezometría correspondientes a estos periodos o años tipo, se incluyeron en el apartado de información gráfica (figura 6).

El apartado *Estado/variación del almacenamiento* se cumplimentó, de acuerdo con los criterios de la Dirección General del Agua (DGA), mediante la representación de un índice de llenado de acuíferos para el periodo 2004-2007, utilizando los datos de piezómetros y la metodología empleada en los Informes anuales de coyuntura que realizaba el DGA y que se resume a continuación.

El índice se define para una MASA, en la que existen n piezómetros con datos. Para cada piezómetro se necesitan los valores mensuales de profundidad de nivel (h) y los valores máximos y mínimos conocidos de su historia.

De este modo se obtienen los 12 valores mensuales del índice de los n piezómetros y se calcula, para cada mes, el índice de llenado de la masas (media de los índices de un mes). Por ejemplo, para el caso de la masa de agua subterránea 080.127 Plana de Castellón, se utilizaron los datos de 12 piezómetros, durante el

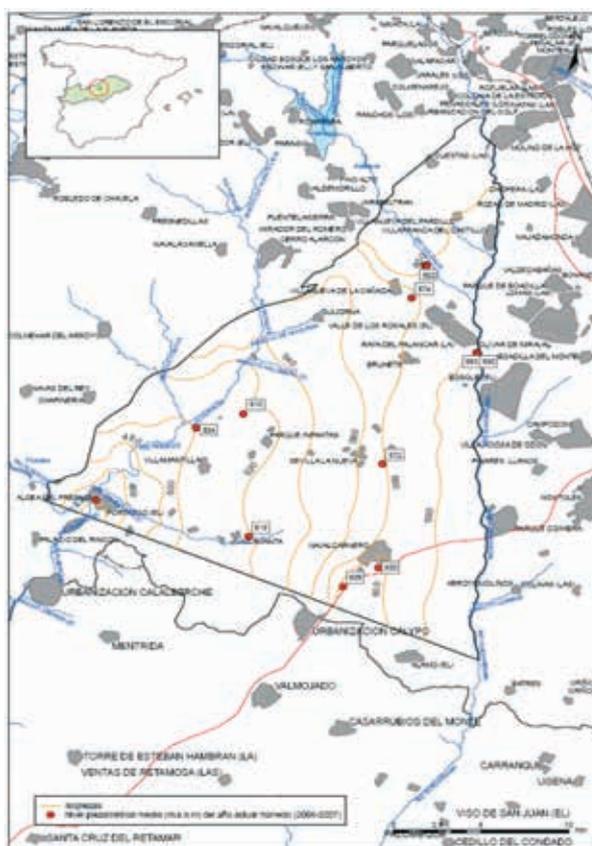


Figura 6 Mapa de isopiezas año actual (2006-2007) 030.012 Madrid: Aldea del Fresno-Guadarrama.

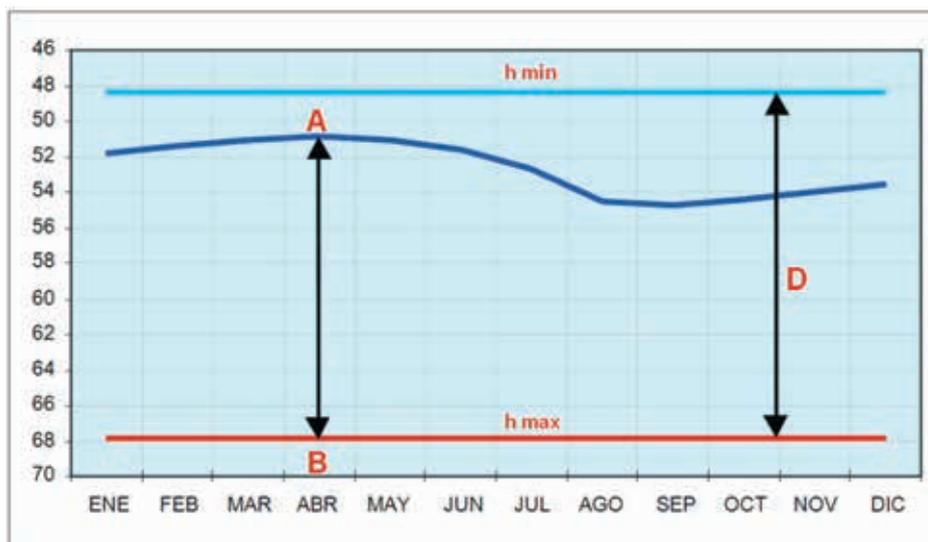


Gráfico 1. Índice de llenado

Por ejemplo: $i(ABR) = \text{índice de llenado en un piezómetro para el mes de abril (un mes cualquiera)}$
 es: $i(ABR) = AB/D$
 $h(ABR) = \text{Profundidad del nivel de agua en el mes de abril.}$
 $h \text{ max}$ Máxima profundidad absoluta del nivel de agua (en la historia del piezómetro)
 $h \text{ min}$ Mínima profundidad absoluta del nivel de agua (en la historia del piezómetro)
 $AB = h \text{ max} - h(ABR)$
 $D = h \text{ max} - h \text{ min}$

periodo 2004-2007. El índice de llenado se representa por la relación porcentual entre la situación del nivel medio de cada mes con respecto al máximo y mínimo histórico absoluto. Estos porcentajes se definen por el cociente entre la situación actual y la de máximos niveles conocidos.

En el gráfico 2, la envolvente del área rellena representa la evolución del llenado o vaciado de acuíferos, mes a mes, durante el periodo de estudio. En condiciones estables, la tendencia se correspondería con una envolvente horizontal, lo que indicaría que no hay variación de reservas de agua subterránea; no obstante, esto no ocurre nunca así ya que depende de la variación estacional intra-anual, que a su vez se manifiesta en mayor o menor grado por la climatología, extracciones de aguas subterráneas y duración interanual de los periodos secos o húmedos. Analizando el índice de llenado se observa como se manifiesta una tendencia

de disminución del llenado, desde un 55% con respecto al máximo almacén conocido, hasta un 41%. Por lo tanto durante el periodo referido, se puede hablar de una disminución del 14%.

Sistemas de superficie asociados y ecosistemas dependientes

Debido a la complejidad y falta de información existente, el objeto de este apartado fue únicamente disponer de una relación de los espacios naturales que estuvieran o pudieran estar ligados directamente con las aguas subterráneas dentro de la masa de agua. Se recopilaron los elementos de la Red Natura 2000 (LIC's y ZEPAs) y las zonas RAMSAR. Como información gráfica se incluyó un mapa con la situación de los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas (figura 7).

Recarga

Con carácter general, este capítulo se cumplimentó con los datos facilitados por las distintas CC.HH. en el proceso de planificación hidrológica vigente en 2008. Como información gráfica, en el caso de la demarcación hidrográfica del Duero se incluyeron mapas de zonas de recarga de las masas en riesgo (figura 8).

Recarga artificial

De acuerdo con los criterios metodológicos establecidos, en este apartado solo se plasmaron aquellas operaciones de recarga artificial, que a la fecha de ejecución de los trabajos, disponían de autorización administrativa. Al no existir ninguna actuación con autorización, este apartado no presenta datos.

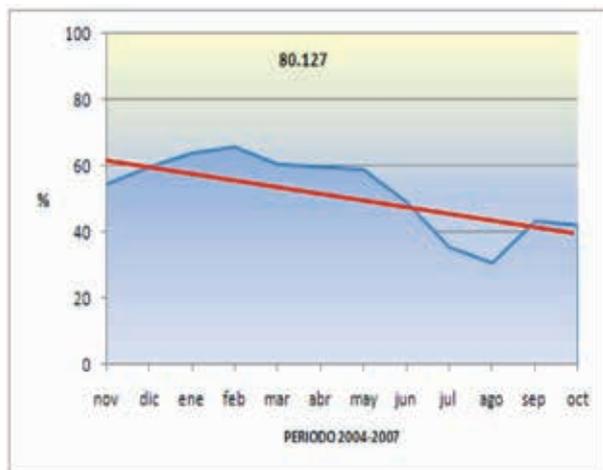


Gráfico 2. Evolución del índice de llenado. 080.127 Plana de Castellón.

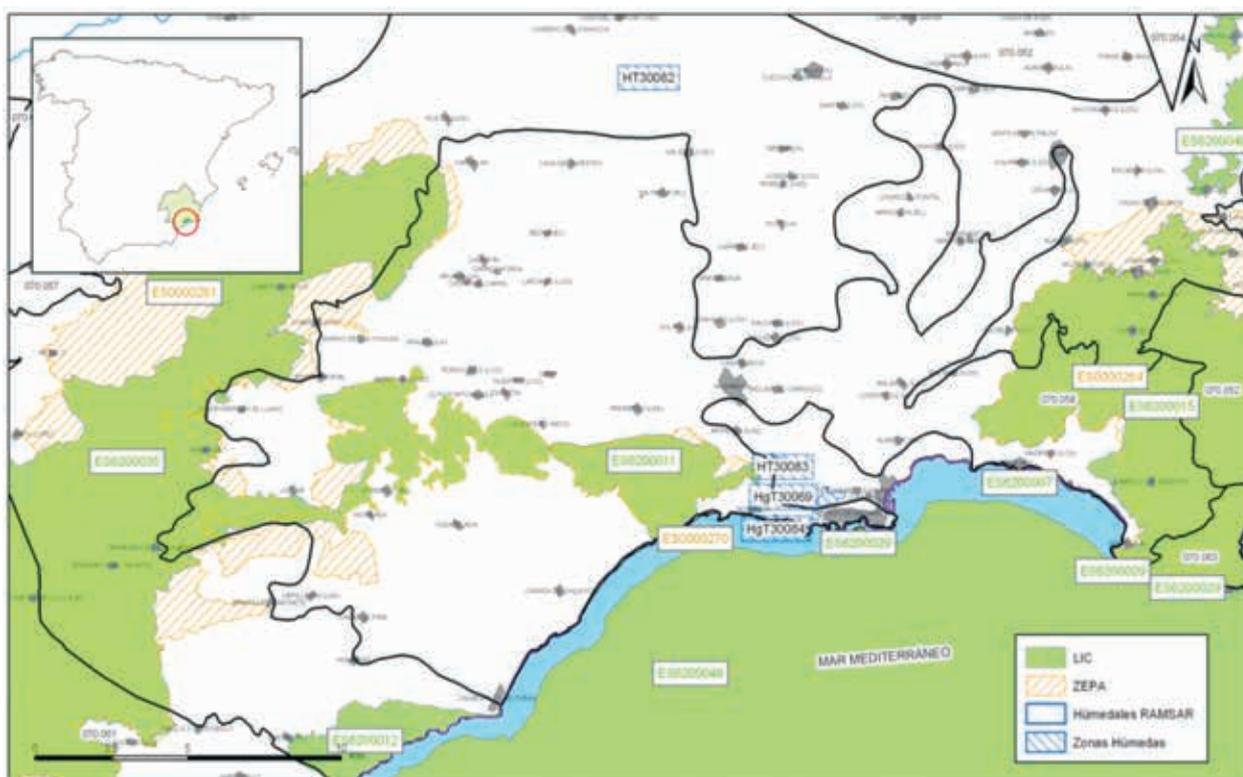


Figura 7. Mapa de situación de ecosistemas dependientes. 070.058 Mazarrón



Figura 8. Ejemplo de mapa de áreas de recarga D.H. Duero.

Explotación de las aguas subterráneas

Los datos para complementar este apartado, de acuerdo con las decisiones metodológicas de la DGA y el IGME, procedieron exclusivamente de las correspondientes Confederaciones Hidrográficas al ser los organismos que administran el Dominio Público Hidráulico. En algunos casos, como en la demarcación del Ebro, se presen-

ta como información gráfica un plano con los principales puntos de extracción de cada masa, desglosados por usos (figura 9).

Calidad química de referencia

La Directiva relativa a la protección de las aguas subterráneas 2006/118/CEE, establecía dos indicadores



Figura 9. Ejemplo de mapa de explotación de aguas subterráneas.

que deben ser utilizados para la evaluación del estado químico y para la determinación de tendencias de contaminantes: los niveles de referencia y niveles básicos. En la ficha se distinguen tres tipos de datos: niveles de referencia, niveles básicos y estratificación del agua subterránea.

En el apartado de los *niveles de referencia* (concentraciones de sustancias, o valores de parámetros en las condiciones menos antropizadas posibles, y por tanto más parecidos a las condiciones naturales) se determinaron los valores máximo, medio, mínimo, mediana y varios percentiles de cada parámetro. Para los cálculos, realizados por la DGA, se utilizaron los datos existentes en la base de datos de calidad de esa Dirección, que incluye los procedentes del IGME, complementados con análisis recopilados en el proceso de análisis bibliográfico y que no figuraban en ninguna base de datos.

Respecto a los niveles básicos (concentración de sustancias o valores de parámetros físico-químicos que se produzcan naturalmente y como resultado de actividades humanas para las que hay que determinar tendencias significativas y sostenidas al aumento), no se pudo

cumplimentar hasta disponer de los datos las redes de calidad correspondientes a los años de referencia 2007 y 2008, por lo que fueron incluidos en una actualización de marzo de 2010 de la base de datos de esta actividad.

Como información gráfica de este apartado se incluía:

Mapas de situación de puntos utilizados en la determinación de niveles de referencia y de valores de especies nitrogenadas, compuestos salinos, metales pesados y plaguicidas (ver figuras 10)

Mapa de facies hidrogeoquímicas predominantes en la masa de agua (ver figura 11)

Mapa de calidad química de referencia (figuras 12 y 13). Gráficos de evolución temporal de los parámetros hidrogeoquímicos utilizados para la realización de los mapas y diagramas de dispersión.

Evaluación del estado químico

Dentro de este apartado se recogen la información generada en relación con la determinación de valores

Figura 10. Mapa de situación de puntos para determinación de niveles de referencia. 070.036 Vega media y baja del Segura.

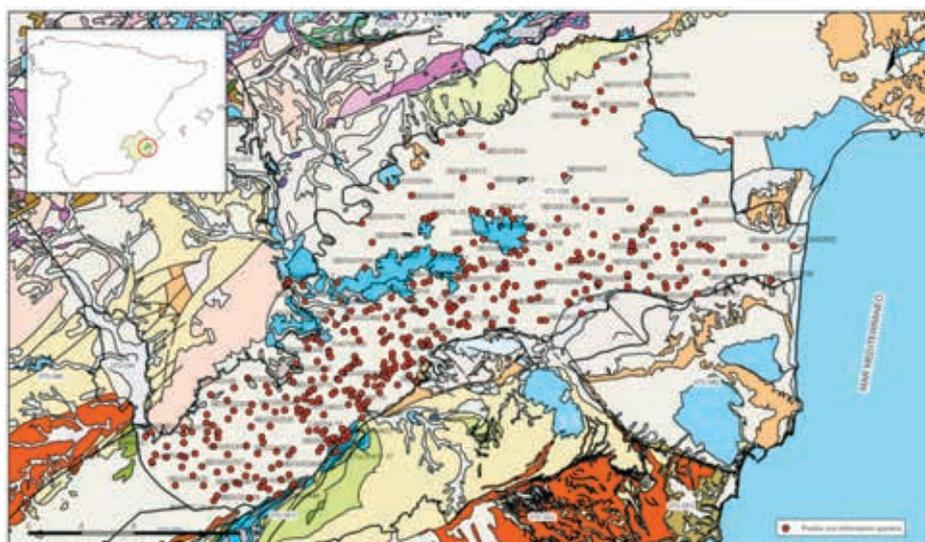
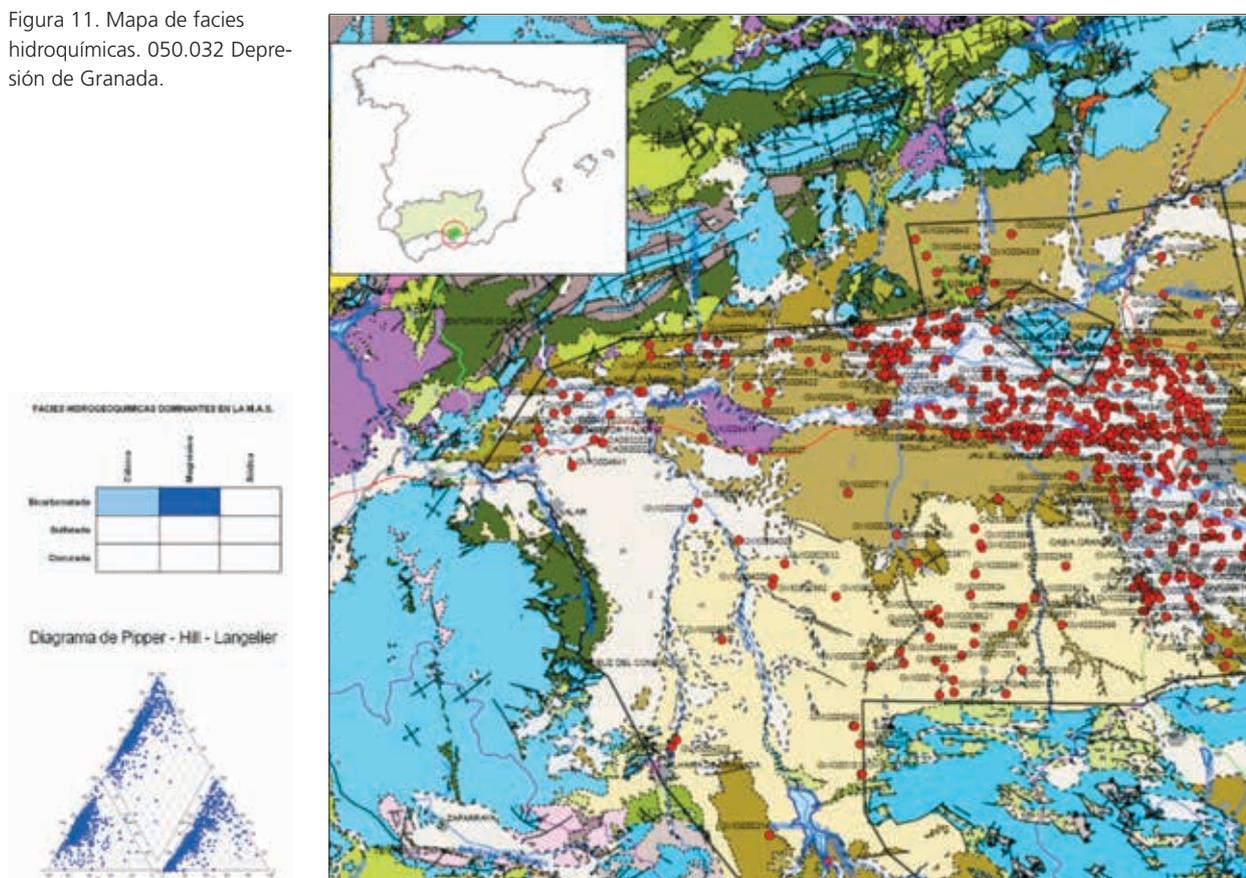


Figura 11. Mapa de facies hidroquímicas. 050.032 Depresión de Granada.



umbral y sobre la evaluación del estado químico. Esta tabla se cumplimentó tras la actualización de los datos aportados por la DGA al IGME en marzo de 2010, y por lo tanto no aparecen en las versiones anteriores a esta fecha, aunque si fue actualizada la base de datos.

La Directiva 2006/118/CE establece que se deben fijar los valores umbral únicamente para las masas de agua subterránea identificadas en riesgo químico, y para los

contaminantes, grupos de contaminantes e indicadores de contaminación que contribuyen a la caracterización de la masa de agua como en riesgo (químico), teniendo en cuenta como mínimo la lista que figura en la parte B del anexo II de esta Directiva. Esto no significa que haya que establecer valores umbral para cada uno de los contaminantes de esa lista, sino solamente para aquellos que se hayan identificado como que contribuyen a que la masa de agua esté en riesgo químico.

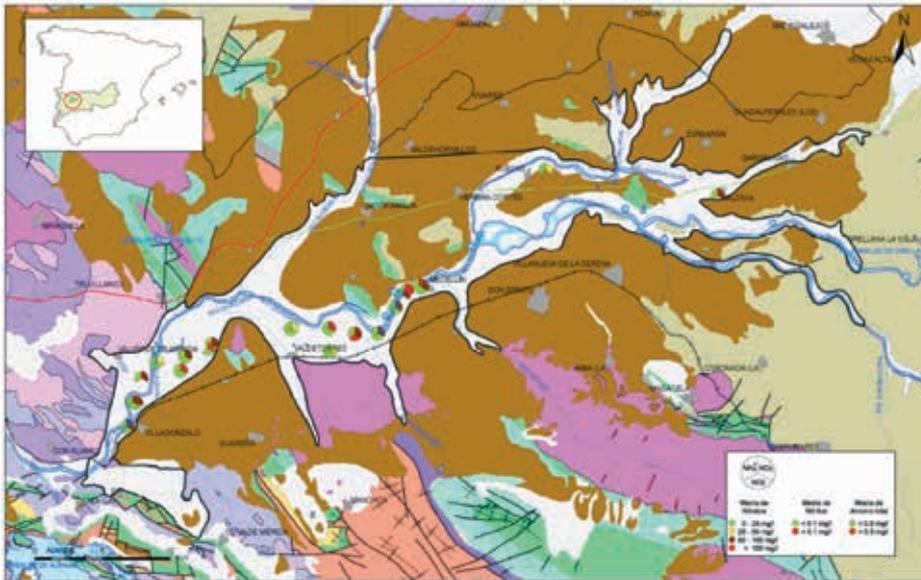


Figura 12. Mapa de calidad química de referencia de compuestos nitrogenados. 041.016 Vegas Altas.

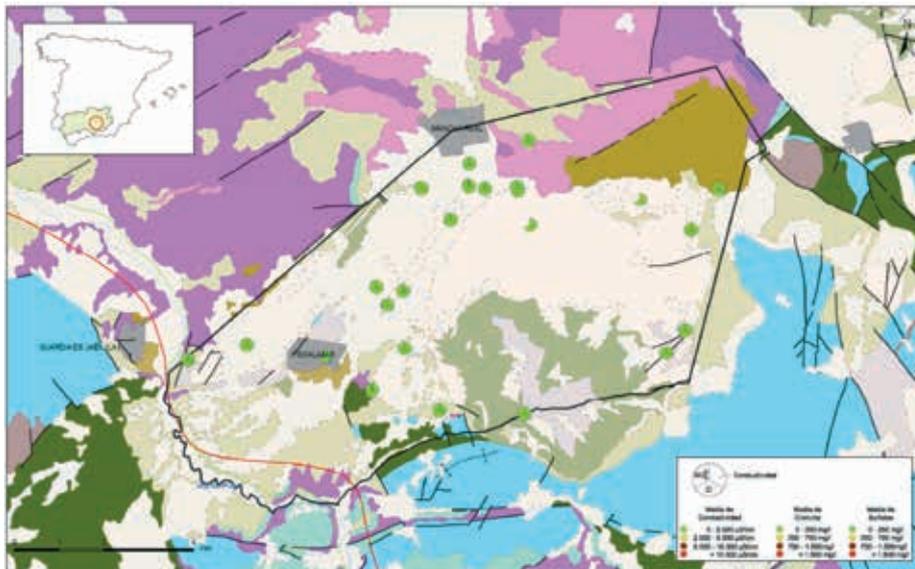


Figura 13. Mapa de calidad química de referencia (conductividad, cloruros y sulfatos) 050.019 Mancha Real-Pegalajar

Para los contaminantes nitratos, plaguicidas individuales y plaguicidas totales, la Directiva 2006/118/CE establece normas de calidad.

Para determinar las sustancias que contribuyen a generar riesgo químico en una masa de aguas subterráneas, se atendió a una serie de valores criterio, dependiendo del tipo de receptor potencial de la contaminación. De este modo, y a falta de otro se utilizaron por un lado los valores de los parámetros incluidos en el R.D. 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, *valor criterio consumo humano (CV DWS)*, y por otro los valores de referencia para los parámetros conductividad, cloruros y los sulfatos resultantes de aplicar la metodología propuesta en la *Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y*

la evolución de tendencias, en la que se indica que para este receptor el valor umbral de estos parámetros se sitúa en el nivel de referencia, *valor criterio de intrusión salina (CV INTRU)*.

La Directiva 2006/118/CE establece en su considerando 10 "Las disposiciones relativas al estado químico de las aguas subterráneas no se aplican a las situaciones en que se dan niveles naturales elevados de sustancias o iones, o de sus indicadores, contenidos en una masa de agua subterránea o en masas asociadas de aguas superficiales, debidos a condiciones hidrogeológicas específicas no incluidas en la definición de «contaminación». Asimismo tampoco se aplican a los cambios, provisionales y limitados en el espacio, de la dirección del flujo y de la composición química, que no se con-

sideran intrusiones.” Además, en la parte A del anexo II establece “cuando se produzcan elevados niveles de referencia de sustancias o iones, o de sus indicadores, debidos a motivos hidrogeológicos naturales, a la hora de establecer los valores umbral se tendrán en cuenta esos niveles de referencia de la masa de agua subterránea de que se trate”.

De este modo, y tras analizar los datos de la Base de Datos de Calidad de las Aguas Subterráneas del MARM, se pudo cumplimentar la tabla relativa a los valores umbral definidos, indicando las sustancias para las que se han definido, el valor de los mismos, el receptor (valor criterio) y si contribuía a generar riesgo, ya sea por no atribuirse a motivos naturales o por tener un desarrollo amplio en la masa.

El apartado de evaluación del estado químico se cumplimentó igualmente tras la actualización de los datos aportados por la DGA al IGME en febrero, a partir de los datos de las redes de seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas para aquellas sustancias para las que las CCHH establecieron que contribuían a generar riesgo. En la tabla correspondiente a este apartado se recoge tanto la sustancia que genera riesgo por superar la norma de calidad (caso de nitratos y plaguicidas) o los valores umbral definidos para la masa en la tabla anterior, y a los que se le atribuye riesgo. Se recoge asimismo el valor medio, máximo y mínimo detectado del parámetro, el año de los datos utilizados de la red, el número de estaciones utilizadas, el número de análisis,

y el número de estaciones en los que se han superado el valor umbral o la norma de calidad correspondiente.

Determinación de tendencias de contaminantes

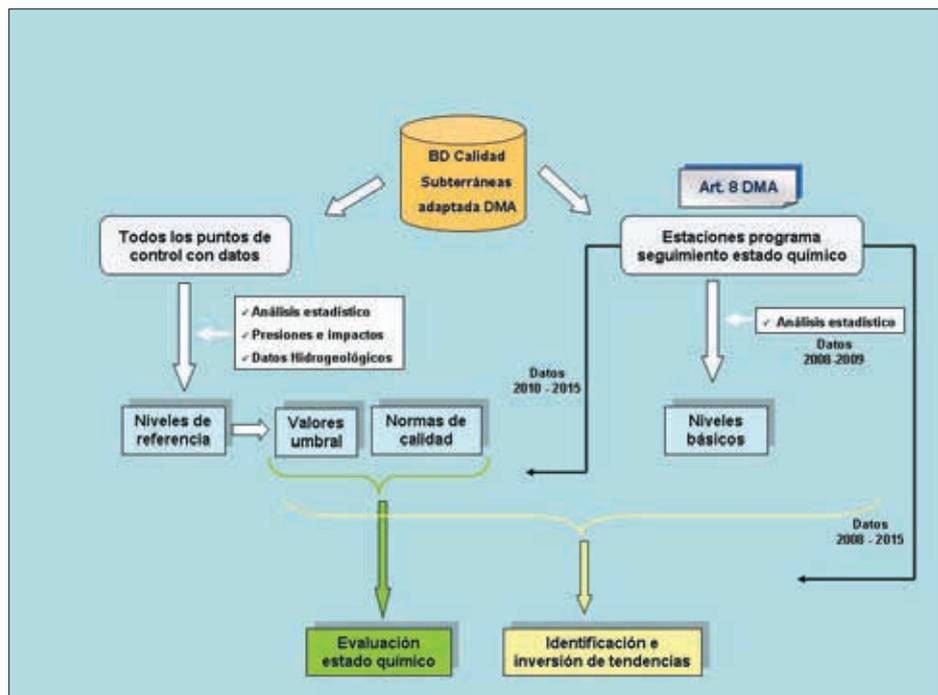
Para la evaluación del estado químico y de tendencias de las masas de agua subterráneas, se tuvieron en cuenta solamente los resultados de la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas definida en virtud del artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE, cuyos resultados se compararon con los valores umbral establecidos y las normas de calidad para nitratos y plaguicidas establecidas en la Directiva 2006/118/CE, como se explica gráficamente en la figura 14.

Los datos, tras el tratamiento estadístico realizado por la DGA en 2010, permitieron cumplimentar la tabla y actualizar la base de datos recogiendo: los contaminantes que superan los valores umbral o la norma de calidad correspondiente, el número de estaciones pertenecientes a la red y el número de muestras utilizados en cada año con datos disponibles, los valores medio, máximo y mínimo de cada año con datos, y para cada año el número de estaciones en los que el valor medio supera el 75% del valor umbral o la norma de calidad.

Usos del suelo

En este apartado se utilizó la información existente en el proyecto Corine Land Cover 2000, por ser la información más actualizada disponible ejemplo en la figura 15.

Figura 14. Diagrama resumen de las actuaciones para la determinación del estado químico e identificación e inversión de tendencias



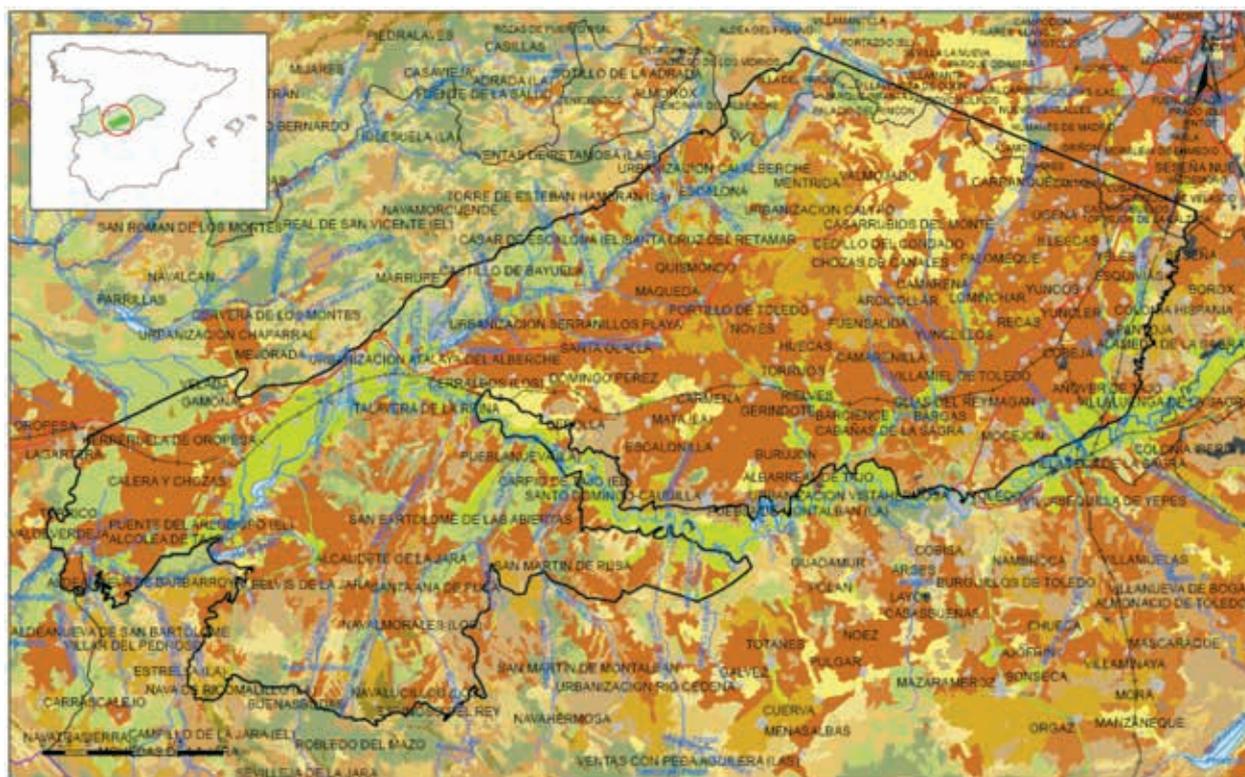


Figura15. Mapa de usos del suelo. 030.015 Talavera.

Fuentes significativas de contaminación

Para las fuentes puntuales de contaminación la información procedió fundamentalmente del IMPRESS de aguas superficiales (base de datos DATAGUA sobre impactos y presiones), realizado por el MARM para dar cumplimiento al artículo 5 de la DMA en marzo de 2007. El motivo de utilizar esta fuente de información es la ausencia de coberturas de puntos en el IMPRESS de aguas subterráneas. En todas las demarcaciones siempre se ha utilizado la información recogida en las bases de datos de balsas y escombreras mineras del IGME. Como criterio general se consideró que las presiones sobre las aguas superficiales también representan presiones sobre las aguas subterráneas. Sin embargo hay que indicar que para la elaboración del IMPRESS de aguas superficiales se utilizaron umbrales concretos para definir los impactos sobre las aguas superficiales (como por ejemplo la distancia a cauces), que no son coherentes con los criterios que se deben seguir para las aguas subterráneas.

Para las fuentes difusas, la principal fuente de información fue Corine Land Cover 2000, calculando, para cada tipo de presión, la superficie en hectáreas ocupada en la masa, así como el porcentaje de superficie que ocupa dentro de la misma.

Otras presiones

En este apartado se recogen otras actividades susceptibles de generar impactos sobre las aguas subterráneas. Se consideraron principalmente las modificaciones morfológicas de cauces o cursos fluviales (encauzamientos, azudes, presas) y en el caso de la demarcación del Júcar, los sectores de las masas costeras en las que se ha identificado sobreexplotación con procesos asociados de intrusión marina por altas concentraciones de cloruros o la presencia de la superficie piezométrica bajo la cota del nivel del mar. La información utilizada procedió de la base DATAGUA del MARM, del IMPRESS y la facilitada por las propias Confederaciones.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para cumplimentar la información requerida en la caracterización adicional se diseñó una base de datos en Access 2007 para cada demarcación hidrográfica, capaz de recoger los datos alfanuméricos e información gráfica, con un formato similar al de la ficha y con capacidad de futuras actualizaciones como las realizadas en 2010 en los apartados 10, 11 y 12.

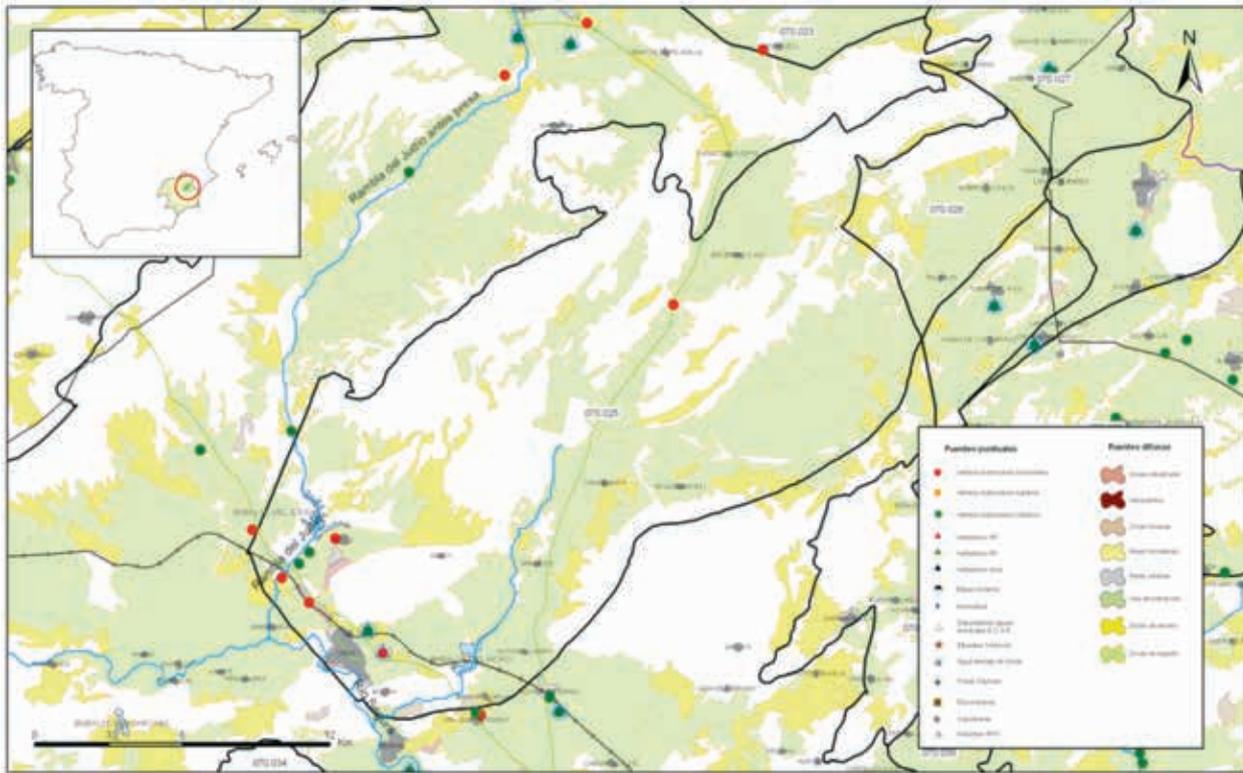


Figura 16. Ejemplo del mapa de fuentes significativas de contaminación. 070.025 Ascoy-Sopalme

Para el diseño se prestó especial interés a la información bibliográfica relativa a cada uno de los apartados de la ficha de caracterización, facilitando los estudios futuros, de una manera más ágil y efectiva. Con el objeto de poder unir, si fuese preciso, todas las bases, se diseñó con códigos que permiten identificar de forma inequívoca los diferentes datos correspondientes a cada una de las masas.

Los trabajos de apoyo a la caracterización adicional se realizaron para un total de 232 masas de agua subterránea

en las 8 demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, que a fecha de enero de 2008, se consideraban en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015.

El grado de cumplimentación de los distintos apartados de la ficha de caracterización adicional se refleja en los siguientes cuadros, elaborados a modo de resumen al final de la actividad en octubre de 2008. En ellos, se aprecia tanto el número de masas en riesgo, como el motivo del mismo, y el grado de detalle alcanzado en la ficha. La leyenda es la siguiente:

Leyenda de las claves color de los cuadros resumen

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Realizado con grado de detalle aceptable, excepto recarga artificial por no existir concesión administrativa. Realizado con carencias importantes debido a escasez de información. Realizado por DGA-MARM. Actualizado en la base de datos en febrero 2010. No realizado por ser competencia de las CCHH (indicación MARM). | <ul style="list-style-type: none"> Realizado al ser facilitados los datos por las CCHH. No realizado por tener la masa riesgo exclusivamente químico. No realizado por falta de datos. |
|--|--|

Además de cumplimentar la ficha de caracterización adicional, en algunas demarcaciones hidrográficas, se realizaron trabajos complementarios de campo con el objeto de obtener datos nuevos en algunos de los apartados donde las carencias eran significativas. Debido al

escaso tiempo disponible para realizar esta actividad, hubo que hacer una selección de los trabajos de campo a realizar, en coordinación con las correspondientes Confederaciones Hidrográficas. Las actuaciones llevadas a cabo fueron:

TRABAJOS COMPLEMENTARIOS DE CAMPO		
Demarcación	MASb	Tipo de trabajos
Júcar	080.143 La Contienda	Mejora del inventario de puntos de agua, medidas piezométricas y de calidad
	080.148 La Hoya de Xátiva	
	080.188 Sierra de Argallet	
Segura	070.024 Lácerca	Toma de muestras y análisis en directo sector de la MASb en estudio "Cuenca del Sil".
	070.026 El Cantal-Viña Pi	
	070.030 Sierra de Argallet	
	070.033 Bajo Quípar	
	070.035 Cuaternario de Fortuna	
	070.060 Las Norias	
	070.062 Sierra de Almagro	
Tajo	030.013 Aluvial del Tajo: Zorita de los Canes-Aranjuez	Inventario de puntos de agua y medidas de nivel para mapa de isopiezas en época de estío.
	030.016 Aluvial del Tajo: Toledo-Montearagón	
Guadiana	041.009 Campo de Calatrava	Identificación y caracterización de los abastecimientos urbanos con aguas subterráneas no contemplados por la Oficina de Planificación
	041.013 Los Pedroches	
	041.018 Zafra-Olivenza	
Guadalquivir	En 40 MASb de la demarcación	Toma de muestras y análisis en 114 captaciones de aguas subterráneas repartidas de la demarcación hidrográfica
Miño-Sil	MASb de la demarcación	Toma de muestras y análisis

RESULTADOS OBTENIDOS POR DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA

En este apartado se muestra un resumen de los aspectos más significativos que se obtuvieron en cada una de las Demarcaciones intercomunitarias en las que se llevaron a cabo los trabajos de caracterización adicional en las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015.

Demarcación Hidrográfica del Júcar

En general, el estado de la información disponible sobre las masas de agua subterránea en riesgo es aceptable en lo que respecta a aspectos de identificación, características geológicas básicas, usos del suelo y presiones causadas por modificaciones morfológicas de cauces. Sin embargo en cuanto a las características hidrogeológicas, la piezometría, las características de la zona no saturada y la calidad, existe un desfase entre las masas que han estado sujetas a un aprovechamiento histórico de sus recursos (masas costeras, y con una amplia ocu-

pación antrópica como las planas y las vegas de los ríos) y aquellas masas de interior de menor entidad y situadas en parajes más inhóspitos. En las primeras se dispone normalmente de información adecuada procedente de estudios destinados a la gestión y explotación de los recursos, así como de las redes de control de calidad y piezometría. Sin embargo entre las segundas se ha detectado una importante carencia e incluso ausencia absoluta de datos básicos de piezometría y calidad. Las masas en las que la ausencia de información relacionada con la piezometría y calidad es más palpable, y en las que se debería hacer un esfuerzo enfocado a la obtención de datos mínimos que permitan hacer un seguimiento de la evolución son:

A escala de Demarcación, se deduce que los principales problemas de calidad están principalmente relacionados con las sales (cloruros y sulfatos generalmente) debido tanto a procesos de intrusión marina en las masas costeras, como a la influencia de litologías evaporíticas en las masas de interior, aunque en el caso de problemas por sulfatos aparte de una posible influencia natural (litoló-

gica) en todos los casos hay que tener en cuenta que la actividad agrícola, mediante la aplicación de fitosanitarios, puede suponer importantes aportes de sulfatos.

Otro de los problemas de calidad más generalizados es por concentraciones elevadas en nitratos. Tal es el caso de las masas: 080.129 Mancha Oriental, 080.130 Medio Palancia; 080.143 La Contienda, 080.151 Plana de Jaraco, en las que se detectan problemas más o menos generalizados.

También hay masas con problemas puntuales por nitratos en las que posiblemente se están produciendo, o en algún momento se han producido, vertidos urbanos o domésticos en la proximidad de los puntos de muestreo. Solo se han detectado anomalías zonales por esta sustancia en la masa 080.141 Plana de Valencia Norte. En cuanto a la contaminación por plaguicidas, solo se han detectado problemas puntuales en las masas 080.127 Plana de Castellón y 080.131 Liria-Casinos, aunque hay que destacar el elevado número de masas en las que no se cuenta con datos o estos son insuficientes para poder establecer conclusiones, tabla 1.

Código	Nombre	Carencia de información		Tipo de riesgo
		Piezometría	Calidad	
080.143	La Contienda		x	Cuantitativo
080.148	Hoya de Játiva	x	x	Químico (difuso)/ Cuantitativo
080.158	Cuchillo-Moratilla	x	x	Cuantitativo
080.159	Rocín	x		Cuantitativo
080.165	Montgó	x	x	Químico (difuso)/ Cuantitativo
080.172	Sierra de Lácerca	x	x	Cuantitativo
080.188	Triásico de Sierra Espuña	x	x	Cuantitativo
080.190	Bajo Vinalopó		x	Cuantitativo

Tabla 1. Masas con carencia importante de información

En menor medida, se detectan problemas relacionados con metales pesados, especialmente mercurio, y el metaloide selenio. En cuanto al mercurio solo se ha podido establecer una posible influencia natural en el caso de la Plana de Castellón, gracias a un estudio del IGME de 2007 donde se indica la posibilidad de que dicho mercurio tenga un origen relacionado con las mineralizaciones de la sierra de Espadán, aunque su removilización desde el acuífero tenga una componente antrópica relacionada con

arrastres provocados por altos regimenes de bombeos. En relación con el selenio, su origen más probable está relacionado con el uso de fertilizantes fosfatados y una posterior concentración a través de los retornos de riego. Esta hipótesis adquiere relevancia si se tiene en cuenta que la mayor parte de las masas en las que se han encontrado valores por encima de los 10 µg/L corresponden a planas litorales y acuíferos detríticos de interior en los que se desarrolla una importante actividad agrícola. Tal es el caso de las planas de Vinaroz, Oropesa-Torreblanca, Castellón, Sagunto, Valencia, Ondara-Denia y Bajo Vinalopó, y las masas no costeras de Buñol-Cheste, Hoya de Játiva, Liria-Casinos, Sierra de Las Agujas y Almirante-Mustalla.

En relación con los aspectos cuantitativos, en general se observa en todas las masas en riesgo cuantitativo hay una tendencia a los descensos del índice de llenado, que indica un vaciado de la masa. Los descensos piezométricos más significativos se dan en las masas: 080.129 Mancha Oriental, 080.160 Villena-Benejama, 080.171 Sierra Mariola, 080.173 Sierra del Castellar y 080.182 Argueña-Maigmo, mientras que el índice de variación del almacenamiento en el período 2004-07 sufre un descenso muy acusado en las masas 080.128 Plana de Sagunto, 080.151 Plana de Jaraco y 080.164 Ondara-Denia.

Se realizaron una serie de trabajos complementarios de campo enfocados a la obtener datos de piezometría y calidad donde no existía este tipo de información o se consideraba escasa, en las siguientes masas, tabla 2.

MASb	Mejora: Inventario/ Piezometría		Mejora: Calidad	
	Puntos inventariados	Medidas de piezometría	Medidas In Situ	Análisis en laboratorio
080.143 La Contienda	26	10	4	4
080.148 La Hoya de Xátiva	25	3	4	4
080.188 Sierra de Argallet	12	9	2	1
TOTAL	63	22	10	9

Tabla 2. Resumen de los trabajos complementarios de campo realizados indicando aquellos

Demarcación Hidrográfica del Segura

Se observa un desigual grado de información hidrogeológica entre las masas sujetas a un aprovechamiento histórico de sus recursos y las de menor entidad, que presentan una importante carencia, e incluso ausencia absoluta de datos básicos de piezometría y calidad. Las

masas en las que la ausencia de información relacionada con la piezometría y calidad es más palpable son las que se muestran en la tabla 3.

Código	Nombre	Carencia de información		Tipo de riesgo
		Piezometría	Calidad	
070.024	Lácerca	x		Cuantitativo
070.026	El Cantal-Viña Pi	x	x	Cuantitativo
070.030	Sierra de Argallet	x	x	Químico (difuso)
070.031	Sierra de Crevillente	x	x	Cuantitativo
070.033	Bajo Quípar	x	x	Químico (difuso)
070.035	Cuaternario de Fortuna	x		Químico (difuso)
070.047	Triásico de Sierra Espuña	x		Cuantitativo
070.055	Triásico de Carrascoy	x		Cuantitativo
070.056	Sierra de las Estancias	x		Cuantitativo
070.060	Las Norias	x	x	Cuantitativo
070.062	Sierra de Almagro	x		Cuantitativo
070.063	Sierra de Cartagena	x		Químico (puntual)/ cuantitativo

Tabla 3. Relación de masas de agua subterránea con carencia importante de información

En relación con el estado químico de la demarcación, los principales problemas de calidad están relacionados con altas concentraciones de sales (sulfatos y cloruros). Aparte de las tres masas costeras en las que se detectan problemas generalizados de intrusión marina (070.053 Cabo Roig; 070.058 Mazarrón y 070.061 Águilas), en el resto de las masas parece haber un control litológico que justifica estas altas concentraciones. Ello se debe posiblemente a la presencia de materiales triásicos con evaporitas asociados a los dominios prebético y subbético.

En cuanto a las especies nitrogenadas, con los datos disponibles, se han identificado problemas puntuales por nitratos en numerosas masas, identificándose problemas generalizados en las que existe una importante actividad agropecuaria como: las masas 070.001 Corral Rubio (donde además aparecen problemas generalizados por nitritos), 070.036 Vega media y baja del Segura, 070.041 Vega alta del Segura (también con problemas generalizados por nitritos); 070.042 Terciario de Torrevieja, 070.051 Cresta del Gallo, 070.052 Campo de Cartagena (también con problemas generalizados por nitritos). En la masa 070.061 Águilas se

han identificado problemas por nitratos no generalizados pero que sin embargo afectan a amplias áreas. En estos casos el origen de la contaminación se puede establecer casi con seguridad a la aplicación de fertilizantes y purines.

MASb	Mejora: Inventario/Piezometría		Mejora: Calidad	
	Puntos inventariados	Medidas de piezometría	Medidas In Situ	Análisis en laboratorio
070.024 Lácerca	2	1	1	1
070.026 El Cantal-Viña Pi	14	10	2	2
070.030 Sierra de Argallet	12	9	2	1
070.033 Bajo Quípar	17	8	3	3
070.035 Cuaternario de Fortuna	8	5	1	1
070.060 Las Norias	18	11	2	2
070.062 Sierra de Almagro	86	51	12	11

Tabla 4. Resumen de los trabajos complementarios de campo realizados

En relación con metales pesados las masas que presentan mayores problemas de calidad son 070.050 Bajo Guadalentín y 070.052 Campo de Cartagena, por Pb y Cd. En estos casos las mineralizaciones de Pb-Zn, asociadas al vulcanismo neógeno del SE ibérico, existentes en los distritos mineros de Cartagena, La Unión, Mazarrón y en menor medida de Águilas, Lorca y Zarzadilla de Totana, parecen ser el origen de elevados fondos geoquímicos de Pb. En cuanto al Cd, cabe indicar que la blenda es su principal mena, y que este mineral se encuentra asociado a la galena en los distritos mineros anteriormente mencionados, por lo que también se le puede atribuir un origen geogénico. Sin embargo, en ambos casos la industria extractiva y los residuos generados pueden actuar como focos de concentración de estos metales. Del mismo modo y para el caso del plomo, los vertidos de purines pueden ser fuentes puntuales de contaminación, a diferencia del cadmio con el que no se puede establecer una relación directa. No obstante, el hecho de que los valores anómalos encontrados de ambos metales suelen estar asociados, hace pensar en un origen geogénico.

Se realizaron una serie de trabajos complementarios de campo para mejorar la información utilizada en la caracterización adicional de las siguientes masas:

Demarcación Hidrográfica del Duero

El riesgo más frecuente que afecta a 22 masas de agua subterránea es la contaminación difusa de origen agrícola, generalizada en la mayor parte de la cuenca, en particular en la zona central. Existen además eventos de contaminación de carácter puntual en 4 masas que, en líneas generales, no están suficientemente caracterizados (tabla 5). Se han registrado contenidos elevados en sulfatos, nitrito, plomo y amonio. Se trata de episodios generados usualmente por vertidos urbanos e industriales. Este tipo de contaminación tiende a localizarse en plumas con una extensión areal limitada, que depende de los parámetros hidrodinámicos del acuífero y que no suele exceder la escala kilométrica.

IDENTIFICACIÓN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA		TIPO DE RIESGO QUÍMICO	
Código	Nombre	Puntual	Difuso
7	Terciario y Cuaternario del Esla-Cea		X
9	Tierra de Campos		X
16	Castrojeriz		X
20	Aluviales del Pisuerga-Arlanzón		X
25	Páramo de Astudillo		X
28	Verín	X	
29	Páramo de Esgueva		X
30	Aranda de Duero	X	X
31	Villafáfila		X
32	Páramo de Torozos	X	X
37	Cuenca de Almazán		X
38	Tordesillas		X
39	Aluvial del Duero: Aranda-Tordesillas		X
41	Aluvial del Duero: Tordesillas-Zamora		X
43	Páramo de Cuéllar		X
44	Páramo de Corcos		X
45	Los Arenales		X
47	Medina del Campo		X
48	Tierra del Vino		X
52	Salamanca	X	X
55	Cantimpalos		X
59	La Fuente de San Esteban		X
63	Ciudad Rodrigo		
64	Valle de Amblés		X

Tabla 5. Masas de agua subterránea en riesgo químico

El exceso de extracción respecto la cantidad de recurso disponible da lugar a una situación de desequilibrio en el acuífero que se traduce en un descenso acumulado de los niveles piezométricos. La explotación es más intensa en los acuíferos de la región central del Duero y se va amortiguando hacia los bordes. La mayor afección afecta a 6 masas de agua subterránea, (tabla 6) destacando las zonas más septentrionales de las masas de Medina del Campo y Los Arenales.

Los hidrogramas de evolución piezométrica reflejan una ciclicidad que obedece a causas naturales. Existe una ciclicidad de periodo corto que se debe a la variación climática e hidrológica estacional, y otra de periodo pluri-anual que responde a la alternancia de periodos secos y húmedos. Por lo tanto, para que una tendencia visible en un hidrograma pueda ser atribuida a causas no naturales es necesario que se mantenga durante un periodo significativamente largo.

La mayor parte de los piezómetros con tendencias negativas se localizan en la región central y meridional de la cuenca, ya que es donde se produce una mayor presión extractiva.

Una circunstancia bastante generalizada en los piezómetros con tendencia negativa es un cambio de pendiente más o menos pronunciado en esta, de manera que se observa una cierta estabilización de los niveles o, cuando menos, una clara reducción de la pendiente a partir de mediados de los años noventa. Dicha estabilización se justifica por la reducción de la extracción en las dos últimas décadas. En la región central de la cuenca es donde se observa más claramente un descenso continuado del índice de variación de almacenamiento.

Para establecer un balance del estudio realizado, se ha llevado a cabo un examen detallado del grado de cumplimentación para cada una de los 15 epígrafes en que se divide la ficha de caracterización adicional; en cada apartado se indica la suficiencia o insuficiencia de la información disponible.

Los aspectos relativos a las características geométricas están suficientemente resueltos con la modelización hidrogeológica. Existen además numerosos perfiles geológicos e hidrogeológicos así como sondeos que complementan adecuadamente esta información.

En cuanto a la información relativa a los parámetros de permeabilidad y transmisividad están disponibles en casi la totalidad de las masas de agua subterránea, en cambio,

la información relativa a el coeficiente de almacenamiento es escasa y, en muchas masas de agua, inexistentes.

De la misma manera, los elementos básicos del balance cuantitativo están adecuadamente determinados, tanto en términos de recarga como en volumen de recurso comprometido tal como se refleja en los expedientes de concesión. No así la extracción real, para la que apenas se dispone de datos fiables y homogéneos. No obstante, en conjunto, y junto con las redes de observación piezométrica, permiten establecer un marco de información suficiente para la valoración del estado cuantitativo.

Entre los aspectos relacionados con el estado cualitativo de las masas de agua subterránea, existe una gran cantidad de información hidroquímica. La información incluye todos los componentes mayoritarios así como buena parte de la lista mínima de contaminantes requeridos en la Directiva 2006/118/CE.

Las mayores carencias en este sentido proceden de la información relativa a las presiones. Si bien se dispone de la información mínima necesaria para describir las presiones difusas (a partir del CORINE LAND COVER, mayoritariamente), la información para analizar las presiones puntuales no está, en líneas generales, suficientemen-

te tratada. La fuente de información de referencia para cumplimentar este apartado, la base de datos DATA-GUA del MARM, está específicamente diseñada para el tratamiento de presiones sobre la red superficial, de forma que su adaptación para el análisis de presiones sobre aguas subterráneas adolece de una grave falta de adecuación. La mayor parte de la información necesaria para su caracterización está dispersa en fondos documentales diversos y no homogéneos (fundamentalmente de las comunidades autónomas).

Otra insuficiencia notable atañe a los aspectos relativos a la relación entre las masas de agua subterránea y los ecosistemas y hábitat protegidos. Podría decirse que a fecha actual la única cuestión que parece aclarada es la lista de humedales en los que su alimentación tiene una importante componente hipogea. Más allá, la información existente en cuanto a zonas y tasas de transferencia puede considerarse prácticamente inexistente.

Demarcación Hidrográfica del Ebro

El riesgo más frecuente sobre la cuenca del Ebro, que afecta a 36 masas de agua subterránea, (figura 18) es la contaminación difusa de origen agrícola, tanto en secano como en regadío, aunque también en gran medida a

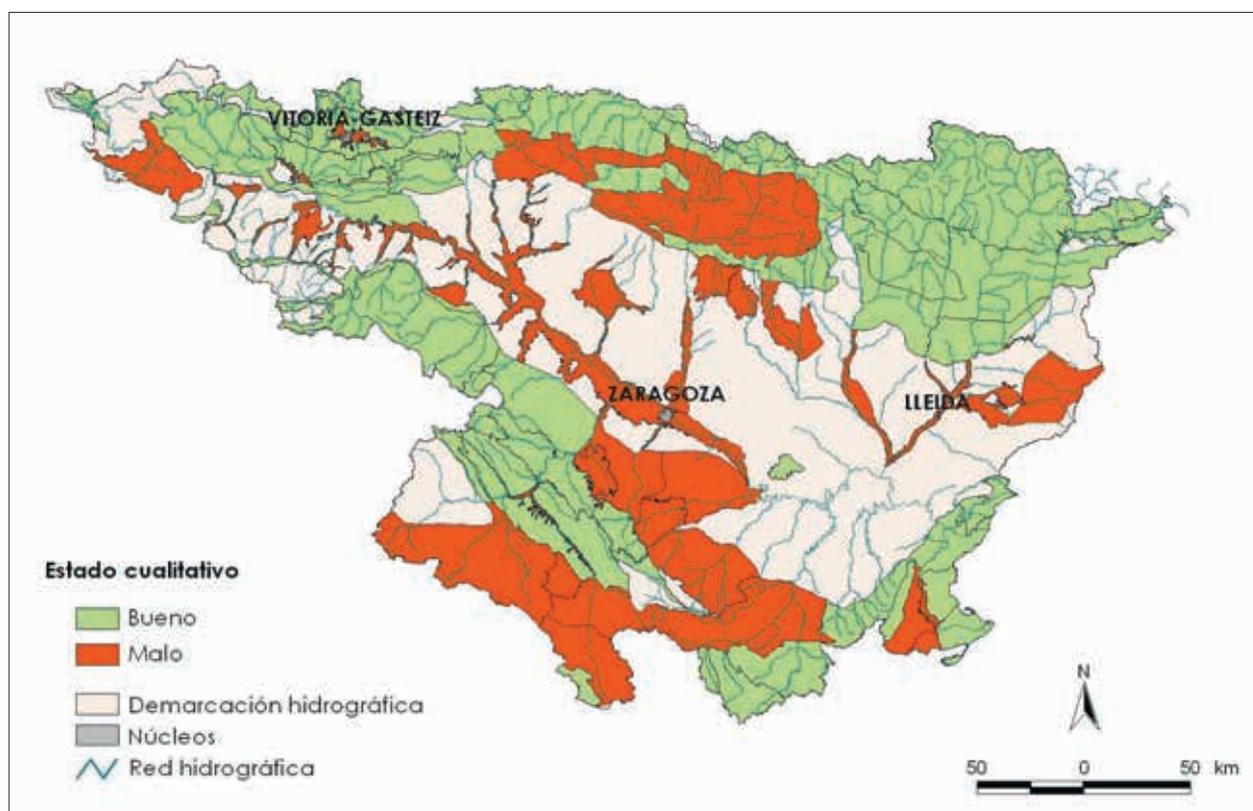


Figura 18. Estado químico de las MASb

los usos ganaderos. Estos problemas se manifiestan especialmente en la concentración de nitratos, pero también en un incremento de la salinidad, y en episodios ocasionales de altos contenidos en plaguicidas (o sus metabolitos) en las aguas subterráneas.

La mayor parte de los acuíferos afectados por la contaminación difusa son aluviales, constituidos por arenas y gravas de elevada porosidad intergranular, de naturaleza libre y con el nivel freático relativamente cercano a la superficie, condicionando todo ello una gran vulnerabilidad frente a la contaminación. Además, estos acuíferos —por su situación y características— coinciden con principales ejes económicos de desarrollo de la cuenca, en los que las fuertes presiones agropecuarias, urbanas o industriales, tienen una prolongada historia.

Existen además eventos de contaminación de carácter puntual en 11 MASb que, en líneas generales, no están suficientemente caracterizados. Se trata de episodios relacionados con redes deficientes de saneamiento y, sobre todo, con actividades industriales o urbanas. Este tipo de contaminación se localiza en plumas de una extensión areal limitada que depende de los parámetros hidrodinámicos del acuífero y que no suele exceder la escala kilométrica.

En lo que se refiere al riesgo por razones cuantitativas, únicamente lo está la masa de agua 090.077, Mioceno de Alfamén. Las importantes extracciones de agua subterránea han tenido como contrapartida un fuerte impacto sobre el hidrodinamismo de los acuíferos Terciario (confinado) y Pliocuaternario, creando situaciones de desequilibrio local en algunos sectores centrales del Campo de Cariñena, especialmente en la zona de Alfamén donde se registran descensos acumulados muy próximos a los 40 m entre 1988 y 2006 (figura 19). Estas zonas sometidas a una alta presión extractiva son las que sustentan el riego de una amplia superficie destinada a la industria vitivinícola y hortofrutícola.

El seguimiento de los niveles piezométricos muestra un comportamiento del acuífero mioceno diferente según el área. Se aprecia un sector donde se concentran los bombeos con descensos continuados desde finales de los años 70 del siglo pasado (Alfamén-Cariñena), con una tendencia que parece amortiguarse desde 2002, probablemente por el efecto combinado de unos años con precipitaciones relativamente abundantes, una disminución de la productividad de las captaciones situadas en las zonas más intensamente explotadas y cambio a cultivos menos exigentes de agua.

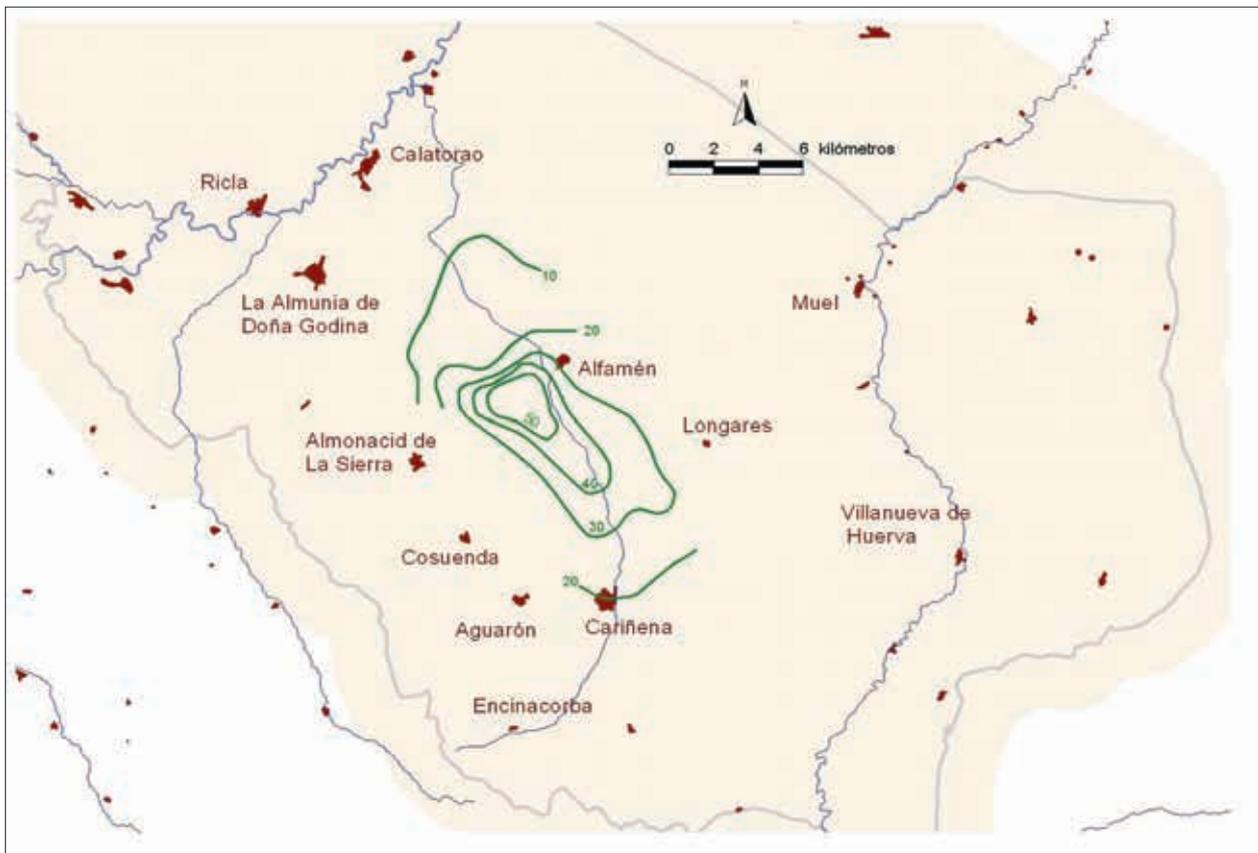


Figura 19. Isodescensos (m) en el acuífero de Alfamén. Periodo 1988-2006

Se ha realizado un examen detallado del grado de cumplimentación para cada una de los 15 en los que se ha dividido la caracterización adicional y en líneas generales, los aspectos relativos a las características geométricas están suficientemente resueltos. La cartografía hidrogeológica elaborada en el GIS-EBRO de la Confederación Hidrográfica, dispone de una escala suficiente para su entendimiento a la escala de detalle de la caracterización adicional. Existen además numerosos perfiles geológicos e hidrogeológicos así como sondeos que complementan adecuadamente esta información.

De la misma manera, los elementos básicos del balance cuantitativo están adecuadamente determinados, tanto en términos de recarga como en volumen de recurso comprometido tal como se refleja en los expedientes de concesión. No así la extracción real, para la que apenas se dispone de datos fiables y homogéneos. No obstante, en conjunto, y junto con las redes de observación piezométrica, permiten establecer un marco de información suficiente para la valoración del estado cuantitativo.

En cuanto a la información relativa a los parámetros hidrodinámicos, la situación es muy desigual en las distintas masas de agua subterránea. Los parámetros de permeabilidad y transmisividad son disponibles en casi la totalidad de las masas de agua subterránea tratada. En cambio, la información relativa a la porosidad y coeficiente de almacenamiento son escasas y, en muchas masas de agua, inexistentes.

Entre los aspectos relacionados con el estado químico de las masas de agua subterránea, existe una gran cantidad de información hidroquímica, mayoritariamente ya incorporada en la base de datos QUIMIPA de la Oficina de Planificación. La información incluye todos los componentes mayoritarios así como buena parte de la lista mínima de contaminantes requeridos en la Directiva 2006/118/CE.

Las mayores carencias en este sentido proceden de la información relativa a las presiones. Si bien se dispone de la información mínima necesaria para describir las presiones difusas (a partir del CORINE LAND COVER, mayoritariamente), la información para analizar las presiones puntuales no está, en líneas generales, suficientemente tratada. La fuente de información de referencia para cumplimentar este apartado, la base de datos DATAGUA del MARM, está específicamente diseñada para el tratamiento de presiones sobre la red superficial, de forma que su adaptación para el análisis de presiones sobre aguas subterráneas adolece de una grave falta de

adecuación. La mayor parte de la información necesaria para su caracterización está dispersa en fondos documentales diversos y no homogéneos (fundamentalmente de las comunidades autónomas).

Otra insuficiencia notable atañe a los aspectos relativos a la relación entre las masas de agua subterránea y los ecosistemas y hábitat protegidos. Podría decirse que a fecha actual la única cuestión que parece aclarada es la lista de humedales en los que su alimentación tiene una importante componente hipogea. Más allá, la información existente en cuanto a zonas y tasas de transferencia puede considerarse prácticamente inexistente.

Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil

El riesgo más significativo sobre esta demarcación, que afecta a 2 masas de agua subterránea, Aluvial del Bajo Miño y la Cubeta del Bierzo, es la contaminación difusa de origen agrícola. Las actividades agropecuarias generan efluentes, procedentes del abono de las tierras de cultivo y de la gestión de los purines de origen ganadero, que producen problemas de contaminación difusa en las aguas subterráneas. Dichos problemas se manifiestan especialmente en la concentración de nitratos. Es reseñable, igualmente, la existencia de numerosas balsas mineras, ejercen presiones significativas sobre el terreno y podrían afectar de forma relevante a la calidad de las aguas subterráneas.

Se han llevado a cabo trabajos complementarios de toma de muestras y análisis de compuestos mayoritarios, en el ámbito geográfico de estas dos MASb, enfocados a la obtención de información acerca de la calidad química de sus aguas subterráneas, dada la insuficiente información hidroquímica de partida.

Las masas de agua de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil no están en riesgo por razones cuantitativas. En cuanto a la información manejada para el estudio existe una insuficiencia destacable relativa a la explotación de las aguas subterráneas, para la que no se dispone de datos.

Otra carencia notable procede de la información referida a las presiones. Si bien se dispone de la información mínima necesaria para describir las presiones difusas (a partir del CORINE LAND COVER, mayoritariamente), la información para analizar las presiones puntuales no está, en líneas generales, suficientemente tratada. La fuente de información de referencia para cumplimentar

este apartado, la base de datos DATAGUA del MARM, está específicamente diseñada para el tratamiento de presiones sobre la red superficial, de forma que su adaptación para el análisis de presiones sobre aguas subterráneas adolece de una grave falta de adecuación. La mayor parte de la información necesaria para su caracterización está dispersa en fondos documentales diversos y no homogéneos (fundamentalmente de las comunidades autónomas).

En cuanto a la información relativa a los parámetros hidrodinámicos, la situación es muy desigual en las distintas masas de agua subterránea.

Los parámetros de permeabilidad y transmisividad son disponibles en casi la totalidad de las masas de agua subterránea tratada. En cambio, la información relativa a la porosidad es escasa y para el coeficiente de almacenamiento inexistente. Otra insuficiencia notable atañe a los aspectos relativos a la relación entre las masas de agua subterránea y los ecosistemas y hábitat protegidos.

Demarcación Hidrográfica del Tajo

De las 24 masas de agua subterránea definidas en el Tajo, se identificaron 14 masas en riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales definidos en la DMA, debido a presiones sobre la cantidad de recurso subterráneo y/o a la calidad de las aguas subterráneas (enero 2008).

En relación a las presiones sobre la calidad del agua subterránea en las 14 MASb identificadas en riesgo, se deben a problemas de contaminación difusa, siendo la contaminación por nitratos una de las causas más comunes de deterioro de la calidad de aguas subterráneas, y cuyo origen, en la mayoría de las ocasiones, responde a fuentes difusas relacionadas con la actividad agrícola y ganadera derivada del uso excesivo e inadecuado de fertilizantes y el aumento del número de estabulaciones. En general, en aquellas MASub en las que el valor medio de nitrato no es excesivamente alto, pero puede ser indicativo del mal estado químico de las mismas (25-50 mg/L), sería necesario hacer un análisis en profundidad una vez establecidos los valores umbral, para determinar el grado de afección real de las mismas y llevar a cabo un programa de medidas adecuado a las necesidades de cada una de las MASb. Esto ocurre en las MASb 030.006, 030.007, 030.008, 030.013, 030.015, 030.016, 030.017, y 030.019. La MASb 030.018 Ocaña, está claramente en mal estado químico por nitratos. Los materiales carbonatados de la misma la hacen además más vulnerable frente a la contaminación y la tendencia contaminante es claramente ascendente.

El contenido en sulfatos para algunas MASb (030.007, 030.013, 030.017, 030.018 y 030.024) también es elevado, pero su origen parece ser natural conferido por los niveles yesíferos existentes.

MASb	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Nitritos	Metales (Hg,Pb, Cd)	Plaguicidas
030.006 Guadalajara		p	p		p	
030.007 Aluviales Jarama-Tajuña		x	p			
030.008 La Alcarria		p	x	p		
030.010 Madrid: Manzanares-Jarama		p	x	x	p	
030.011 Madrid: Guadarrama-Manzanares			x	p	x	
030.012 Madrid: A. Fresno-Guadarrama			x	p	p	
030.013 Aluvial Tajo: Zorita-Aranjuez		p				
030.015 Talavera			x		p	
030.016 Aluvial Tajo: Toledo-Montearagón		p				
030.017 Aluvial Tajo: Aranjuez-Toledo	p	p	p			
030.018 Ocaña		x	x			
030.019 Moraleja			p			
030.022 Tiétar			x			p
030.024 Aluvial Jarama: Madrid-Guadalajara		p				

Tabla 6. Análisis de la depuración piezométrica. (p = puntual)

En la tabla 6 se muestra un resumen de los principales problemas de calidad química detectados en las aguas subterráneas. Para sustancias como nitratos, nitritos, amonio total y plaguicidas, solo cabe esperar un origen antrópico de estos valores elevados. Para el caso de cloruros, sulfatos y metales pesados se puede deber tanto a un origen antrópico como a valores de fondo elevados de origen natural.

En cuanto a las presiones sobre la cantidad del recurso subterráneo destacaban 7 MASb que presentan en general una tendencia descendente de los niveles piezométricos a lo largo del tiempo. En la tabla 7 se resumen los aspectos más significativos que se obtuvieron del análisis de la información obtenida en el apartado de piezometría de la ficha, así como las tendencias de los gráficos del índice de llenado. Para las MASb 030.013 y 030.017, prácticamente no hay información.

El descenso de los niveles piezométricos de los acuíferos, fundamentalmente desde 1995 a la actualidad, es el efecto de una explotación concentrada en determinados sectores de las MASb. Fuera de los sectores en los que se concentran las explotaciones, los descensos del nivel piezométrico se han mantenido más o menos equilibrados.

MASb	Descenso piezométrico	Estabilización piezométrica	Recuperación piezométrica	Descenso índice de llenado	Estabilización índice de llenado	Recuperación índice de llenado
030.010	—					—
030.011	—	—	—		—	
030.012	—	—		—		
030.013						
030.017					—	
030.022	—	—			—	
030.024				—		

Tabla 7. Tendencias por MASb

Los trabajos complementarios de campo consistieron en la realización de un inventario y una campaña de piezometría en las masas de los aluviales 030.013 Aluvial del Tajo: Zorita de los Canes-Aranjuez y del aluvial 030.016 Aluvial del Tajo: Toledo-Montearagón, con el fin de elaborar un mapa de isopiezas en época de estío (verano 2008, figura 20).

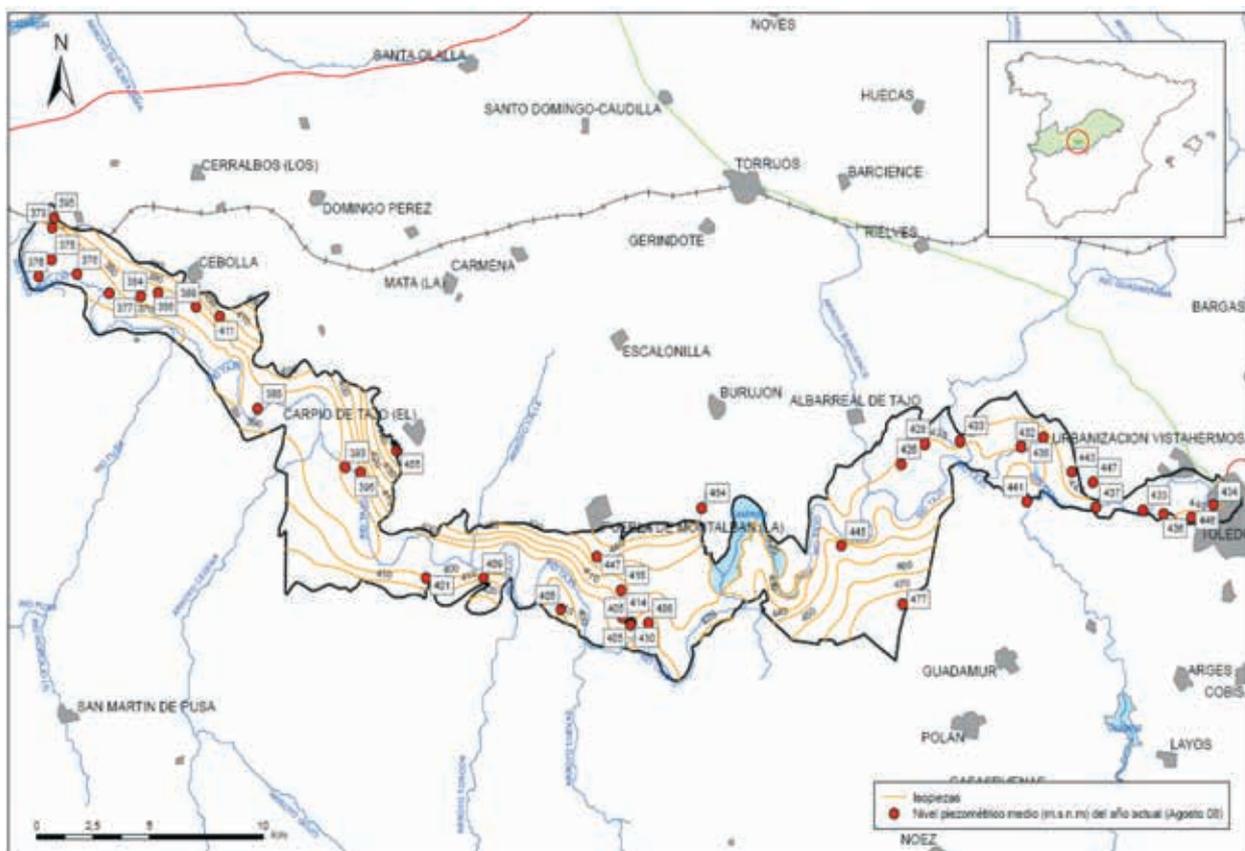


Figura 20. Isopiezas agosto 2008 030.016 Aluvial del Tajo: Toledo-Montearagón

En resumen, como se aprecia en la tabla referente al grado de cumplimentación de los apartados de la ficha de caracterización adicional, los apartados que se han realizado con mayor grado de detalle son los de identificación, características geológicas y usos del suelo. Para el resto de apartados, relacionados con características hidrogeológicas, zona no saturada, piezometría, sistemas de superficie asociados, calidad y presiones, el grado de conocimiento depende en gran medida tanto de los datos procedentes de las redes de control (piezometría, calidad, intrusión), como de estudios específicos en la masa (definición de acuíferos, ensayos de bombeo, estudios sobre vulnerabilidad frente a la contaminación, inventarios de focos contaminantes). Un caso especial es el de los sistemas de superficie asociados. En este caso, aunque se dispone de los inventarios RAMSAR y la red Natura 2000, hay todavía mucho trabajo por hacer a la hora de conocer la relación de estos sistemas con las aguas subterráneas, y en caso de que exista, definir tasas y zonas de transferencia. La ausencia de estos datos en la mayor parte de los casos, no ha permitido cumplimentar un porcentaje elevado de la información de la ficha de caracterización adicional.

Demarcación Hidrográfica del Guadiana

De las 20 masas de agua subterránea de la Demarcación, a fecha de enero de 2008, estaban identificadas 17 en riesgo de no alcanzar los objetivos medioam-

bientales debido a presiones sobre la cantidad de recurso subterráneo y/o la calidad de las aguas subterráneas.

En relación a la presiones sobre la calidad del agua subterránea, las 17 masas estaban definidas en riesgo por problemas de contaminación difusa por contaminación por *nitratos* relacionada con la actividad agrícola y ganadera. Las MASub 041.003, 041.004, 041.005, 041.009, 041.010, 041.015, 041.016 y 041.017 se encontraban claramente en mal estado químico por nitratos (más de 50mg/L como valor medio).

El contenido en sulfatos para algunas MASb (041.001, 041.003, 041.004, 041.005, 041.006, 041.007, 041.009, y 041.012) también es elevado, pero su origen, en general, parece ser natural provocado por los niveles evaporíticos.

En la tabla 8 se muestra un resumen de los principales problemas de calidad química detectados en las aguas subterráneas.

Con la información disponible para la elaboración de la actividad, se consideraba conveniente una ampliación de la Red de control de calidad para todas las masas, en especial en la 041.013, en la que no se disponía de ningún punto de control y en los aluviales 041.011 y 041.012.

MASb	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Nitritos	Plaguicidas
041.001 Sierra de Altomira		x	x		
041.003 Lillo-Quintanar		x	x		
041.004 Consuegra- Villacañas	x	x	x		
041.005 Rus- Valdelobos		x	x		
041.006 Mancha Occidental II	p	x	x	p	
041.007 Mancha Occidental I	p	x	x	p	
041.008 Bullaque					
041.009 Campo de Calatrava	x	x	x	p	
041.010 Campo de Montiel		p	x	p	
041.011 Aluvial del Jabalón		p			
041.012 Aluvial del Azuer		p	p		
041.013 Los Pedroches					
041.015 Vegas Bajas	p	p	x	p	p
041.016 Vegas Altas		x	x		
041.017 Tierra de Barros			x		
041.018 Zafra-Olivenza			p		
041.020 Ayamonte	p		p	p	

Tabla 8. Problemas de calidad detectados por MASb (p=puntual)

Respecto a las presiones sobre la cantidad de recurso subterráneo, existían 6 masas en riesgo debido a que los niveles piezométricos presentaban una tendencia descendente a lo largo del tiempo. En la tabla 9 se resumen los aspectos más significativos que se obtuvieron del análisis de la información piezométrica utilizada en la elaboración de la ficha de caracterización adicional.

MASb	Descenso piezométrico	Estabilización piezométrica	Recuperación piezométrica	Descenso índice de llenado	Estabilización índice de llenado	Recuperación índice de llenado
041.005	—			—		
041.006	—	—		—		
041.007	—	—	—	—		
041.010	—	—		—		
041.015		—	—			—
041.020			—			—

Tabla 9. Tendencias por MASb

Los trabajos de campo en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana (tabla 10) consistieron en la identificación, localización y caracterización de captaciones de aguas subterráneas utilizadas para el uso urbano que no estuvieran recogidos en las bases de datos actuales, o de las que tuvieran una información parcial en 3 masas en riesgo (zona de ampliación de la masa 041.009 Campo de Calatrava, 041.013 Los Pedroches y 041.018 Zafra-Olivenza)

MASb	Captaciones para abastecimiento urbano inventariadas	Núcleos abastecidos
041.009 Campo de Calatrava	11	3
041.013 Los Pedroches	9	6
041.018 Zafra-Olivenza	26	13
TOTAL	46	22

Tabla 10. Trabajos de campo

En resumen, como ocurre en general en el resto de Demarcaciones existen diferencias en el grado de detalle en el que se han podido cumplimentar los diferentes apartados de la ficha de caracterización adicional. La ausencia de datos concretos no permitió cumplimentar un porcentaje importante de la ficha de caracterización adicional.

Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

De las 58 masas de agua subterránea definidas en la Demarcación (aunque durante el proceso de revisión del Plan de Cuenca se delimitaron dos nuevas masas de agua subterránea; 05.72 Sierra de Cañete y 05.73 Aluvial del Guadalquivir-Sevilla), se identificaron, a fecha de enero de 2008, 40 masas en riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales definidos en la DMA, debido a presiones sobre la cantidad y/o a la calidad de las aguas subterráneas.

En relación a las presiones sobre la calidad del agua subterránea, 24 masas se identificaron en riesgo por problemas de contaminación difusa, y una de ellas además, por problemas de contaminación puntual.

La contaminación por nitratos representa una de las causas más comunes de deterioro de la calidad de aguas subterráneas, ligado principalmente a la fertilización de suelos por compuestos nitrogenados en el regadío. Las masas 05.23, 05.25, 05.26, 05.27, 05.32, 05.44, 05.46, 05.47, 05.50, 05.52, 05.68 y 05.69, estaban claramente en mal estado químico debido al elevado contenido de nitratos, superando en algunos casos los 100 mg/L y hasta los 300 mg/L de valor medio para la masa 05.27 Porcuna, en la que la tendencia es claramente ascendente.

En algunos sectores de la demarcación también es importante la contaminación de los acuíferos debida a causas naturales como consecuencia de la naturaleza yesífera y salina de formaciones (Triásico de facies Keuper) por lo que el contenido en sulfatos para algunas masas (05.08, 05.13, 05.26, 05.27, 05.32, 05.33, 05.52 y 05.69) es elevado.

Los valores de algunos metales también son elevados en algunas masas (05.27, 05.32, 05.33, 05.46 y 05.49), y podrían tener su origen en la actividad industrial de estas zonas.

En la tabla 11 se muestra un resumen de los principales problemas de calidad química detectados en las aguas

MASb	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Nitritos	Metales (Hg,Pb, Cd)	Plaguicidas
05.01 Sierra de Cazorla		p	p			
05.04 Huescar-Puebla D. Fadrique						
05.05 Sierra de la Zarza						
05.06 Orce-Maria-Cullar	p		p			
05.07 Ahillo-Caracolera-San Pedro		p				
05.08 Sierra Estancias		x				
05.09 Baza-Caniles		p				
05.12 Guadix-Marquesado		p				
05.13 El Mencal	p	x				
05.14 Bedmar-Jodar						
05.15 Torres-Jimena						
05.16 Jabalcuz		p	p			
05.17 Jaén						
05.18 San Cristóbal		p				
05.19 Mancha Real-Pegalajar			p			
05.22 Mentidero-Montesinos		p				
05.23 Ubeda		x	x	p		
05.24 Bailén-Guarromán		p	x			
05.25 Rumberal			x			
05.26 A.Guadalquivir (curso alto)	x	x	x	p		
05.27 Porcuna	p	x	x		Pb(p)	
05.28 Montes Orientales Norte		p	p			
05.32 Depresión de Granada		x	x	x	Pb(p)	
05.33 Sierra Elvira	p	x				
05.35 Cabra-Gaena		p		x		
05.36 Rute-Horconera		p		x		
05.38 Pedroso-Arcas			p	x		
05.41 Guadahortuna-Larva		x				
05.43 Sierra y Mioceno de Estepa	x	p	p			
05.44 Altiplano de Ecija	x	p	x	x	Pb(p)	
05.46 A. Guadalquivir (curso medio)		x	x	p	Pb(p)	
05.47 Sevilla-Carmona	x	x	x	p		
05.48 Arahal-Coronil-Morón-Puebla	x	x	x			
05.49 Niebla-Posadas	p	p	p	x	Pb(p)	
05.50 Aljarafe	p	p	x		Pb(p)	
05.51 Almonte- Marismas	x	p	p		Pb(p)	
05.52 Sierra de Lebrija	x	x	x			
05.68 Puente Genil-Rambla-Montilla	p	p	p			
05.69 Osuna	x	x	p			
05.71 Campo de Montiel						

Tabla 11. Problemas de calidad detectadas por MASb (p=puntual)

subterráneas, a la luz de los datos empleados para la elaboración de la ficha de caracterización adicional.

En cuanto a las presiones sobre la cantidad del recurso subterráneo, en enero de 2008 se habían definido 21

masas en riesgo. En estas masas se observa, en general, una tendencia descendente de los niveles piezométricos y del índice de llenado, comprometiendo en algunos casos los abastecimiento urbanos (Como La Roda de Andalucía en la masa 05.43 "Sierra y Mioceno de Estepa").

En la tabla 12 se resumen los aspectos más significativos que se obtuvieron del análisis de la información

MASb	Descenso piezométrico	Estabilización piezométrica	Recuperación piezométrica	Descenso índice de llenado	Estabilización índice de llenado	Recuperación índice de llenado
05.01	x			—		
05.04	—	—		—		
05.05			—			x
05.06	—	—			x	
05.07						
05.09	—	—	—	—		
05.12	—	—		—		
05.14	—			—		
05.16						
05.17				—		
05.19	—	—		—		
05.22						
05.38						
05.41						
05.43	—		—	—		
05.47	—	—	—	—		
05.49	—	—		—		
05.50	—			—		
05.52			—			
05.71						

Tabla 12. Tendencias piezométricas por MASb.

obtenida en el apartado de piezometría de la ficha de caracterización adicional.

Aunque en un principio se estimó oportuno realizar como trabajos complementarios de campo alguna campaña de piezometría e inventario en alguna masa, la DGA propuso que, debido a diversos problemas para llevarse a cabo la toma de datos en la red de calidad en este año, se contemplaran estos trabajos en la Encomienda.

En concreto se propuso la toma de muestras y posterior determinación en laboratorio de 142 captaciones de aguas subterráneas repartidas por todas las masas de agua subterránea en riesgo de la demarcación (116 puntos de la Red de Control y 16 puntos adicionales propuestos, figura 21).

El muestreo se llevó a cabo durante el mes de agosto y la primera quincena de septiembre de 2008, pudiendo muestrearse 114 captaciones de las propuestas. En todos los puntos de muestreo, siempre que fue posible, se ha procedido a medir la profundidad de nivel o caudal de manantiales y a la determinación *in situ* de los parámetros no conservativos (temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, conductividad, oxígeno disuelto y REDOX), cumplimentando una ficha de campo. Los resultados de laboratorio se incorporaron a una base de datos con la misma estructura que la base de calidad del MARM.

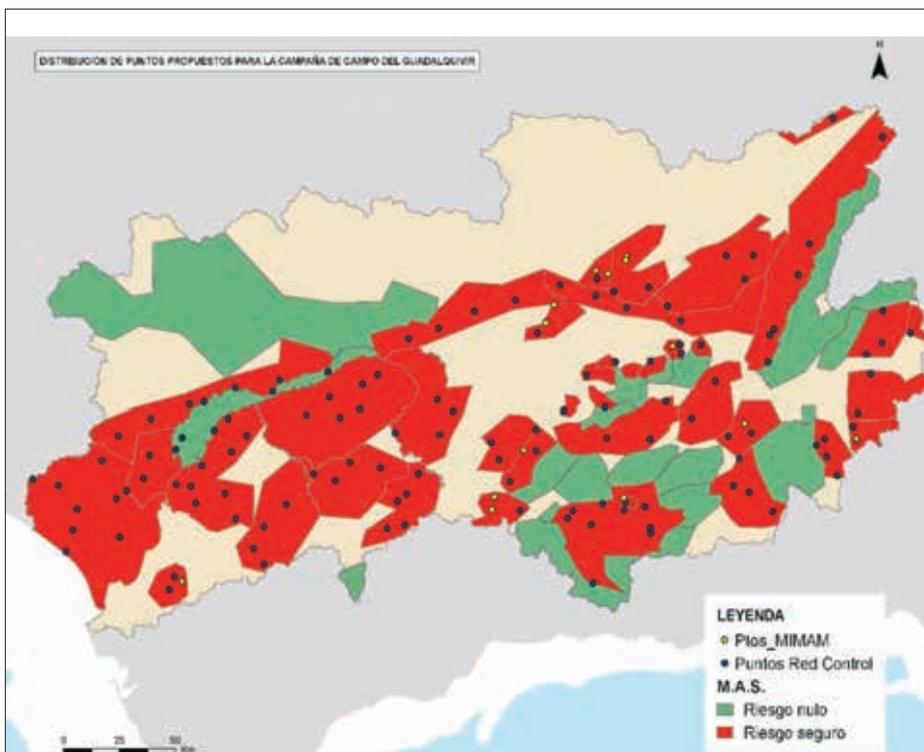


Figura 21. Puntos de agua de la campaña de muestreo agosto-septiembre 2008.

En resumen, la información disponible en algunas masas no resultó suficiente para cumplimentar la totalidad de los apartados en los que se estructuró la ficha de caracterización adicional tal como se indica en el cuadro de grado de cumplimentación del punto 3 de este capítulo. Fue imposible evaluar el estado cuantitativo de algunas masas (05.07, 05.16, 05.17, 05.18, 05.22, 05.38 y 05.41) dada la carencia de información disponible, por lo que sería conveniente ampliar la Red de control piezométrica e hidrométrica en las mismas. En cuanto a la evaluación del estado cualitativo, se utilizaron puntos no sólo de la red de control, sin embargo se hace evidente la escasez de información disponible, fundamentalmente en lo que se refiere a plaguicidas y metales en masas como 05.05, 05.08, 05.13, 05.16, 05.25, 05.27, 05.33, 05.35, 05.38 y 05.71. En general, se cree conveniente una ampliación de la Red de control de calidad para todas las masas, pero por la importancia del seguimiento de nitratos, sería necesaria la ampliación de dicha red sobre todo para la 05.08 y 05.35.

CONSIDERACIONES FINALES

En los trabajos de apoyo a la caracterización adicional, se han caracterizado 232 masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015, figura 22, definidas a fecha de enero de 2008, según la siguiente distribución por demarcación hidrográfica, tabla 13

Cada una de las masas en riesgo fue objeto de una ficha de caracterización adicional. Como promedio en cada

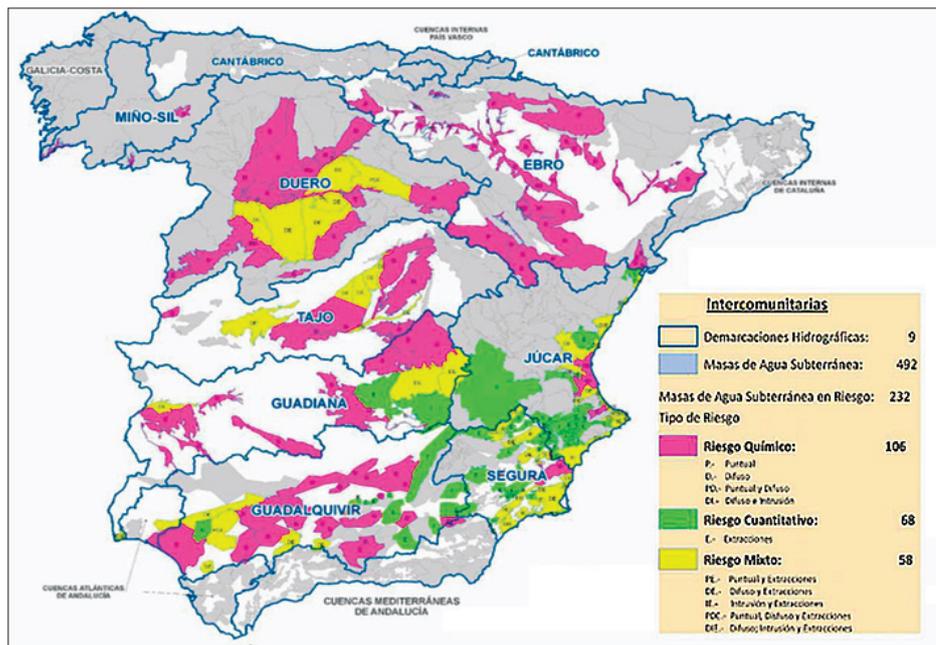
Demarcación HIDROGRÁFICA	N.º de Masas de Agua Subterránea en riesgo
Miño-Sil	2
Duero	23
Tajo	14
Guadiana	17
Guadalquivir	40
Segura	46
Júcar	48
Ebro	42
TOTAL	232

Tabla 13. Distribución por demarcaciones de las MASb en riesgo.

masa se realizaron 19 mapas, lo que para la totalidad de los trabajos de caracterización adicional implica la elaboración de unos 4.400 documentos cartográficos, a los que acompañan un promedio de 2 columnas litológicas por masa, un corte geológico, tres gráficos de evolución piezométrica, un gráfico de evolución del índice de llenado, 10 gráficos de evolución de la calidad química y un gráfico de cajas para la determinación de los valores umbral. En total la información gráfica no cartográfica elaborada, asciende como mínimo a unos 4.100 gráficos.

La información que acompaña a cada ficha se presenta además en formato digital (coberturas, imágenes, do-

Figura 22. Masas de agua subterránea intercomunitarias declaradas en riesgo. Enero 2008



cumentos en formato pdf de cada masa) para su utilización posterior en un SIG, y se almacena en una base de datos Access 2007 por cada demarcación.

Entre los trabajos realizados de mayor interés se destaca la recopilación y el análisis de la información documental existente en cada masa de agua subterránea. El resultado se plasma en los distintos apartados de la ficha de caracterización adicional, en forma de listados de documentos. Se trata, por lo tanto, de una catalogación temática de los principales documentos hidrogeológicos, actuales y antiguos, de cada masa de agua subterránea en cada una de las demarcaciones intercomunitarias. De este modo la caracterización adicional, además de aportar una síntesis sobre el estado del conocimiento de cada masa de agua, permite disponer de un catálogo de documentos de referencia.

El estado de la información encontrada y utilizada ha sido muy dispar en cada apartado de la ficha. Por lo general, los aspectos más básicos, como aquellos relacionados con las características geológicas e hidrogeológicas de las masas de agua, se han podido cumplimentar debido a la existencia de una infraestructura cartográfica sólida a nivel nacional como es la cartografía geológica MAGNA, el mapa continuo litoestratigráfico y de permeabilidades y el mapa de suelos a escala 1:1.000.000.

Las principales carencias de información, se encontraron en los aspectos relacionados con la piezometría de algunas masas poco conocidas por su escasa entidad, en las que no se ha realizado un control histórico a través de las redes de seguimiento. Del mismo modo, se ha detectado una importante ausencia de datos geográficamente distribuidos de los principales parámetros hidráulicos.

En relación con los apartados de calidad química, se produce el mismo problema que en el caso de la piezometría, la ausencia significativa de datos en algunas masas de agua subterránea poco conocidas. En general se puede establecer que la principal fuente de información son las redes actuales e históricas de control y que en aquellas masas en las que no se ha llevado a cabo el control oficial de las mismas, no se dispone de información suficiente para hacer un diagnóstico fiable. Aunque este problema se puede solventar en el diseño de las futuras redes, afectará sobre todo en la determinación de los niveles de referencia, tanto de piezometría como de calidad, ya que en muchos casos no se dispone de datos históricos.

Otro aspecto relevante a remarcar es la deficiencia de los datos utilizados para los apartados de presiones sobre las aguas subterráneas. La fuente principal de información han sido las presiones e impactos para aguas superficiales (IMPRESS). Aunque esta información es, en principio, válida igualmente para las aguas subterráneas, hay que tener en cuenta que los parámetros y los umbrales utilizados en su momento para determinar los impactos son específicos para las aguas superficiales. Así, por ejemplo, un parámetro es la distancia a los cauces públicos, de modo que aquellas presiones situadas a gran distancia de los mismos pueden no estar contempladas en el IMPRESS y sin embargo suponer un impacto para las aguas subterráneas.

Teniendo en cuenta que esta actividad fue una de las primeras en desarrollarse en la Encomienda de Gestión, algunos de los aspectos contemplados en origen y que no se pudieron abordar, sobre todo por la escasez de tiempo, podrán ser complementados o mejorados con la información y los datos que se han obtenido durante el desarrollo de otras actividades, y que en su momento podrán ser incorporadas a la estructura de base de datos de caracterización adicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comisión Europea (2009) Estrategia Común de Implantación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Documento Guía n.º 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias. (Traducción Dirección General del Agua MARM).
- Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General del Agua (2005) Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitaria.
- IGME-DGA (2009) Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015. Demarcaciones Hidrográficas del Miño-Sil, Cantábrico, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro. Encomienda de gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al IGME (MCIN) para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas.
- IGME-DGA (2006) Mapa litoestratigráfico y de permeabilidades.
- IGME-DGA (2005) Guía metodológica de caracterización de masas de agua subterránea.

INTERRELACIÓN ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS,
MANANTIALES, ZONAS HÚMEDAS Y OTROS ECOSISTEMAS
DE ESPECIAL INTERÉS HÍDRICO

José Manuel Murillo Díaz

INTERRELACIÓN ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS, MANANTIALES, ZONAS HÚMEDAS Y OTROS ECOSISTEMAS DE ESPECIAL INTERÉS HÍDRICO

INTRODUCCIÓN Y CONTENIDO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos que se presentan, han tenido como objetivo realizar, para distintos regímenes de funcionamiento hídrico (natural e influenciado), siempre que fuera posible, una primera caracterización, evaluación y cuantificación de la interrelación que existe entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden, manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico.

El ámbito de los trabajos realizados se circunscribió a las 9 Demarcaciones Hidrográficas intercomunitarias españolas, la unidad básica de estudio fue la masa de agua subterránea (MASb), pero según avanzaba el proyecto se consideró necesario, debido a la necesidad de finalizarlo en plazo, modificar el criterio inicialmente adoptado, por lo que, junto a la anterior unidad de estudio, se establecieron otras de mayor extensión, como los sistemas de explotación o los dominios hidrogeológicos, que englobaban varias MASb.

Para lograr el objetivo establecido fue preciso realizar cinco subactividades:

1. Fase de consulta bibliográfica y de captura de información.
2. Identificación y caracterización de la interrelación que presentan las aguas subterráneas con los cursos fluviales.
3. Identificación y caracterización de las descargas que tienen lugar a través de manantiales.
4. Identificación y caracterización de la interrelación entre las aguas subterráneas y las zonas húmedas.
5. Identificación y caracterización de la interrelación que presentan las aguas subterráneas con otros ecosistemas naturales distintos de las zonas húmedas de especial interés hídrico.

El contenido del trabajo realizado en cada una de estas actividades se detalla a continuación:

1. Fase de consulta bibliográfica y de captura de información. Se ha realizado en diferentes centros de índole pública y privada, entre los que cabe citar las Confederaciones Hidrográficas, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, el Instituto Geológico y Minero de España y los departamentos de geología, hidrogeología, ecología, hidrología y otras materias afines, relacionadas con la temática en estudio, pertenecientes a distintas universidades españolas.
2. Identificación y caracterización de la interrelación que presentan las aguas subterráneas con los cursos fluviales. Se han identificado aquellos lugares o tramos de río donde los acuíferos drenan a los cauces superficiales, así como aquellos tramos donde los ríos son perdedores y recargan a los acuíferos. En función de los datos actuales e históricos disponibles se ha cuantificado, siempre que ha sido posible, la ganancia o pérdida que tiene lugar, incluso en algunas ocasiones se ha caracterizado la interrelación río-acuífero en régimen natural e influenciado. En numerosos casos, los datos de que se ha dispuesto pertenecían a series cortas, discontinuas y/o sin periodicidad, que no han permitido elaborar un modelo conceptual de funcionamiento de la relación río-acuífero robusto y consistente, ni cuantificar una pérdida o ganancia de agua sustentada en series de datos suficientemente largas y representativas.

Cuando los datos han sido suficientemente representativos se ha descompuesto el hidrograma en escorrentía superficial y subterránea, y obtenido el coeficiente de agotamiento. En general solo se ha podido dibujar y analizar hidrogramas mensuales medios, en menor cuantía hidrogramas diarios y solo en casos excepcionales trazar el hidrograma para la serie histórica completa. En este último caso se han identificado los diferentes periodos de agotamiento y obtenido cada uno de los coeficientes que los caracterizan.

3. Identificación y caracterización de las descargas que tienen lugar a través de manantiales. Se han identificado los lugares donde puntualmente las aguas subterráneas descargan en la superficie del terreno. Todas las surgencias identificadas se han situado en mapas donde ha quedado reflejado su caudal medio, o puntual en aquellos casos en que solo existe un único registro. Debido al gran déficit en los datos de medida y control de las descargas de los manantiales, únicamente ha sido posible representar e interpretar su hidrograma en un porcentaje relativamente reducido, por lo que en general solo se ha estudiado la evolución del caudal y determinado el coeficiente de agotamiento en un porcentaje relativamente pequeño de manantiales. En las descargas más importantes y significativas se ha realizado un bloque diagrama o un esquema explicativo de su funcionamiento hidrogeológico.
4. Identificación y caracterización de la interrelación entre las aguas subterráneas y las zonas húmedas. En esta actuación se han tratado de identificar aquellas zonas húmedas que se encuentran directamente relacionadas con las aguas subterráneas. Generalmente no se ha dispuesto de datos que hayan posibilitado la realización de un estudio cuantitativo y/o cualitativo de los humedales, con lo que en la mayoría de los casos se ha definido el carácter influente o efluente de los mismos y el modelo conceptual de relación entre las zonas húmedas y los acuíferos.
5. Identificación y caracterización de la interrelación que presentan las aguas subterráneas con otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Se ha realizado una caracterización hidrogeológica básica de espacios naturales con especial interés hídrico, identificando y enumerando los elementos que interrelacionan las aguas superficiales y subterráneas, tales como manantiales, sumideros, humedales relacionados con las masas de agua subterránea y tramos de relación río-acuífero bien sea ésta de ganancia o pérdida.

En función de los resultados que ha proporcionado la realización de la actividad 4 se ha elaborado un plan de seguimiento y control, que incluye la propuesta de nuevos puntos de medida, que permitan obtener una información más precisa y detallada, que conduzca a un mejor conocimiento en un futuro próximo de la interrelación que existe entre las aguas superficiales y las subterráneas, ya que el existente en la actualidad, como se ha puesto de manifiesto en el estudio realizado, es bastante precario.

METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología utilizada en el estudio de la caracterización, evaluación y cuantificación de la interrelación que existe entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden, manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico.

Interrelación entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden.

Se ha esquematizado a partir de tres criterios: sentido de la relación hídrica, distribución espacial y continuidad o discontinuidad de la conexión hidráulica.

Sentido de la relación hídrica

En el presente trabajo el sentido de la relación río-acuífero hace referencia a una pérdida o ganancia de agua entre una formación geológica permeable y un río. Se ha analizado tanto en función de datos piezométricos, como hidrométricos y foronómicos. Se han distinguido cuatro situaciones: cauce efluente, cauce influente, cauce con relación variable y cauce con relación compuesta o mixta.

Cauce efluente o ganador. Es aquel que recibe aportes de agua subterránea desde una o varias formaciones geológicas permeables.

Cauce influente o perdedor. Es aquel que cede parcial o totalmente su caudal a favor de una o varias formaciones geológicas permeables.

Cauce con relación variable. Corresponde a aquel cauce que presenta un régimen de pérdida-ganancia de agua variable en el tiempo. Esta circunstancia se produce cuando el nivel freático o piezométrico del acuífero fluctúa por encima o por debajo de la lámina de agua que existe en un determinado momento en el cauce del río.

Cauce con relación compuesta o mixta. Corresponde a una situación muy poco frecuente, que tiene lugar en un tramo de río donde se produce simultáneamente la situación de ganador y perdedor. Es el caso de un cauce que discurren sobre una formación geológica permeable a la que cede agua, pero a su vez es alimentado por manantiales o descargas difusas procedentes de otra formación acuífera muy próxima o en contacto directo con el cauce en una de sus orillas.

Distribución espacial de la relación hídrica

Desde un punto de vista espacial la relación río-acuífero se ha establecido de acuerdo a las siguientes tipologías:

Puntual. La relación de ganancia o pérdida se produce de forma localizada y visible en lugares y puntos concretos de un determinado tramo de un río. Se pueden diferenciar los siguientes subtipos:

- Punto único: La descarga o pérdida de agua se produce de forma visible en un único lugar.
- Puntual agrupada: La descarga o pérdida de agua tiene lugar a través de varios puntos de agua perfectamente diferenciables entre sí. Estos puntos se pueden situar según una estructura más o menos lineal y paralela al cauce principal, que descargan agua subterránea a varios cursos secundarios, que confluyen en uno principal. La agrupación también puede ser en cascada. En este caso los puntos se localizan uno detrás de otro a lo largo de un único curso secundario, cuando se trata de manantiales, o en el propio curso principal cuando se trata de sumideros.

Difusa. La relación de ganancia o pérdida se produce a lo largo de un tramo más o menos largo del cauce de un río, sin que se pueda identificar una descarga o un sumidero concreto.

Mixta. Se trata de aquellos casos en los que para un mismo tramo de un río es posible identificar simultáneamente una ganancia o pérdida de agua tanto de tipo difuso como puntual.

Continuidad o discontinuidad de la conexión hidráulica

Contempla el estudio de la situación relativa que existe entre el nivel de agua en el río y en la superficie piezométrica de los acuíferos que están interconectados con el curso fluvial. Dependiendo de la posición que ocupe uno u otra se pueden establecer dos situaciones, que hacen referencia a la continuidad o discontinuidad hidráulica de la relación río-acuífero. En el presente documento a la primera situación se la ha denominado directa y a la segunda indirecta. Esta última se produce cuando el nivel del acuífero desciende por debajo de la cota del lecho del río y ambos quedan desconectados hidráulicamente entre sí, dando lugar a una infiltración constante de agua. Por lo que respecta a la primera situación se ha ana-

lizado de acuerdo con la expresión de Cauchy, que matemáticamente se escribe:

$$Q = C_R (H - h) \quad (1)$$

Donde:

Q es el caudal de agua que se intercambia entre el río y el acuífero.

H es la cota de la lámina de agua en el tramo del río que se está analizando.

h es la cota de agua del acuífero en el tramo del río que se está analizando.

y

C_R es la conductancia hidráulica entre el río y el acuífero, que se calcula a través de la expresión:

$$C_R = A_L K_L / e_L \quad (2)$$

Donde:

K_L es la permeabilidad del lecho del río en el tramo del mismo que se está analizando.

e_L el espesor del lecho del río en el tramo del mismo que se está analizando.

y

A_L la superficie del lecho del río, que se determina mediante:

$$A_L = P_M L_C \quad (3)$$

Donde:

P_M es el perímetro mojado.

y

L_C la longitud del cauce para cada tramo del mismo que se está analizando.

En la expresión (1) puede ocurrir que $H > h$ y $H < h$. En el primer caso el caudal es positivo y se produce una infiltración variable de agua desde el río al acuífero.

En el segundo supuesto el caudal es negativo y tiene lugar una descarga de agua también variable desde el acuífero al río. La alternativa $H = h$ implica que no hay cesión de agua ni en uno ni otro sentido.

De acuerdo a los criterios anteriormente desarrollados se muestran en la tabla 1 las diferentes tipologías que se han establecido para caracterizar la interrelación que se presenta entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL		CONTINUIDAD O DISCONTINUIDAD DE LA CONEXIÓN HIDRÁULICA	SENTIDO (PÉRDIDAS-GANANCIAS)	DESCRIPCIÓN
Difusa	Directa	Ganador	El río gana, pierde, o mantiene una relación variable a lo largo de un tramo concreto del mismo y de un determinado intervalo de tiempo, sin que exista desconexión hidráulica entre el río y el acuífero, y sin que se pueda identificar el punto o los puntos de recarga o descarga al acuífero.	
		Perdedor		
		Variable		
	Indirecta con efecto ducha en acuíferos de tipo granular	Perdedor	El río atraviesa una formación geológica permeable, pero su curso se encuentra descolgado respecto de la superficie piezométrica del acuífero, dando lugar a lo largo de un tramo de su cauce a una pérdida de agua, que se denomina "efecto ducha".	
		Variable	La posición de la superficie piezométrica con respecto a la lámina de agua del río se comporta tanto de efluente como de influente. Cuando el río es ganador, la conexión hidráulica es siempre de tipo directo, cuando es perdedor, la conexión puede pasar a indirecta en el instante en que la superficie piezométrica desciende por debajo de la cota en que se descuelgan el río y el acuífero. En ese momento aparece el denominado efecto ducha.	
	Indirecta con efecto ducha en acuíferos de tipo kárstico	Perdedor	El río, que discurre sobre una formación geológica permeable karstificada, que se sitúa a mayor cota topográfica que la superficie piezométrica del acuífero, presenta en su cauce, multitud de grietas, fracturas y oquedades a través de las que se produce una recarga de agua al acuífero de tipo ducha, sin que se identifique a lo largo del tramo un lugar concreto donde se produzca una pérdida predominante.	
		Variable	El río, que presenta una fisiografía como la descrita en el apartado anterior, presenta un régimen variable de ganancia o pérdida a lo largo de un tramo más o menos grande. Cuando se comporta como efluente, la conexión hidráulica es de tipo directo, aunque la descarga de agua no se produce de forma totalmente continua; cuando se comporta como influente, la conexión hidráulica es de tipo indirecto, ya que la superficie piezométrica del acuífero se descuelgan físicamente del río y se sitúa por debajo de la cota del lecho del mismo.	
	Indirecta con flujo profundo	Ganador	El flujo subterráneo responde a un esquema de circulación profunda a través formaciones geológicas de comportamiento acuitado, que descargan directamente a los cauces naturales, o a un acuífero (aluviales o terrazas fluviales), situado a techo de la formación de baja permeabilidad, que está en conexión directa con el cauce del río.	
	Indiferenciada	Perdedor	La relación río-acuífero es de tipo difuso, pero se desconoce si es directa o indirecta.	
		Variable	Se trata de un río de régimen variable que, cuando se comporta como perdedor, se desconoce si existe conexión difusa directa o indirecta.	
Puntual	Punto único	Directa	Ganador	El cauce es receptor de una descarga subterránea a favor de un único manantial, independientemente de que éste drene directamente al cauce principal o a un tributario del mismo.
		Indirecta	Perdedor	El acuífero es receptor de una recarga a favor de un único sumidero, bien localizado directamente en el cauce principal o bien en un tributario del mismo.
	Agrupada	Directa	Ganador	El cauce es receptor de una descarga de agua subterránea a favor de un grupo de manantiales, independientemente de que éstos drenen directamente al cauce principal o a uno o varios de sus tributarios.
		Indirecta	Perdedor	El acuífero es receptor de una recarga a favor de varios sumideros, bien localizados directamente en el cauce principal o bien en tributarios del mismo.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	CONTINUIDAD O DISCONTINUIDAD DE LA CONEXIÓN HIDRÁULICA	SENTIDO (PÉRDIDAS-GANANCIAS)	DESCRIPCIÓN
Mixta	Directa	Ganador	En un mismo tramo de un río es posible identificar simultáneamente una ganancia o pérdida de agua, tanto de tipo difuso como puntual, con un resultado global de ganancia.
		Perdedor	En un mismo tramo de un río es posible identificar simultáneamente una ganancia o pérdida de agua, tanto de tipo difuso como puntual, con un resultado global de pérdida.
		Variable	En un mismo tramo de un río es posible identificar simultáneamente una ganancia o pérdida de agua, tanto de tipo difuso como puntual, con un resultado global de alternante para un determinado periodo de tiempo.
	Indirecta	Ganador	En un mismo tramo de un cauce se establece al tiempo una conexión difusa indirecta con una formación geológica permeable y, además, se recibe agua de la misma o de otra mediante la descarga de un manantial o grupo de manantiales

Tabla 1. Tipologías de interrelación entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden.

Por lo que respecta al régimen hidrológico se han distinguido los siguientes:

- Natural: El tramo de río analizado presenta un régimen hidrológico sin antropizar por el hombre o escasamente alterado.
- Natural modificado. El tramo de río analizado presenta un régimen hidrológico alterado con respecto al natural, pero las acciones realizadas hasta el momento no han modificado la tipología de la relación río-acuífero en régimen natural, aunque sí han ocasionado una variación en el volumen de agua intercambiado entre el río y el acuífero.
- Influenciado. El tramo de río analizado presenta un régimen hidrológico muy diferente al natural, que ha dado lugar a una modificación de la tipología de la relación río-acuífero y de la cuantía del volumen de agua intercambiado. También se han considerado tramos influenciados, aunque no se haya modificado la tipología de la relación río-acuífero, aquellos tramos sobre los que existe una fuerte presión o impacto, como es el caso de los situados aguas abajo de los embalses en los ríos que son perdedores, o aquellos otros que se encuentran conectados con acuíferos fuertemente explotados.

En cada tramo analizado se han indicado las condiciones hidrológicas (naturales o influenciadas) bajo las que se ha definido la tipología de la relación río-acuífero. En los casos en los que el régimen es influenciado y, siempre que ha sido posible, se ha indicado el tipo de conexión río-acuífero para el régimen natural.

Identificación y caracterización de las descargas que tienen lugar a través de manantiales

La información de partida, que se ha utilizado para la identificación y caracterización de las descargas que tienen lugar a través de manantiales, proviene de la base de datos AGUAS del IGME, que contiene información de 23 228 manantiales en el ámbito del estudio realizado. De éstos, poseen datos de caudal 19.061, que en su mayoría corresponde a un dato aislado tomado en el instante en el que se inventarió el manantial, y en menor medida a controles hidrométricos puntuales, que se realizaban con periodicidad mensual, bimensual, trimestral o semestral, y en un porcentaje muy pequeño a registros continuos de cadencia diaria u horaria.

El proceso de identificación, caracterización y clasificación de manantiales se ha realizado de acuerdo a las siguientes premisas:

- Se ha considerado que a priori todo manantial situado dentro de la poligonal, que delimita a la unidad en estudio, pertenece a dicha unidad, salvo las excepciones que constituyen los manantiales que, situado en el interior de la poligonal, se tiene constancia que reciben agua de una unidad contigua o próxima.
- Se han definido como manantiales principales los manantiales que poseen elevados caudales históricos de referencia. Dentro de esta categorización también se han incluido agrupaciones de manantiales que, aunque a escala individual tienen un reducido caudal, en el conjunto de la unidad en estudio dan lugar a una

descarga de agua importante. Este es el caso de los páramos calcáreos, que se drenan a través de múltiples manantiales situados en sus bordes.

- Se han considerado como manantiales principales, aquellos manantiales cuyo caudal de drenaje tiene un peso importante sobre el total de los recursos de una determinada masa de agua subterránea, aunque en valor absoluto su caudal sea pequeño. Esto ha conllevado a que un manantial de 100 o 200 L/s en masas de agua subterránea del Pirineo no se haya considerado, en algunos casos, como principal, pues su aportación porcentual sobre el total de la escorrentía subterránea que se genera en la masa de agua subterránea puede ser pequeña. Sin embargo, si se ha podido considerar como principal un manantial de 10 o 20 L/s en algunas masas de agua subterránea localizadas sobre zonas áridas o semiáridas, si el montante de dicha descarga representa un volumen de agua significativo sobre los recursos totales de la masa de agua subterránea.
- La calificación de manantial principal también se ha aplicado a aquellas descargas subterráneas que constituyen las salidas principales de acuíferos catalogados de orden menor, bien por sus escasos recursos o bien por sus malas características hidrodinámicas para la captación de agua subterránea.
- A todo manantial catalogado como principal se le ha asociado un tramo de río, una formación geológica permeable, una tipología de relación río-acuífero y un caudal. El estudio que se ha realizado de los mismos ha incluido, siempre que ha sido posible, una importante descripción y caracterización hidrogeológica de su funcionamiento, incorporando, cuando ha sido viable, cortes hidrogeológicos publicados en otros trabajos o realizados específicamente para este proyecto.
- Los manantiales que no se han considerado como principales se han incluido dentro de un apartado que se ha denominado “resto de manantiales”. Dada la falta de información que se tiene sobre estos manantiales y su importante número, solo se ha realizado un estudio muy somero de los mismos, que se ha limitado a una breve reseña de su caudal, a su localización sobre el mapa litoestratigráfico del IGME, y a la relación que tienen con las distintas formaciones permeables presentes en cada una de las unidades que se han estudiado.

Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre agua subterránea y zonas húmedas

Las zonas húmedas que se han incluido en el estudio provienen de tres fuentes de información:

- Cobertura de humedales del MARM (2008). Esta cobertura procede de la “Base documental de humedales españoles” elaborada por la Dirección General de Biodiversidad (2006) que, a su vez, tiene como antecedente el “Estudio de zonas húmedas de la España peninsular: Inventario y tipificación” de la Dirección General de Obras Hidráulicas (1990).
- Cobertura de masas de agua superficial tipo “lago” y “aguas de transición” del MMA (2007) que contiene las masas de agua superficial tipo “lago” y “aguas de transición” definidas conforme a la Directiva Marco del Agua.
- Relación de zonas húmedas del Libro Blanco del Agua Subterránea (MOPTMA-MINER, 1994), que incluye las zonas húmedas peninsulares conectadas con unidades hidrogeológicas, que presentan una superficie máxima igual o superior a las 10 hectáreas. En general, estas zonas húmedas se encuentran incluidas en las coberturas anteriores.

El estudio de la interrelación que se presenta entre agua subterránea y zonas húmedas se ha desarrollado en tres fases:

- Identificación de los humedales relacionados con cada unidad de estudio.
- Caracterización de la relación humedal-acuífero.
- Cuantificación de la relación

A continuación se describen detalladamente los procedimientos seguidos en cada una de las tres fases:

Identificación de los humedales relacionados con cada unidad de estudio

Durante esta fase se ha procedido a localizar los humedales situados dentro de los límites de la poligonal envolvente de cada unidad en estudio con el objeto de determinar cuáles se encuentran relacionados con formaciones geológicas permeables. En principio se ha considerado que un humedal está relacionado con una determinada formación geológica permeable, tanto si se encuentra situado directamente sobre la misma, como si recibe agua de alguna otra cercana a pesar de no encontrarse en contacto directo con ella.

Caracterización de la relación humedal-acuífero

Se ha realizado de acuerdo a los siguientes criterios:

Alimentación

Se han establecido los siguientes tipos:

- *Humedales epigénicos*: Sus aportes proceden estrictamente de la escorrentía superficial y/o directamente de la precipitación directa.
- *Humedales hipodérmicos*: Reciben aportes procedentes de flujos subsuperficiales o ligados a sistemas hidrogeológicos muy someros de carácter fundamentalmente detrítico, como coluviones, glaciares, etc.
- *Humedales hipogénicos*: La alimentación es fundamental de origen subterráneo.
- *Humedales mareales*: Su régimen de aportación se encuentra asociado al flujo de las mareas.
- *Humedales costeros*: En su alimentación intervienen aportaciones de índole superficial y/o subterránea, además de los procesos de alimentación ligados a la oscilación de las mareas.
- *Humedales mixtos*: La alimentación procede tanto de la escorrentía superficial, como de la subterránea, sin que predomine ninguna de ellas.

Drenaje

Se han establecido los siguientes tipos:

- *Humedales abiertos o exorréicos*: Su drenaje tiene lugar de forma natural a través de la red de drenaje superficial o directamente al mar.
- *Humedales con drenaje cerrado*: El agua se libera por evaporación en lámina libre.
- *Humedales con descarga profunda*: El agua se libera por procesos de infiltración hacia el acuífero subyacente (flujos verticales).
- *Humedales con drenaje inducido*: El agua se libera de forma controlada a través de bombeos u otros sistemas de descarga superficial o subterránea inducida.
- *Humedales con drenaje mixto*: Confluyen varios de los anteriores mecanismos.
- *Humedales con drenaje abierto o exorréico antrópico*: Se drenan directamente a través de infraestructuras creadas por el hombre.

Hidroperiodo

Atendiendo a la duración y frecuencia de la inundación o saturación del suelo se han establecido los siguientes tipos:

- *Permanente no fluctuante*: humedales que mantienen una lámina de agua permanente cuyo espesor es variable con el tiempo en función de los sistemas hidrológicos que tienen relación con el humedal.
- *Permanente fluctuante*: humedales cuya lámina de agua no es permanente, pero que al desaparecer ésta se mantienen como un criptohumedal (humedal alimentado por un nivel freático cercano a la superficie pero no aflorante).
- *Temporales estacionales*: humedales, que bien pueden tener lámina de agua o ser un criptohumedal, que mantienen su condición de zona húmeda sólo en determinados periodos del año. Se suelen secar y desaparecer en la época de estiaje.
- *Temporales esporádicos o erráticos*: humedales epigénicos ligados a zonas áridas o semiáridas que se presentan asociados a un sistema hidrológico marcadamente estacional.

Atendiendo a las anteriores características se han establecido 8 tipologías (modelos conceptuales) de relación humedal-acuífero, que se muestran en la tabla 2. A su vez, dichas tipologías se han subdividido y se recogen en la tabla 3.

Cuantificación de la relación humedad-río

En general no se han podido cuantificar la relación humedal-acuífero, salvo en contadas ocasiones, debido a una importante falta de datos, tanto en lo que respecta a la hidrometría y foronomía de entrada y salida de agua al humedal, como a la piezometría próxima al mismo y a otra serie de datos de tipo climatológico, batimétrico y topográfico.

Interrelación entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a ecosistemas naturales de especial interés hídrico.

Esta actividad tiene como finalidad obtener una caracterización hidrogeológica básica que permita identificar, en la medida de lo posible, las principales entradas y salidas de aguas subterráneas, tanto de tipo puntual como difuso, que existen en estos espacios naturales de especial interés hídrico, así como cuantificar el volumen y la cadencia temporal con la que se producen.

En este sentido cabe recordar, que la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas), y su posterior

MODELO CONCEPTUAL	DESCRIPCIÓN
Humedal hipogénico	Son humedales que se encuentran directamente relacionados con formaciones geológicas permeables. Un humedal es hipogénico ganador, cuando recibe agua de una formación geológica permeable; perdedor si drena el agua que contiene hacia un acuífero, y, por tanto, lo recarga; variable, si se modifica su condición de ganador o perdedor en función de la época del año o de tipologías climáticas de carácter hiperanual (diferente secuencia de años secos, medios y húmedos); e indiferenciado cuando se desconoce el sentido en que fluye el agua subterránea entre la zona húmeda y la formación geológica permeable. Los humedales hipogénicos ganadores puede recibir de forma directa o diferida agua de una formación geológica permeable, o bien alimentarse a través de flujos subterráneos profundos procedentes de formaciones que se comportan como acuitados.
Humedal con alimentación subterránea externa (flujo horizontal)	Se trata de humedales que se alimentan desde un acuífero a favor de una descarga que puede ser difusa (río ganador), puntual (manantial/es) o de ambos tipos al mismo tiempo, que se sitúa fuera del ecotopo.
Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	Se trata de humedales que reciben su alimentación desde un acuífero como consecuencia de la confluencia de varios procesos (flujo vertical y horizontal) que tienen lugar dentro o fuera del ecotopo.
Origen antrópico	Se trata de humedales creados por el hombre tales como graveras, antiguas minas, etc. Pueden estar conectados o no con una formación geológica permeable o con un curso de agua superficial.
Sin criterio hidrogeológico	Debido a falta de información no es posible clasificar una zona húmeda en ninguno de los modelos anteriores.
Sin relación con la formación geológica permeable	Se trata de humedales que no tienen ninguna relación con formaciones geológicas de entidad. Generalmente son zonas húmedas alimentadas únicamente a partir de aguas superficiales y drenadas en fase de vapor o hacia cursos de agua superficial, o alimentadas y/o drenadas a partir de materiales de escasa permeabilidad que no tienen importancia como acuíferos. Como ejemplo se pueden citar los humedales ligados a las formaciones triásicas del Keuper o a los materiales impermeables o semipermeables del Mioceno.
Humedal costero	Se trata de humedales que reciben aportaciones superficiales, subterráneas o ambas ligadas al efecto de las mareas.
Humedal hipodérmico	Su alimentación tiene lugar a partir de un flujo subsuperficial.

Tabla 2. Tipologías (modelos conceptuales) de relación humedal-acuífero.

MODELO CONCEPTUAL	DESCRIPCIÓN	
Humedal hipogénico ganador (Tipo A)	Flujo vertical estricto positivo	El humedal recibe una aportación procedente de la descarga del acuífero subyacente
	Flujo vertical profundo positivo	El humedal recibe una cierta alimentación desde un acuífero profundo a favor del un flujo vertical que está condiciona por la presencia de una formación de comportamiento acuitado existente entre el fondo del humedal y el acuífero profundo subyacente
Humedal hipogénico perdedor (Tipo B)	Flujo vertical estricto negativo indiferenciado	El humedal se drena recargando el acuífero subyacente, pero se desconoce la relación hidráulica que se establece entre la lámina de agua en el humedal y la superficie piezométrica
	Flujo vertical estricto negativo con conexión directa	El humedal se drena recargando el acuífero subyacente y existe una conexión hidráulica directa entre la lámina de agua en el humedal y la superficie piezométrica
	Flujo vertical estricto negativo con conexión indirecta	El humedal se drena recargando el acuífero subyacente y existe una conexión hidráulica indirecta entre la lámina de agua en el humedal y la superficie piezométrica ("efecto ducha" o recarga a favor de sumideros)
	Flujo vertical estricto negativo con conexión fluctuante	El humedal se drena recargando el acuífero subyacente y existen datos que permiten determinar que la relación hidráulica, entre la lámina de agua en el humedal y la superficie piezométrica, oscila (anual o hiperanualmente) entre una relación directa e indirecta
Humedal hipogénico fluctuante (Tipo C)	Flujo vertical estricto fluctuante	El humedal oscila (anual o hiperanualmente) entre una situación en la que es alimentado por el acuífero subyacente o se drena recargando al acuífero subyacente

MODELO CONCEPTUAL		DESCRIPCIÓN
Humedal Hipogénico indiferenciado (Tipo D)	Flujo vertical estricto indiferenciado	Existe un flujo vertical entre el humedal y el acuífero subyacente pero se desconoce si es positivo o negativo
Humedal con alimentación subterránea externa (flujo horizontal) (Tipo E)	Flujo horizontal positivo con descarga directa externa puntual	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga puntual (manantial o grupo de manantiales) situada fuera del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa externa difusa	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga difusa (río ganador) situada fuera del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa externa mixta	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga de tipo mixta (puntual —manantial o grupo de manantiales— y difusa -río ganador-) situada fuera del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa interna puntual	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga puntual (manantial o grupo de manantiales) situada dentro del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa interna difusa	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga difusa (río ganador) situada dentro del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa interna mixta	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga de tipo mixta (puntual —manantial o grupo de manantiales— + difusa -río ganador-) situada dentro del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa puntual	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga puntual (manantial o grupo de manantiales) pero se desconoce si esta se produce fuera o dentro de los límites del ecotopo
	Flujo horizontal positivo con descarga directa difusa	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero a favor de una descarga difusa (río ganador) pero se desconoce si esta se produce fuera o dentro de los límites del ecotopo
Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa) (Tipo F)	Flujo mixto positivo interno	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero como consecuencia de la confluencia de varios procesos (flujo vertical y flujo horizontal) que se desarrollan dentro del ecotopo
	Flujo mixto positivo externo	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero como consecuencia de la confluencia de varios procesos (flujo vertical y flujo horizontal), desarrollándose los procesos asociados al flujo horizontal fuera del ecotopo
	Flujo mixto positivo indiferenciado	El humedal recibe la alimentación desde el acuífero como consecuencia de la confluencia de varios procesos (flujo vertical y flujo horizontal), pero se desconoce si las descargas directas se producen dentro o fuera del ecotopo
Origen Antrópico (Tipo G)	Origen Antrópico	Humedales de origen antrópico tales como graveras, etc...
Sin criterio hidrogeológico (Tipo H)	Sin criterio hidrogeológico	Sin criterio hidrogeológico para clasificar el modelo conceptual que regula la relación humedal-acuífero
Sin relación con la FGP (Tipo I)	Sin relación con la FGP	Humedales que no tienen una relación directa con la FGP, Ej: antiguo 420 (Flujo vertical peculiar). En los casos en que se sitúe sobre sustratos salinos, etc habrá que citarlo en el texto
Humedales costeros (Tipo J)	Humedales costeros	Humedales situados en zonas costeras, en los que existe alimentación subterránea y alimentación asociada a la oscilación de las mareas.
Humedales hipodérmicos (Tipo K)	Humedales hipodérmicos	Reciben la aportación del flujo subsuperficial.

Tabla 3 Tipologías (modelos conceptuales) de relación humedal-acuífero (ampliada). Cuantificación de la relación humedal-acuífero.

incorporación al Texto Refundido de la Ley de Aguas española, incluyen entre sus prioridades la protección tanto de los ecosistemas acuáticos como de los ecosistemas terrestres y los humedales, que dependen directamente de ellos, así como la necesidad de evaluar las repercusiones que el estado cuantitativo de las masas de agua subterránea puede tener en la calidad ecológica de las aguas superficiales y de los ecosistemas terrestres asociados.

Para el desarrollo de este objetivo específico se han seleccionado los ecosistemas que forman parte de la Red Natura 2000, ya que se trata de lugares designados para dar cumplimiento a las obligaciones de dos Directivas relacionadas con la conservación de la naturaleza y la biodiversidad en la Unión Europea:

- Directiva 79/409/CEE del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres (“Directiva de Aves”).
- Directiva 92/43/CEE, del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (“Directiva de Hábitats”).

Ambas Directivas han sido objeto de transposición al ordenamiento jurídico español mediante diversas disposiciones aprobadas desde el año 1995, entre las que cabe destacar la reciente actualización y ampliación normativa aplicable en virtud de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

La Red Natura 2000 constituye el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea, con la finalidad de asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los hábitats más amenazados, y detener la pérdida de biodiversidad natural en los Estados miembros.

En su fase final la Red Natura 2000 estará formada por “Zonas Especiales de Conservación” (ZEC), designadas a partir de las propuestas de los Estados miembros como “Lugares de Importancia Comunitaria” (LIC) previstas en la “Directiva de Hábitats”, así como por las “Zonas de Especial Protección para las Aves” (ZEPA), declaradas en virtud de la “Directiva de Aves”. Esta red también incluirá los corredores ecológicos que permitan garantizar la conectividad funcional entre los espacios naturales de singular relevancia para la flora o la fauna silvestres.

En este sentido, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) ha recopilado las propuestas re-

mitidas por las Comunidades autónomas, y en junio de 2009 ha publicado la relación actualizada de los lugares LIC y ZEPA, junto con sus respectivas coberturas digitales para su representación en el entorno de los sistemas de información geográfica. Estas coberturas se encuentran disponibles en la página web del MARM: www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/rednatura2000.

Para el estudio de la interrelación, que se presenta entre aguas subterráneas y ecosistemas naturales de especial interés hídrico, solo se han considerado aquellos LIC y ZEPA donde se han identificado, al menos, uno de los siguientes procesos:

- Tramos de ríos que, según la metodología expuesta en el punto “A” del presente apartado, son susceptibles de dar lugar a un intercambio de agua entre un acuífero y un río en uno u otro sentido.
- Presencia de manantiales principales de acuerdo a la metodología definida en el punto “B” del presente apartado.
- Intercambio de agua, bien en el sentido de ganancia o pérdida, entre una zona húmeda y un acuífero, según la metodología expuesta en el punto “C” del presente apartado.

Los resultados que se han obtenido para cada LIC o ZEPA se han recogido en una ficha-resumen y en un mapa sinóptico de cada ecosistema de especial interés hídrico, con los contenidos que se describen a continuación.

Características generales de los ecosistemas

En este apartado se recogen los datos de identificación del ecosistema: Figura de protección (LIC o ZEPA), código y nombre oficial, comunidad autónoma, superficie (expresada en kilómetros cuadrados) y perímetro (en kilómetros). También se indica la vinculación, si ésta existe, entre ambas figuras de protección (LIC y ZEPA), que pueden coincidir total o parcialmente en su extensión.

Contexto hidrogeológico

En este apartado se recogen los principales rasgos que caracterizan la hidrología e hidrogeología del ecosistema a través de los siguientes subapartados:

Litoestratigrafía y permeabilidad. Identifica y describe las formaciones geológicas permeables vinculadas hidrogeológicamente con el ecosistema, indicando su denominación, edad y permeabilidad.

Funcionamiento hidrogeológico. Presenta una breve descripción del funcionamiento hidrogeológico del ecosistema: características de flujo subterráneo regional y local, mecanismos principales de recarga y descarga de aguas subterráneas, y su relación con la red hidrográfica significativa, que afecta a cada ecosistema.

Masas de agua subterránea relacionadas geográficamente con el ecosistema. Se describen las características de las masas de agua subterránea que se encuentran en el ámbito del ecosistema: código, nombre, superficie total de la masa, superficie de la masa en el ecosistema, porcentaje de la superficie del ecosistema que se corresponde con la masa y demarcación hidrográfica a la que pertenece la masa.

Identificación y caracterización de la relación río-acuífero. Contempla los siguientes subapartados:

— *Modelo conceptual.* Se presenta una tabla en la que se relacionan los tramos de cauce fluvial con conexión río-acuífero. Cada tramo se identifica mediante un código compuesto por el indicativo de la demarcación hidrográfica, más el código de la masa de agua subterránea en la que tiene lugar la conexión y el número de tramo asignado dentro de esa masa de agua subterránea. En la tabla también se indica el nombre del cauce correspondiente, y si está comprendido total o parcialmente en el ecosistema; así como las características de la masa de agua superficial relacionada (codificación del CEDEX); la tipología del modelo conceptual asignado a la relación río-acuífero, y las formaciones geológicas permeables en las que se verifica la relación.

— *Cuantificación de la interrelación entre tramos de río y formaciones geológicas permeables.* Para cada tramo de conexión río-acuífero se indica su código, si la descarga es puntual o difusa, y los datos que se han utilizado en el cálculo de la cuantificación, así como el régimen hidrológico sobre el que se han realizado los cálculos.

— *Manantiales.* La información de los manantiales que han sido documentados en el ámbito del ecosistema se ha estructurado de acuerdo al siguiente esquema:

- *Manantiales inventariados en el ecosistema.* Se indica el número total de manantiales inventariados en el ecosistema, especificando los puntos en que se conoce su localización y caudal (manantiales principales y otros) y los puntos en que únicamente se conocen sus coordenadas.
- *Manantiales principales con descarga directa a*

tramos de río que atraviesan o nacen en el ecosistema. Se detalla la relación de manantiales principales que descargan directamente hacia los tramos de río vinculados con el ecosistema, así como su localización con respecto a los límites del ecosistema, el cauce receptor de la descarga y su correspondencia con el tramo en que se ha caracterizado la conexión río-acuífero, el número de datos, la amplitud de la serie, y el caudal de referencia de cada punto.

- *Manantiales principales con descarga directa a zonas húmedas en el ecosistema.* Se describe la relación de manantiales principales que descargan directamente hacia zonas húmedas vinculadas con el ecosistema, así como su localización con respecto a los límites del ecosistema, la identificación de la zona húmeda receptora, el número de datos, la amplitud de la serie, y el caudal de referencia de cada punto.

Zonas húmedas. De acuerdo a las tres fuentes de información, que se han descrito en el punto C del apartado de metodología, se indica si cada una de las zonas húmedas que se han analizado están incluidas total o parcialmente en el ecosistema de la Red Natura 2000. También se han caracterizado la tipología que presenta el modelo conceptual de la relación 'zona húmeda-acuífero', incluyendo su clasificación y descripción.

Observaciones. En este apartado se ha incluido información complementaria que se ha considerado de interés para la caracterización hidrogeológica del ecosistema como, por ejemplo, los valores ambientales del lugar que están vinculados al medio hídrico, y su grado de vulnerabilidad en situaciones de sequía. También se ha indicado, en su caso, la existencia de otras figuras de protección de ámbito internacional, nacional o autonómico, declaradas en el ecosistema en estudio.

Mapa sinóptico de la relación río-acuífero, manantiales y zonas húmedas. El mapa sinóptico (figura 1) que acompaña a la ficha-resumen de cada ecosistema de especial interés hídrico de la Red Natura 2000 se ha generado en el entorno de los sistemas de información geográfica, integrando las coberturas y leyendas elaboradas durante la realización de las subactividades 2, 3 y 4 de la Actividad 4 de la Encomienda de Gestión para el ámbito de cada masa de agua subterránea, junto con las coberturas de LIC y ZEPA actualizadas en junio de 2009 por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

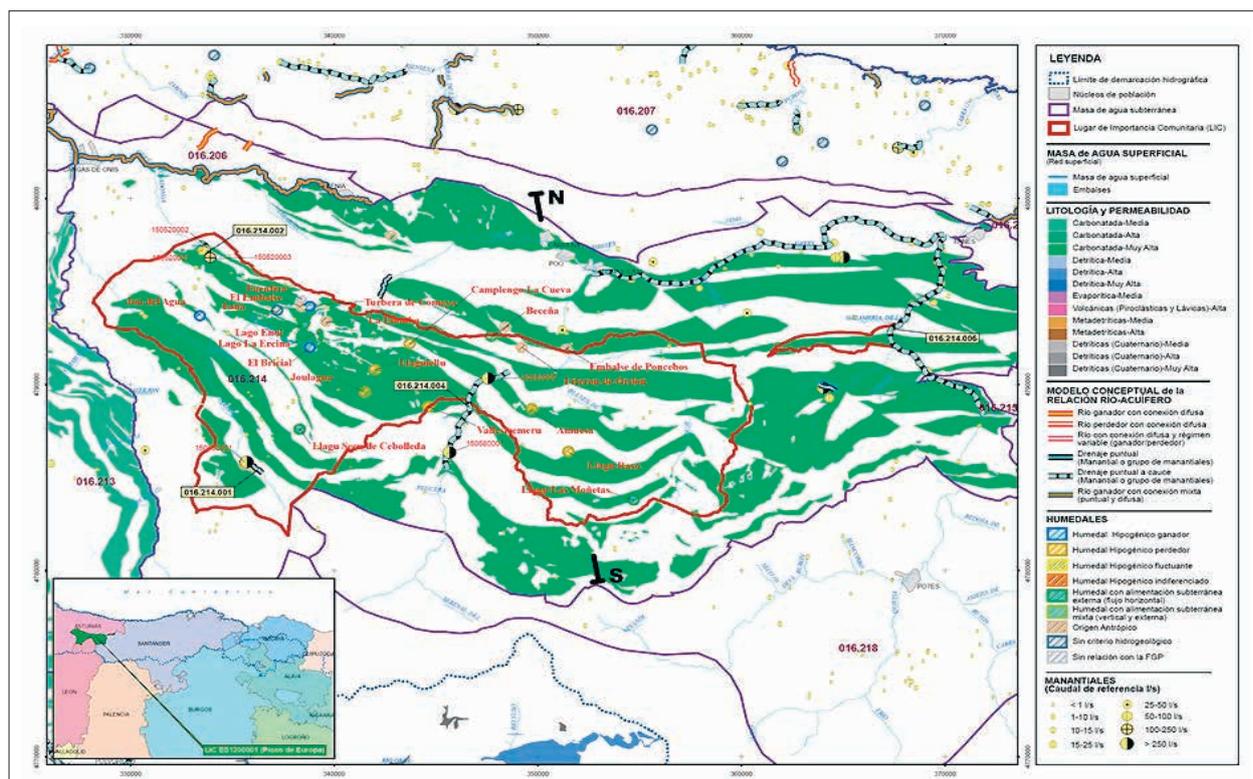


Figura 1. Ejemplo del mapa sinóptico de la relación río-acuífero, manantiales y zonas húmedas en un ecosistema natural de especial interés hídrico de la Red Natura 2000.

RESULTADOS OBTENIDOS

Estos se han estructurado de acuerdo a los siguientes subapartados:

- A. Interrelación que existe entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden.
- B. Identificación y caracterización de las descargas que tienen lugar a través de manantiales.
- C. Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre agua subterránea y zonas húmedas.
- D. Interrelación entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a ecosistemas naturales de especial interés hídrico.

Interrelación que existe entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden.

En la tabla 4 se muestra, para cada Demarcación intercomunitaria a la fecha de la firma del Acuerdo suscrito por el Ministerio de Medio Ambiente (Dirección General del Agua) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) del Ministerio de Educación y Ciencia para la realización del presente trabajo, el número de tramos que se han identificado para cada tipología de modelo

conceptual de relación río-acuífero, que se han definido en el apartado de metodología, en la tabla 5 la longitud total de los tramos definidos para cada tipología de modelo conceptual de relación río-acuífero, y en la tabla 6 el número de tramos y la longitud de los mismos atendiendo al sentido de la relación hídrica (ganador, perdedor o variable). En la figura 2 se muestra el mapa de caracterización de la relación río-acuífero identificando los tramos que son ganadores, perdedores o bien tienen una relación de tipo variable, y en la figura 3 el mapa sinóptico de relación río-acuífero atendiendo a su modelo conceptual. A modo de síntesis se realiza para cada demarcación intercomunitaria una breve descripción de su relación río-acuífero.

Demarcación Hidrográfica del Cantábrico. Se han identificado y caracterizado 235 tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero. Estos tramos se distribuyen sobre 30 de las 36 masas de agua subterránea, que se han definido en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico. Los tramos con tipología perdedora se circunscriben en un elevado porcentaje a ríos que atraviesan acuíferos carbonatados con un gran desarrollo kárstico, donde la infiltración se produce a través de sumideros, resurgiendo el agua nuevamente un poco más abajo del lugar donde se produjo la pérdida. Los tramos

MODELO CONCEPTUAL DE RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO		NÚMERO DE TRAMOS DEFINIDOS									
		Demarcación									
		Cantábrico	Duero	Ebro	Guadalquivir	Guadiana	Júcar	Segura	Miño-Sil	Tajo	TOTAL
Difusa directa (por cauce)	En cauces efluentes	13	39	149	44	8	64	27	13	24	441
	En cauces influentes			13		5				6	
	En cauces variables			21		6				9	
Difusa indirecta (por cauce)	Efecto ducha	0	10	34	26	15	92	15	0	0	414
	Tipo sumidero	11	3	27	0		1	4	0	2	
	Flujo profundo	4	34	3	26		45	10	0	8	
	Indiferenciada	15	5	5	4		3	11	0	1	
Descarga puntual	Un solo manantial	24	17	74	74	6	42	30	0	8	723
	Grupo de manantiales	64	38	78	138		53	71	6		
Conexión mixta (por cauce y manantiales)	Directa y manantiales	97	20	54	57	2	32	14	6	14	364
	Indirecta y manantiales	7	13	15	6		25	2	0	0	
Difusa indiferenciada	Cauces variables	0	0	1	0	0	0	0	0	13	14
TOTAL		235	179	474	375	42	357	184	25	85	1956

Tabla 4. Número de tramos por Demarcaciones intercomunitarias que se han identificado para tipología de modelo conceptual de relación río-acuífero que se han definido en el apartado de metodología.

MODELO CONCEPTUAL DE RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO		LONGITUD DE LOS TRAMOS DEFINIDOS (km)									
		Demarcación									
		Cantábrico	Duero	Ebro	Guadalquivir	Guadiana	Júcar	Segura	Miño-Sil	Tajo	TOTAL
Difusa directa (por cauce)	En cauces efluentes	34	1706	1790	482	129	1089	181	399	617	7414
	En cauces influentes			87		183				123	
	En cauces variables			240		165				189	
Difusa indirecta (por cauce)	Efecto ducha	0	320	186	178	346	816	83	0	0	4402
	Tipo sumidero	22	13	74	0		3	8	0	33	
	Flujo profundo	15	1241	13	321		324	42	0	149	
	Indiferenciada	71	24	26	8		18	63	0	5	
Descarga puntual	Un solo manantial	36	22	79	215	55	106	89	0	45	3382
	Grupo de manantiales	276	706	219	692		260	414	168		
Conexión mixta (por cauce y manantiales)	Directa y manantiales	727	429	325	609	141	366	90	139	242	4081
	Indirecta y manantiales	29	314	66	30		386	4	0	184	
Difusa indiferenciada	Cauces variables			4						231	235
TOTAL		1210	4775	3109	2535	1019	3368	974	706	1818	19514

Tabla 5. Longitud total por Demarcaciones intercomunitarias de los tramos definidos para cada tipología de modelo conceptual de relación río-acuífero.

ganadores no se sitúan sobre ninguna zona en concreto y se reparten a lo largo de toda la cuenca.

Según la relación de pérdida-ganancia que se ha defini-

do en los tramos de los cauces fluviales, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es la de río ganador (207 tramos y 1.107 kilómetros). Se han identificado 23 tramos en

Demarcación	TIPOLOGÍA DEL TRAMO							
	Ganador		Perdedor		Variable		Total	
	Número de tramos	Longitud total (km)	Número de tramos	Longitud total (km)	Número de tramos	Longitud total (km)	Número de tramos	Longitud total (km)
Cantábrico	207	1107	23	96	5	7	235	1210
Duero	147	3524	12	190	20	1061	179	4775
Ebro	371	2493	80	371	23	245	474	3109
Guadalquivir	339	2256	32	211	4	68	375	2535
Guadiana	16	325	20	529	6	165	42	1019
Jucar	252	2487	84	755	21	126	357	3368
Segura	145	717	29	184	10	73	184	974
Miño-Sil	12	307	0	0	13	399	25	706
Tajo	54	1192	7	128	24	498	85	1818
TOTAL	1543	14408	287	2464	126	2642	1956	19514

Tabla 6. Número de tramos y longitud de los mismos, para cada demarcación intercomunitaria, atendiendo al sentido de la relación hídrica (ganador, perdedor o variable).

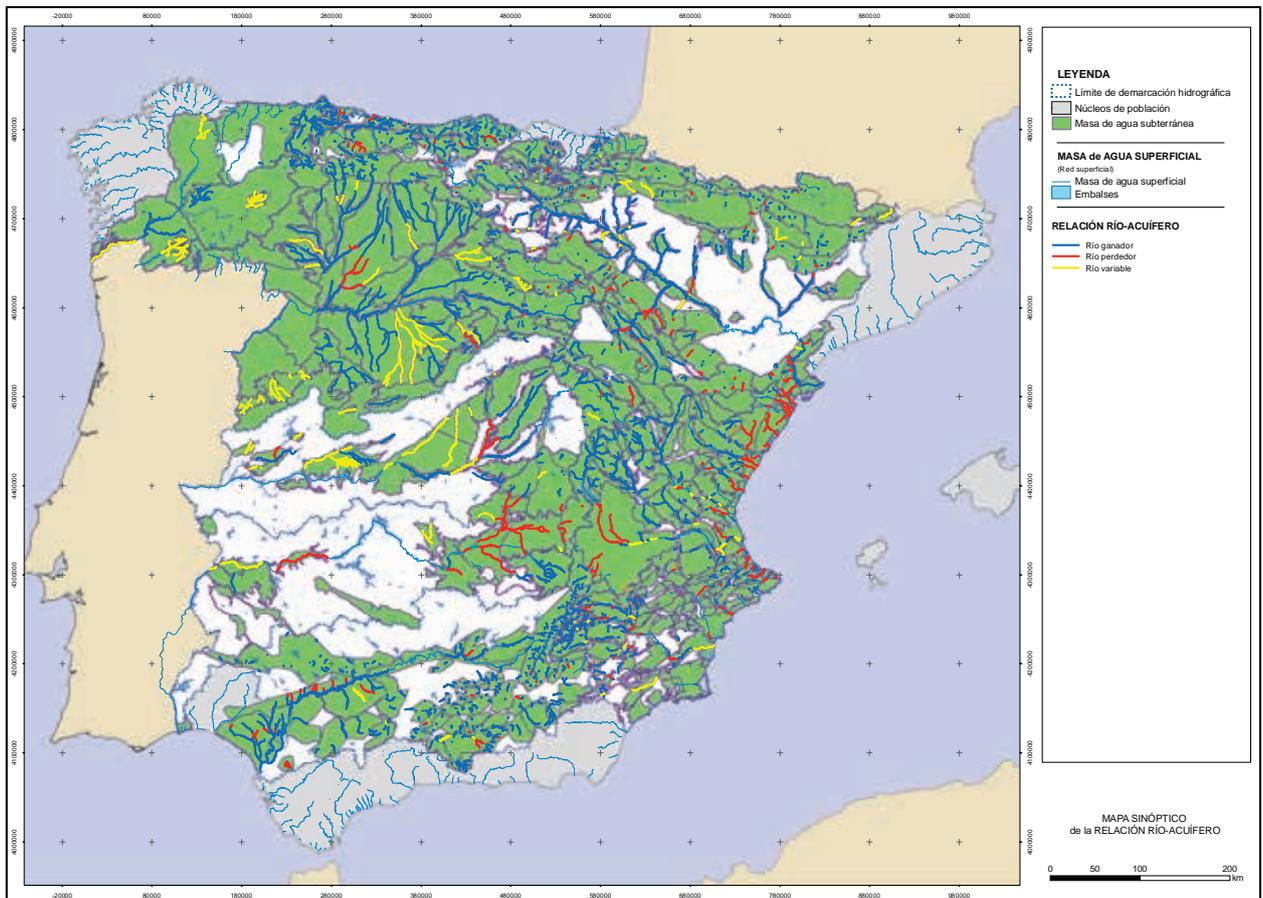


Figura 2. Mapa sinóptico de relación río-acuífero identificando los tramos que son ganadores, perdedores o bien tienen una relación de tipo variable.

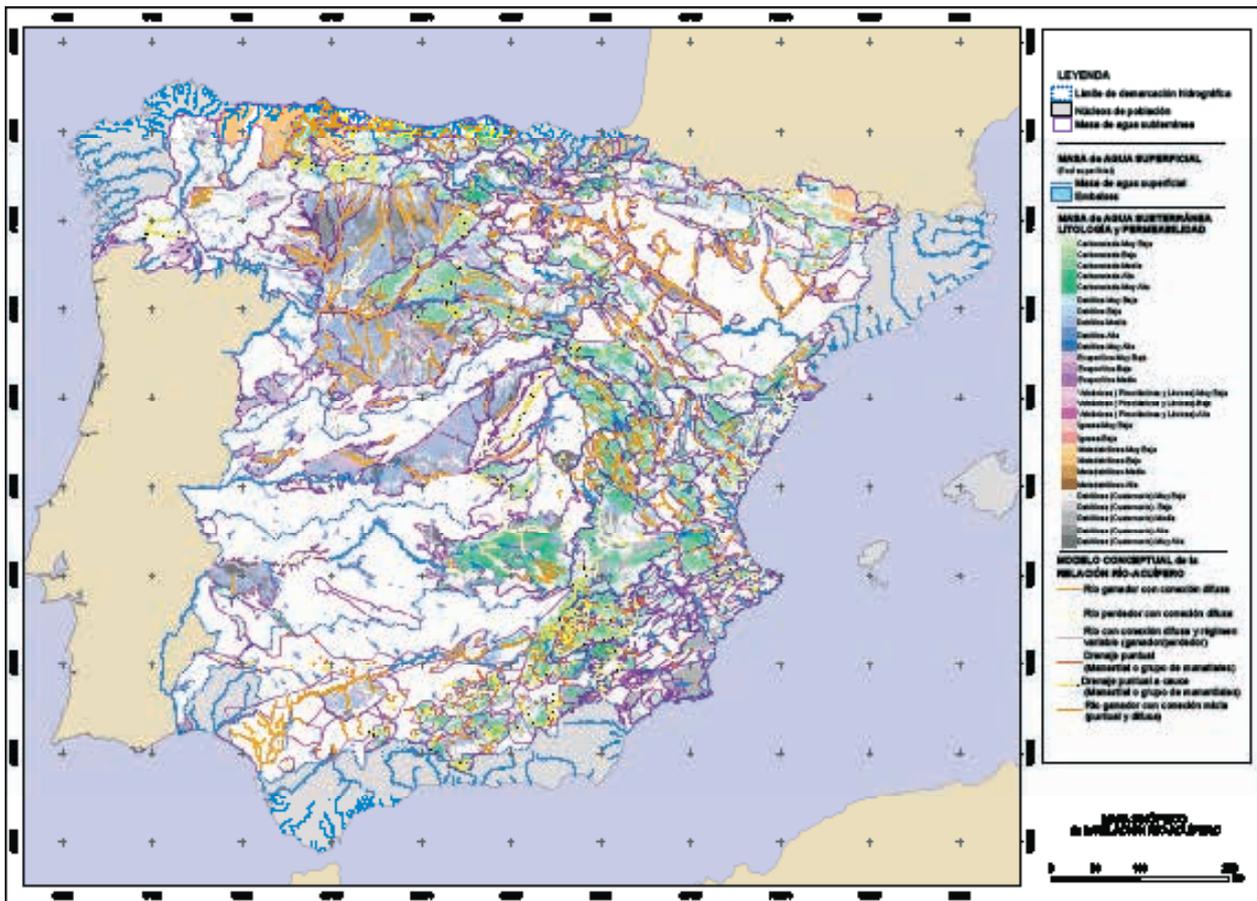


Figura 3. Mapa sinóptico de relación río-acuífero atendiendo al modelo conceptual.

cauces perdedores, y únicamente 5 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento variable, es decir, donde el río funciona alternativamente como ganador o perdedor dependiendo de una estacionalidad anual o hiperanual.

Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio de la conexión clasificada como mixta difusa directa y con manantiales (41 %), en segundo lugar se encuentra la descarga puntual por varios manantiales (27 %) y finalmente la descarga a través de un único manantial (10 %). Estos tres tipos de relación río-acuífero suponen el 78 % de las relaciones río-acuífero que se han identificado.

Demarcación Hidrográfica del Duero. Se han identificado y caracterizado 179 tramos, que en su mayoría se han definido como cauces ganadores con respecto al acuífero. Los tramos que presentan un comportamiento variable se localizan en los ríos Adaja, Eresma y Águeda. El número de tramos con comportamiento perdedor

es muy escaso y se localizan en los cauces de los ríos Valderaduey y San Juan, afluentes del río Duratón.

Según la relación de pérdidas-ganancias en los tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es de río efluente o ganador (147 tramos y 3.524 kilómetros). Se han identificado 20 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento variable, y únicamente 12 tramos donde se ha considerado que los cauces son influentes o perdedores. Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio de la conexión difusa, tanto directa como indirecta, a través del cauce fluvial. Las conexiones difusas (directas e indirectas) representan el 51 % del total de los tramos caracterizados en la Demarcación Hidrográfica del Duero, mientras que las descargas puntuales por un único manantial o grupo de manantiales representan el 31%, y las conexiones mixtas (por cauce y manantiales) el 18 % del total de tramos identificados.

Demarcación Hidrográfica del Ebro. En la Demarcación del Ebro se ha identificado y caracterizado 474 tramos de cauces fluviales. La gran mayoría de los tramos de río que se han definido como ganadores se localiza geográficamente en el sector central de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, coincidiendo con los tramos finales de los principales afluentes del río Ebro y con el propio río Ebro. Los tramos perdedores presentan una mayor dispersión geográfica, aunque suelen tener una mayor presencia en los tramos de cabecera de las cordilleras Ibérica y Pirenaica. Según la relación de pérdidas-ganancias que se ha definido en los tramos de los cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es de río efluente o ganador (371 tramos y 2.493kilómetros). Se han identificado 80 tramos en cauces influentes o perdedores, y únicamente 23 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento variable, es decir, donde el río funciona alternativamente como ganador o perdedor con respecto al acuífero durante un cierto periodo de tiempo. Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio de la conexión difusa, tanto directa como indirecta, a través del cauce fluvial. Las conexiones difusas directas representan el 68 por ciento del total de los tramos caracterizados en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. La interrelación entre cauces fluviales y formaciones geológicas se localiza en 58 masas de agua subterránea y sobre 375 tramos de cauces fluviales. Los tramos perdedores se circunscriben principalmente a los acuíferos detríticos situados al pie de los relieves montañosos impermeables de Sierra Morena o Sierra Nevada. En menor medida se han definido tramos perdedores sobre algunos ríos importantes que atraviesan materiales permeables carbonatados y en otros casos sobre acuíferos aluviales en los que debido a los fuertes bombeos los ríos han pasado a alimentar el acuífero. Los tramos ganadores no se localizan sobre ninguna zona en concreto y se reparten por toda la geografía de la cuenca.

Según la relación de pérdidas-ganancias en los tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es la de río ganador (339 tramos y 2256 kilómetros). Se han identificado 32 tramos en cauces perdedores, y únicamente 4 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento variable.

Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio de la descarga puntual

por varios manantiales (36%) y también a través de un único manantial (20%). Entre ambas suman más del 50 % de los tramos con relación río-acuífero identificado en esta demarcación. En otro 17% de las relaciones río-acuífero que se han identificado también se detecta la presencia de algún manantial o grupo de manantiales, que se distribuyen según los modelos de conexión mixta, difusa directa y manantiales (tanto directa como indirecta). El resto de modelos conceptuales identificados en la Demarcación tienen una menor significación.

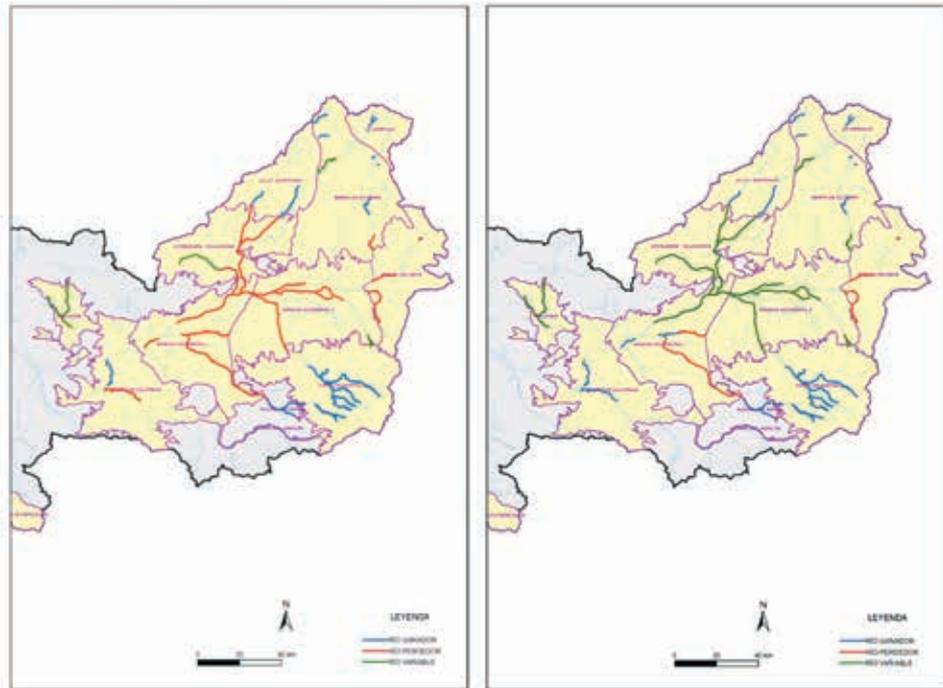
Demarcación Hidrográfica del Guadiana. La interrelación entre cauces fluviales y formaciones geológicas permeables se ha identificado en 15 de las 20 masas de agua subterránea que se han definido en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Con respecto a las 5 masas de agua subterránea restantes, cabe indicar que en dos masas de agua subterránea no se han identificado formaciones geológicas permeables susceptibles de formar acuíferos de interés (Los Pedroches y Cabecera del Gévora), en otras dos se han reconocido formaciones geológicas permeables, pero su permeabilidad es escasa (Zafra-Olivenza y Ayamonte), y en la última (Aluvial de Jabalón,) la formación geológica permeable que la caracteriza no tiene suficiente entidad como para que la relación río-acuífero se pueda considerar de interés. La conexión río-acuífero se ha identificado y caracterizado en 42 tramos de cauces fluviales.

La gran mayoría de los tramos de río definidos como ganadores se localiza geográficamente en las zonas de cabecera de la cuenca alta del Guadiana. Los tramos perdedores se sitúan mayoritariamente en la zona central de la cuenca alta, en la Mancha Occidental y sus zonas periféricas debido a la actual explotación de la zona. Los tramos de río con conexión variable se localizan principalmente en acuíferos aluviales. En esta cuenca se ha podido estudiar la relación río-acuífero en la cuenca alta del Guadiana en régimen natural e influenciado (figura 4).

La principal diferencia entre la relación de los ríos de la Cuenca Alta en estado natural y en la actualidad, radica en que los ríos que atraviesan la zona central de la misma han pasado de ser variables y recargar el acuífero de la Mancha Occidental en épocas de estiaje y descargarlo en épocas de lluvia, a su actual condición de ríos perdedores debido al descenso del nivel freático por efecto directo de la gran explotación de agua realizada en este acuífero.

Según la relación de pérdida-ganancia que actualmente se da en los cauces fluviales de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, la tipología mayoritaria, tan-

Figura 4. Conexión río-acuífero en régimen natural e influenciado (actual) en la Cuenca Alta del Guadiana



to en número de tramos como en longitud total de los mismos, es la de río influente o perdedor (20 tramos y 529 kilómetros). Se han identificado 16 tramos en cauces efluentes o ganadores, y únicamente 6 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento de tipo variable.

Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio tanto de la conexión difusa directa como indirecta a través del cauce fluvial. Las conexiones difusas representan el 34 por ciento del total de los tramos donde se han identificado conexión río-acuífero en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

Demarcación Hidrográfica del Júcar. La interrelación entre cauces fluviales y formaciones geológicas permeables se ha identificado y caracterizado en 357 tramos de cauces fluviales. La gran mayoría de los tramos de río que se han definido como ganadores se localizan geográficamente en el sector septentrional de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, y también en las zonas montañosas del sector central, entre las que destacan el Macizo del Caroch y la Sierra Grossa. Los tramos perdedores se sitúan mayoritariamente en las zonas costeras, en las que la variación piezométrica y la transición hacia las formaciones hidrogeológicas de las planas costeras favorece la infiltración a través de los cauces fluviales. En el régimen influenciado actual también se han caracterizado como perdedores diversos tramos de cauces fluviales en la Mancha Oriental. Los tramos de río con conexión variable se localizan principalmente en el sec-

tor central de la demarcación hidrográfica, coincidiendo fundamentalmente con los cursos medios y bajos de los ríos Júcar y Turia.

Según la relación de pérdidas-ganancias en los tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es de río efluente o ganador (252 tramos y 2.487 kilómetros). Se han identificado 84 tramos en cauces influentes o perdedores, y únicamente 21 tramos con funcionamiento variable.

Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio de la conexión difusa, tanto directa como indirecta, a través del cauce fluvial.

Demarcación Hidrográfica del Segura. Se ha identificado conexión río-acuífero en 33 masas de agua subterránea. La interrelación existente entre cauces fluviales y formaciones geológicas permeables se ha identificado y caracterizado en 184 tramos de cauces fluviales. Los tramos perdedores se localizan tanto en algunos acuíferos detríticos con el nivel piezométrico descolgado con respecto a la lámina de agua en el río, como en ciertas zonas en las que los ríos atraviesan acuíferos carbonatados con un gran desarrollo kárstico que favorece la infiltración. Los tramos ganadores se sitúan en la zona de cabecera de los ríos, que en numerosas ocasiones se encuentran ligados a caudalosos manantiales.

Según la relación de pérdidas-ganancias en los tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es de río ganador (145 tramos y 717 kilómetros). Se han identificado 29 tramos en cauces perdedores, y únicamente 10 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento variable.

Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio de la descarga puntual por varios manantiales 39 %, seguido de la descarga puntual por un único manantial 16 % y de la conexión difusa directa 14 %, ya que entre las tres suman casi el 70 % de los casos.

Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Se ha identificado y caracterizado 25 tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero. Estos tramos se localizan sobre todas las masas de agua subterránea definidas en la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Su distribución es la siguiente: 2 tramos en la MASb Cuenca Alta del Miño, 5 tramos en la MASb Cuenca Baja del Miño, 7 tramos en la MASb Cuenca del Sil, 4 tramos en la MASb Cubeta del Bierzo, 1 tramo en la MASb Aluvial del Bajo Miño y 6 tramos en la MASb Xinzo de Limia. Los tramos definidos como variables, en los que el río funciona alternativamente como ganador o perdedor durante periodos estacionales o hiperanuales, se localiza en terrenos constituidos por depósitos cuaternarios. Los tramos ganadores se sitúan mayoritariamente en la zona de cabecera del río Sil, en el río Cabe y en el curso bajo del río Miño. Todos estos tramos reciben las descargas de manantiales, aunque en algún caso la conexión es de tipo difusa-directa. En casi todos los tramos analizados el régimen se encuentra influenciado, excepto en dos de ellos, que se corresponden con la cabecera del río Miño.

Según la relación de pérdidas-ganancias que se ha definido en los tramos de los cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es la de cauces variables anuales o hiperanuales, con un total de 13 tramos y 399 kilómetros. Se han identificado otros 12 tramos en cauces ganadores con un total de 307 km.

Según los modelos conceptuales de relación río-acuífero definidos para el presente trabajo, únicamente se han identificado tres tipologías: el 52% corresponde a descarga difusa en cauces variables (ganador-perdedor),

mientras que el 48% restante se distribuye a partes iguales entre la descarga puntual a través de varios manantiales 24% y la conexión mixta difusa directa y por manantiales 24%.

Demarcación Hidrográfica del Tajo. Se ha identificado y caracterizado 85 tramos de cauces fluviales que presentan relación río-acuífero. Estos tramos se localizan en 21 de las 24 masas de agua subterránea que se han definido en territorio de la Demarcación Hidrográfica del Tajo. Los tramos de río definidos como ganadores se distribuyen por toda la cuenca, aunque son más numerosos en la cuenca alta y en las zonas montañosas de cuenca media. Los tramos perdedores son escasos y se distribuyen por toda la cuenca no existiendo ninguna zona donde predominen especialmente. Los tramos perdedores de la cuenca media y baja se encuentran en régimen influenciado. Por lo que respecta a los tramos definidos como variables cabe indicar que se localizan en las zonas medias y bajas, preponderando en éstas últimas.

Según la relación de pérdidas-ganancias en los tramos de cauces fluviales con conexión río-acuífero, la tipología mayoritaria, tanto en número de tramos como en longitud total de los mismos, es de río efluente o ganador (54 tramos y 1.192 kilómetros). Se han identificado, únicamente, 7 tramos en cauces influentes o perdedores, y 24 tramos en los que el cauce presenta un funcionamiento variable.

Con respecto al modelo conceptual de relación río-acuífero, se observa un predominio mayoritario de la conexión difusa directa a través del cauce fluvial. Las conexiones difusas representan el 75 por ciento del total de los tramos en los que se ha identificado conexión río-acuífero en la Demarcación Hidrográfica del Tajo.

Identificación y caracterización de las descargas que tienen lugar a través de manantiales

En figura 5 se muestra el mapa sinóptico de manantiales atendiendo a su caudal. A modo de síntesis se realiza para cada Demarcación intercomunitaria una breve descripción sobre la identificación y caracterización que se ha realizado de estas descargas de agua subterránea.

Demarcación Hidrográfica del Cantábrico. Se han identificado un total de 3.210 manantiales a partir del in-

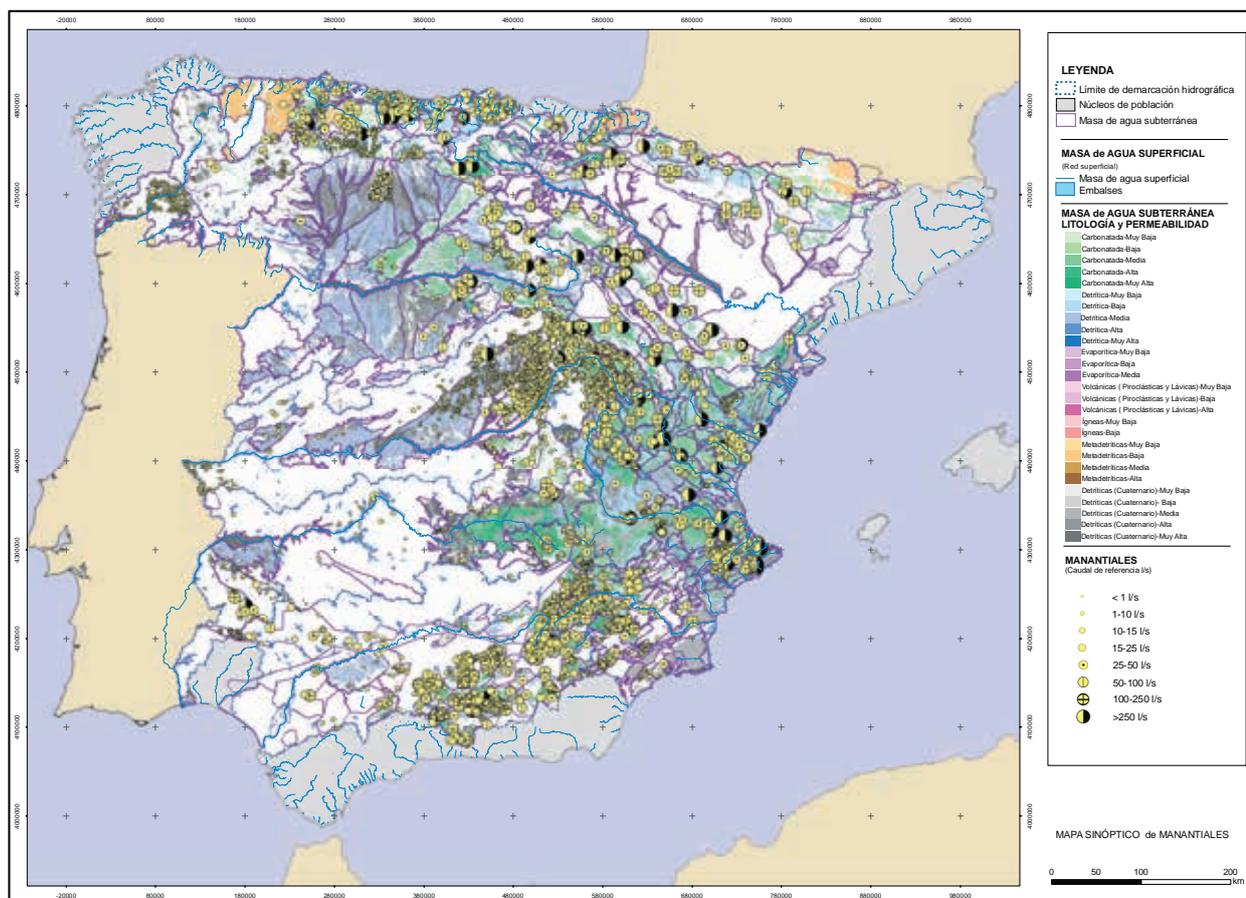


Figura 5. Mapa sinóptico de manantiales atendiendo a su caudal.

ventario del IGME y un total de 93 manantiales a partir del inventario del Ente Vasco de la Energía (EVE). Estas surgencias se distribuyen por todo el ámbito geográfico de la Demarcación hidrográfica del Cantábrico. La mayoría de ellas cuentan con al menos una medida histórica de caudal.

En concreto se ha dispuesto de datos de caudal en 2.874 manantiales inventariados por el IGME, y en 81 por EVE. De este conjunto de surgencias se han seleccionado 333 manantiales (29 corresponden al inventario del EVE) que se han catalogado de principales y representativos de la demarcación.

Demarcación Hidrográfica del Duero. Se han identificado un total de 1.367 manantiales a partir de los datos del inventario de puntos de agua del IGME. Estas surgencias se distribuyen de forma irregular en el ámbito geográfico de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Se dispone de datos de caudal en 1.083 manantiales, si bien, la mayoría de estos puntos solo presentan una o dos mediciones de caudal. Del total de manantiales inventariados se han seleccionado 392

manantiales, que se han catalogado como principales o significativos.

Demarcación Hidrográfica del Ebro. A a partir de los inventarios del IGME y de la Confederación Hidrográfica del Ebro se han identificado un total de 4.824 y 7.300 manantiales respectivamente en esta demarcación y se distribuyen por todo su ámbito geográfico. Los puntos donde se han realizado aforos presentan datos correspondientes a diversos periodos de medición, que abarcan desde la actualidad hasta principios de la década de 1970 en los puntos con registros más antiguos.

Se dispone de datos de caudal en 4.119 de los manantiales inventariados por el IGME y en la totalidad de los inventariados por la Confederación (5.253 manantiales) y no por el IGME, si bien la mayoría presentan solo una o dos mediciones de caudal por punto. De la anterior relación se han seleccionado 315 manantiales principales.

Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Se han identificado un total de 4.968 manantiales a partir del inventario realizado por el IGME en la demarcación. Estas

surgencias se localizan sobre todo en el sector oriental de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y la mayoría de ellas cuenta con al menos un registro histórico de caudal.

En concreto se dispone de datos de caudal en 4.499 manantiales. De éstos se han seleccionado 558 como

principales o significativos, dado su importante valor de descarga dentro del contexto hidrogeológico de la masa de agua subterránea a la que pertenecen, o por su importancia histórica. La mayor parte de estos manantiales se encuentran captados para riego y/o abastecimiento a poblaciones, por lo que el régimen hidrológico de los cauces a los que alimentan se encuentra alterado.

MASA	MANANTIALES PRINCIPALES			
Nombre	Código IGME	Nombre	Formación geológica permeable	Caudal medio histórico (L/s)
Sierra de Altomira	222510007	Fuentes de Uclés (1)	Calizas y dolomías mesozoicas	11.1
	222510012	Fuentes de Uclés (2)	Calizas y dolomías mesozoicas	5.6
	222510011	Fuentes de Uclés (3)	Calizas y dolomías mesozoicas	2.8
La Obispalía	-	-	-	-
Lillo - Quintanar	212630003	-	Calizas neógenas	22.2
Consuegra - Villacañas	-	-	-	-
Rus - Valdelobos	232820003	Desconocido	FGP Cenozoica	100.0
Mancha Occidental II	-	-	-	-
Mancha Occidental I	-	-	-	-
Bullaque	-	-	-	-
Campo de Calatrava	-	-	-	-
Campo de Montiel	223110008	-	Calizas y dolomías mesozoicas	100.0
	223110009	-	Calizas y dolomías mesozoicas	100.0
	223150012	-	Calizas y dolomías mesozoicas	40.0
	223150013	-	Calizas y dolomías mesozoicas	200.0
	223150015	-	Calizas y dolomías mesozoicas	50.0
Aluvial del Jabalón	-	-	-	-
Aluvial del Azuer	-	-	-	-
Vegas Bajas	-	-	-	-
Vegas Altas	-	-	-	-
Tierra de Barros	-	-	-	-
Zafra-Olivenza	-	-	-	-
Aroche - Jabugo	093730002	Desconocido	Carbonatos de Aracena	1.4
	093730015	Desconocido	Carbonatos de Aracena	5.0
	093730016	Desconocido	Carbonatos de Aracena	6.0
	093730018	Desconocido	Carbonatos de Aracena	5.0
	103720005	Fuente.Santa	Carbonatos de Aracena	20.0
	103720006	Fuente del Carmen	Carbonatos de Aracena	1.9
	103760010	Fuente de la Duquesa	Carbonatos de Aracena	11.6
	103770051	Fuente Patrimonio	Carbonatos de Aracena	4.0
	103770005	Fuenteheridos	Carbonatos de Aracena	10.0
Ayamonte	—	—	—	—

Tabla 7. Manantiales principales de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana con indicación de la masa de agua subterránea con la que se relacionan, la formación geológica permeable y su caudal medio histórico.

Demarcación Hidrográfica del Guadiana. La mayoría de los manantiales importantes que se han inventariado en esta demarcación drenan materiales carbonatados en contacto con otros materiales de menor permeabilidad. Se han identificado 19 manantiales principales. Solo se han considerado los que tienen una especial relevancia en la relación río-acuífero, tanto por los materiales que drenan como por los caudales que descargan. En la tabla 7 se indica la masa de agua subterránea con la que se relacionan, la formación geológica permeable que drenan y su caudal histórico.

Demarcación Hidrográfica del Júcar. Se ha identificado un total de 6.094 manantiales a partir de los inventarios realizados por el IGME y la Confederación Hidrográfica del Júcar. Estas surgencias se distribuyen por todo el ámbito geográfico de Demarcación Hidrográfica del Júcar. Los puntos donde se han realizado aforos presentan datos correspondientes a diversos periodos de medición, que abarcan desde la actualidad hasta principios de la década de 1970 en los puntos con registros más antiguos. Se dispone de datos de caudal en 3.723 manantiales, si bien la mayor parte de ellos únicamente presenta una o dos medidas de caudal. Del anterior conjunto se han seleccionado 596 manantiales como de índole principal.

Demarcación Hidrográfica del Segura. Se han identificado un total de 2.392 manantiales a partir del inventario del IGME en esta demarcación. Estas surgencias se distribuyen, sobre todo, en el sector noroccidental, que se corresponde con las sierras de Albacete y de Jaén. La mayor parte de los puntos inventariados cuentan con al menos una medida histórica de caudal. Del anterior conjunto de puntos se han seleccionado 353 como manantiales principales, ya sea por su elevado caudal o por su importancia histórica dentro del contexto de la masa de agua subterránea a la que pertenecen.

Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Se han inventariado un total de 377 manantiales a partir de los inventarios realizados por el IGME y la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. De las seis masas de agua subterránea definidas en la demarcación, la masa de agua subterránea que se denomina Cuenca Baja del Miño es la que posee un mayor número de manantiales, mientras que la masa de agua subterránea de Xinzo de Limia no tiene inventariada ninguna surgencia de agua. En total se han seleccionado 73 manantiales principales.

Demarcación Hidrográfica del Tago. A partir del inventario del IGME se han identificado un total de 1.521 manantiales. Estas surgencias se distribuyen por todo el ámbito geográfico de demarcación. La mayor concentración de manantiales, por número e importancia, se localiza en la cuenca alta, disminuyendo en cantidad y caudal hacia el este, según el recorrido del propio río. Casi todos los manantiales inventariados presentan una medición de caudal correspondiente al momento en que se inventarió, que generalmente fue a principios de la década de los 70 de la pasada centuria. Se dispone de datos de caudal en 1.435 manantiales, de los cuales se han seleccionado 62 manantiales como de índole principal.

Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre agua subterránea y zonas húmedas

En figura 6 se muestra el mapa sinóptico de zonas húmedas y masas de agua subterránea. A modo de síntesis se realiza para cada demarcación intercomunitaria una breve descripción sobre las tipologías (modelos conceptuales) de relación humedal-acuífero.

Demarcación Hidrográfica del Cantábrico

Se ha inventariado un total de 241 humedales en esta Demarcación, cuya distribución, por Comunidades Autónomas, es la siguiente:

- Cantabria: 17 humedales (1 compartido con Asturias)
- Galicia: 1 humedal (1 compartido con Asturias)
- País Vasco: 23 humedales (1 compartido con Navarra)
- Principado de Asturias: 200 humedales (1 compartido con Cantabria, 1 con Galicia y 5 con Castilla y León)
- Castilla y León: 6 humedales (5 compartidos con Asturias)
- Comunidad Foral de Navarra: 2 humedales (1 compartido con País Vasco).

De los 241 humedales inventariados, 72 se localizan sobre la masa de agua subterránea Eo-Navia-Narcea y 14 no están relacionados con ninguna de las 36 masas de agua subterránea que se han definido en la Demarcación. De los 155 humedales que restan, solamente 42 tienen relación con formaciones geológicas permeables, aunque hay que señalar, que dos

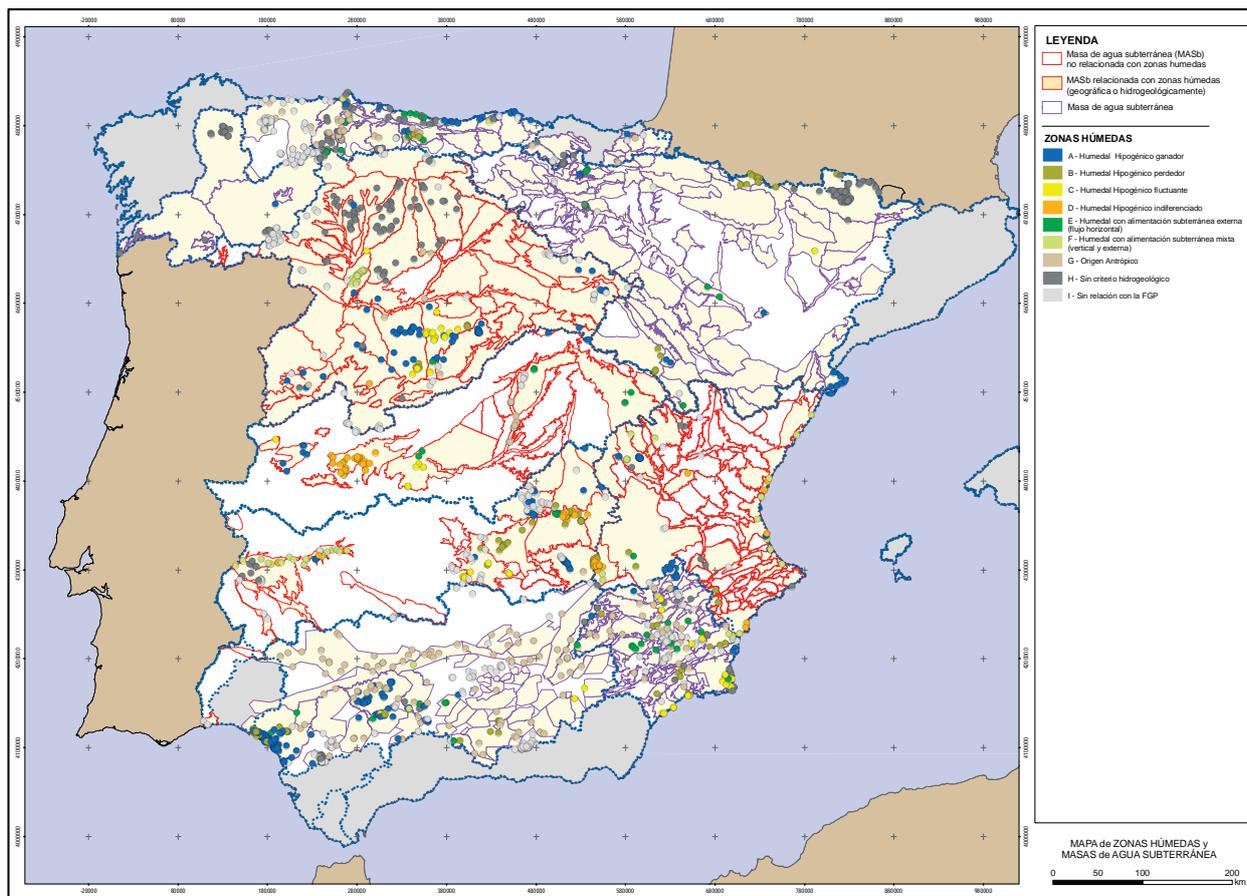


Figura 6. Mapa sinóptico de zonas húmedas y masas de agua subterránea con indicación de la tipología (modelo conceptual) de relación humedal-acuífero.

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º zonas húmedas
A Hipogénico ganador	22
B Hipogénico perdedor	6
C Hipogénico fluctuante	0
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	17
F Alimentación subterránea mixta	5
G Origen Antrópico	34
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	72
I Sin Relación con la masa de agua subterránea	73
TOTAL	229

Tabla 8 Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación hidrográfica del Cantábrico)

Nota: Los humedales tipo G pueden ser a su vez tipo H y tipo I.

de estos humedales se relacionan con varias masas de agua subterránea, por eso el número de relaciones tipológicas que figuran en la tabla 8 asciende a 229 en vez de 227.

La masa de agua subterránea con mayor número de humedales es Eo-Navia-Narcea con 72 (4 presentan relación humedal-acuífero), seguida de Somiedo-Trubia-Pravia con 41 (5 presentan relación humedal-acuífero), Picos de Europa con 23 (14 presentan relación humedal-acuífero), Balmaseda-Elorrio con 18 (2 presentan relación humedal-acuífero), Llanes-Ribadesella con 16 (4 presentan relación humedal-acuífero) y Región del Ponga con 16 (ninguno presenta relación humedal-acuífero). Por otro lado hay 16 masas de agua subterránea que carecen de humedales.

En cuanto al tipo de conexión humedal-acuífero, predominan los humedales sin relación con la masa de agua subterránea (73), seguidos de los sin criterio hidrogeológico para clasificarlos (72) y de los de origen antrópico (34).

Demarcación Hidrográfica del Duero. Se han identificado 277 zonas húmedas (tabla 9). Todas ellas se localizan geográficamente en la comunidad autónoma de Castilla y León. En la figura 7 se muestra su distribución por provincias. En dicho gráfico algunas zonas húmedas se han contabilizado por duplicado, ya que se encuentran a caballo entre los ámbitos de dos provincias.

De las 277 zonas húmedas analizadas, 76 no disponen de información suficiente para caracterizar la relación humedal-acuífero. En las 199 restantes, 86 no presentan ninguna relación con formaciones geológicas de permeabilidad media-alta. En las 113 zonas húmedas en las que se ha identificado algún tipo de relación con

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	60
B Hipogénico perdedor	8
C Hipogénico fluctuante	23
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa (flujo horizontal)	1
F Alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	18
G Origen antrópico	5
H Sin criterio hidrogeológico para clasificarlo	76
I Sin relación con la formación geológica permeable	86
TOTAL	277

Tabla 9. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación hidrográfica del Duero)

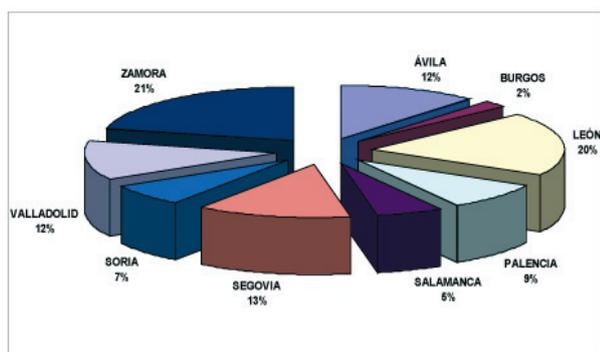


Figura 7. Distribución porcentual por provincias de las zonas húmedas identificadas en la Demarcación Hidrográfica del Duero.

las formaciones geológicas permeables, la tipología de relación humedal-acuífero predominante es la de humedal hipogénico ganador, seguida en número por la de humedal hipogénicos fluctuantes. La única tipología

que no se ha identificado ha sido la de hipogénico indiferenciado.

Demarcación Hidrográfica del Ebro. Se han identificado 105 zonas húmedas. Su distribución geográfica por comunidades autónomas es la siguiente: 56 humedales en Cataluña, 28 humedales en la Comunidad Autónoma de Aragón, 9 humedales en el País Vasco, 5 humedales en la Comunidad Foral de Navarra, 3 humedales en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, 2 humedales en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha y 2 humedales en la Comunidad Autónoma de La Rioja.

De los 105 humedales que se han identificado, 91 se encuadran dentro de los límites de alguna de las masas de agua subterránea que se han definido en la Demarcación hidrográfica del Ebro, aunque sólo 36 tienen relación con las formaciones geológicas permeables de alta y media permeabilidad, que afloran en dicha Demarcación, 6 no presentan ningún tipo de conexión y el resto tienen una relación desconocida que no se ha podido determinar.

Las masas de agua subterránea con un mayor número de humedales interrelacionados con acuíferos son el Alto Gállego y el Delta del Ebro. Otra masa de agua subterránea, que presenta un elevado número de humedales (49), aunque sólo uno tiene una relación probada con el acuífero, es la denominada Macizo Axial Pirenaico.

En la tabla 10 se presenta una síntesis con la tipología de relación humedal-acuífero para las 91 zonas húmedas analizadas en el presente estudio. El modelo conceptual de humedal-acuífero que predomina en los humedales de la Demarcación hidrográfica del Ebro es el denominado sin criterio hidrogeológico (64 por ciento), seguido de los hipogénicos perdedores (16 por ciento) y de los hipogénicos ganadores (14 por ciento).

Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Se han identificado 375 zonas húmedas. El reparto, por Comunidades Autónomas, es el siguiente:

- Andalucía: 370 humedales
- Castilla-La Mancha: 5 humedales (1 compartido con Andalucía)
- Murcia: 0 humedales
- Extremadura: 2 humedales (1 compartido con Andalucía)

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	13
B Hipogénico perdedor	15
C Hipogénico fluctuante	1
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	7
F Alimentación subterránea mixta	0
G Origen Antrópico	0
H Sin criterio hidrogeológico para clasificarlo	49
I Sin relación con la formaciones geológicas permeables	6
TOTAL	91

Tabla 10. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación Hidrográfica del Ebro)

De los 375 humedales que se han identificado, 95 no presentan ninguna relación con las formaciones geológicas permeables, que conforman las 58 masas de agua subterránea que se han definido en la Demarcación hidrográfica del Guadalquivir, y de los 280 humedales que restan solo 189 tienen relación con las formaciones geológicas permeables presentes en la cuenca.

La masa de agua subterránea con un mayor número de humedales es con gran diferencia la Almonte-Marismas del Guadalquivir con 109, seguida de la Altiplanos de Écija con 41. Por otro lado en 19 masas de agua subterránea, pertenecientes a la cuenca alta del Guadalquivir en su mayoría, no se han identificado humedales.

En cuanto a la tipología de relación humedal-acuífero (tabla 11), predominan los humedales hipogénicos ganadores (118), seguidos de los de origen antrópico (114) y de los hipogénicos perdedores (37). El número total de relaciones analizadas asciende a 302, no a 280, ya que hay zonas húmedas, que están compuestas por varios humedales o conjuntos lagunares, que se extienden sobre más de una masa de agua subterránea, dándose la paradoja, que su tipología de relación humedal-acuífero, para cada una de las masas de agua subterráneas interrelacionadas con cada uno de elemento que conforman la zona húmeda, es diferente. Algunos de los humedales con relación tipo G, que se contabilizan en la tabla 11, presentan a su vez (tabla 12) otra categoría adicional dentro de las diferentes

tipologías de relación humedal-acuífero definidas en el apartado metodológico.

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º Zonas húmedas
A Hipogénico ganador	118
B Hipogénico perdedor	37
C Hipogénico fluctuante	4
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	8
F Alimentación subterránea mixta	2
G Origen Antrópico	114
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	13
I Sin Relación con la MASb	6
TOTAL	302

Tabla 11. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación hidrográfica del Guadalquivir).

Tipología adicional de relación humedal-acuífero para los humedales de Tipo G	N.º Zonas húmedas
A Hipogénico ganador	5
B Hipogénico perdedor	0
C Hipogénico fluctuante	0
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	15
F Alimentación subterránea mixta	2
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	92
I Sin Relación con la MASb	
TOTAL	114

Tabla 12. Tipología adicional de relación humedal-acuífero para los humedales de tipo G (Demarcación hidrográfica del Guadalquivir)

Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Existen una multitud de zonas húmedas debido a su escaso relieve y a los materiales que la forman. Entre estas zonas húmedas existen algunas que por estar situadas sobre materiales impermeables no tienen relación con las aguas subterráneas, mientras que otras están íntimamente relacionadas con el funcionamiento hidrogeológico de los materiales sobre los que se ubican.

En total se han identificado 339 humedales, cuya distribución por Comunidades Autónomas es la siguiente:

- Extremadura: 201 humedales
- Castilla-La Mancha: 147 humedales
- Andalucía: 4 humedales

De los 339 humedales, que se han identificado en la Demarcación hidrográfica del Guadiana, 182 se localizan sobre masas de agua subterránea, aunque no todos ellos se interrelacionan hidráulicamente con las formaciones geológicas permeables que afloran sobre las mismas. El número de los que presentan conexión hidráulica acuífero-humedal es de 117.

Las masas de agua subterránea con mayor número de humedales interrelacionados con acuíferos son la Mancha Occidental II y el Campo de Montiel, aunque sobre las que se contabiliza un número más elevado de humedales sean las de Consuegra-Villacañas y Campo de Calatrava.

Las masas de agua subterránea de Lillo-Quintanar, Zafrá-Olivenza y Ayamonte no tienen humedales que se interrelacionen con las aguas subterráneas, mientras que las masas de agua subterránea de Bullaque, Aluvial del Jabalón, Aluvial del Azuer, Los Pedroches y Cabecera del Gévora carecen de zonas húmedas.

En cuanto a la tipología de relación humedal-acuífero tabla 13, predominan los humedales hipogénicos perdedores 27%, seguidos de los hipogénicos ganadores 24%, en contraposición con los de origen antrópico y

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	28
B Hipogénico perdedor	32
C Hipogénico fluctuante	9
D Hipogénico indiferenciado	16
E Alimentación subterránea externa	4
F Alimentación subterránea mixta	20
G Origen Antrópico	1
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	7
TOTAL	117

Tabla 13. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación Hidrográfica del Guadiana)

los que tienen alimentación subterránea externa, que suman únicamente el 4% de los humedales con relación humedal-acuífero.

Demarcación Hidrográfica del Júcar. Se han identificado 68 zonas húmedas. Su distribución por Comunidades Autónomas es la siguiente: 4 humedales en la Comunidad Autónoma de Aragón, 43 humedales en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha y 21 humedales en la Comunidad Valenciana.

En 53 zonas húmedas la información consultada ha permitido definir el modelo conceptual que caracteriza la tipología de la relación humedal-acuífero, en ocho se ha establecido que no existe vinculación hidrogeológica entre el humedal y el acuífero, y en siete no se ha podido determinar la posible interrelación entre el humedal y el acuífero.

Las masas de agua subterránea en las que se localizan un mayor número de zonas húmedas son el Cretácico de Cuenca Norte y Lezuza-El Jardín. En la primera, el elevado número de zonas húmedas que se han identificado se debe a que se ha efectuado un análisis individualizado de las lagunas que figuran en la cobertura del MARM (2008) y que conforman el complejo lagunar de Torcas de Cañada Hoyo: Laguna Seca, Laguna del Tejo, Laguna de la Cruz, Lagunillo del Tejo, Laguna de la Parra, Laguna de las Tortugas, Laguna de la Cardenilla, Laguna Llana y Lagunillo de la Casa de Cantarranas; así como las lagunas que se agrupan en el complejo lagunar de Fuentes: Laguna Negra, Laguna de la Atalaya y Laguna Ojo de Corba.

En la tabla 14 se presenta la tipología de relación humedal-acuífero para las 68 zonas húmedas identificadas en la Demarcación hidrográfica del Júcar. En la misma se observa el predominio de los humedales hipogénicos indiferenciados 28 %, hipogénicos ganadores 21 % y con alimentación subterránea mixta vertical y externa 21 %.

Demarcación Hidrográfica del Segura. Se han identificado 161 humedales. Su distribución por Comunidades Autónomas es la siguiente:

- Andalucía: 4 humedales (1 compartido con Castilla-La Mancha)
- Castilla-La Mancha: 35 humedales (1 compartido con Andalucía y 2 con la Región de Murcia)
- Murcia: 114 humedales (2 compartidos con Castilla-La Mancha)
- Comunidad Valenciana: 11 humedales

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	14
B Hipogénico perdedor	4
C Hipogénico fluctuante	1
D Hipogénico indiferenciado	19
E Alimentación subterránea externa (flujo horizontal)	1
F Alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	14
G Sin criterio hidrogeológico para clasificarlo	7
H Sin relación con la FGP	8
TOTAL	68

Tabla 14 Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación Hidrográfica del Júcar)

De los 161 humedales que se han identificado en la Demarcación hidrográfica del Segura se ha podido establecer que 125 se localizan sobre alguna de las 63 masas de agua subterránea, que se han definido en la Demarcación, aunque solo 66 tienen relación con formaciones geológicas permeables. Los 36 humedales que resta, hasta completar el número de 161, no se encuentran relacionados con ninguna masa de agua subterránea.

La masa de agua subterránea con mayor número de humedales es Sierra Espuña con 15, seguida de Campo de Cartagena con 10, Sinclinal de La Higuera con 9, Vega Media y Baja del Segura con 8, Caravaca con 7 y Sinclinal de Calasparra con 7. Por otro lado cabe indicar que en 23 masas de agua subterránea no se ha identificado ninguna zona húmeda.

En cuanto a la tipología de relación humedal-acuífero (tabla 15), predominan los humedales de origen antrópico (44), seguidos de los hipogénicos ganadores (17) y los sin relación con la masa de agua subterránea (18). El número total de relaciones que se han podido establecer asciende a 141, y no a 125, por las mismas razones que se expusieron en la Demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

Algunos de los humedales con relación tipo G, que se contabilizan en la tabla 16 presentan a su vez, tabla 16, otra categoría adicional dentro de las diferentes tipologías de relación humedal-acuífero definidas en el apartado metodológico.

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	17
B Hipogénico perdedor	13
C Hipogénico fluctuante	17
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	16
F Alimentación subterránea mixta	5
G Origen Antrópico	44
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	11
I Sin Relación con la MASb	18
TOTAL	141

Tabla 15. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación hidrográfica del Segura)

Tipología adicional de relación humedal-acuífero para los humedales de Tipo G	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	1
B Hipogénico perdedor	7
C Hipogénico fluctuante	0
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	6
F Alimentación subterránea mixta	11
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	19
I Sin Relación con la MASb	
TOTAL	44

Tabla 16. Tipología adicional de relación humedal-acuífero para los humedales de tipo G (Demarcación hidrográfica del Segura)

Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. En la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil se han identificado 39 zonas húmedas. Su distribución por Comunidades Autónomas es la siguiente:

- Galicia: 19 humedales
- Asturias: 7 humedales (2 compartidos con Castilla-León)
- Castilla-León: 15 humedales (2 compartidos con Asturias)

De los 39 humedales identificados, 35 se localizan sobre alguna de las 6 masas de agua subterránea que se

han definido en la Demarcación (tabla 17), aunque tan solo 4 se interrelacionan con formaciones geológicas permeables.

Masa de agua subterránea	N.º de zonas húmedas que se localizan sobre la masa de agua subterránea	N.º de zonas húmedas con relación humedal-acuífero
A Cuenca Alta del Miño	13	0
B Cuenca Baja del Miño	0	0
C Cuenca del Sil	19	2
D Cubeta del Bierzo	0	0
E Aluvial del bajo Miño	2	0
F Xinzo de Limia	1	0
TOTAL	35	2

Tabla 17. Zonas húmedas relacionados con masas de agua subterránea y zonas húmedas interrelacionadas con acuíferos (Demarcación hidrográfica del Miño-Sil).

La masa de agua subterránea con un mayor número de humedales es la Cuenca del Sil con 19 seguida de la masa de agua subterránea Cuenca Alta del Miño con 13. En cuanto a la tipología de relación humedal-acuífero (tabla 18), predominan los humedales sin criterio hidrogeológico para clasificarlos (19), seguidos de los sin relación con la MASb (14).

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	2
B Hipogénico perdedor	0
C Hipogénico fluctuante	0
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	0
F Alimentación subterránea mixta	0
G Origen Antrópico	0
H Sin Criterio hidrogeológico para clasificarlo	19
I Sin Relación con la MASb	14
TOTAL	35

Tabla 18. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación hidrográfica del Miño-Sil)

Demarcación Hidrográfica del Tajo. Se han identificado 171 zonas húmedas, aunque solo 71 se localizan sobre alguna de las 24 masas de agua subterránea que se han definido en dicha Demarcación. De esas 71, en 15 no se puede establecer ningún vínculo con el

agua subterránea, ya que se localizan sobre terrenos impermeables, mientras que en 27 no se dispone de información suficiente para su clasificación y en 29 si se puede definir la tipología de un modelo conceptual que explique la relación hidrológica que existe entre la zona húmeda y la masa de agua subterránea.

Las masas de agua subterránea Tiétar y Aluviales Jarama-Tajuña son las que posee un mayor número de zonas húmedas, 27 la primera y 11 la segunda. Además, todas ellas se encuentran interrelacionadas con el agua subterránea.

En la tabla 19 se muestra la tipología del modelo conceptual que explica la relación hidrológica que existe entre la zona húmeda y la masa de agua subterránea. La mayoría de las zonas húmedas tienen un origen antrópico y son graveras situadas en los aluviales de los ríos Jarama y Alberche.

Tipología de relación humedal-acuífero	N.º de zonas húmedas
A Hipogénico ganador	1
B Hipogénico perdedor	0
C Hipogénico fluctuante	6
D Hipogénico indiferenciado	0
E Alimentación subterránea externa	6
F Alimentación subterránea mixta	0
G Origen antrópico	16
H Sin criterio hidrogeológico para clasificarlo	27
TOTAL	56

Tabla 19. Número de zonas húmedas según su tipología de relación humedal-acuífero (Demarcación Hidrográfica del Tajo)

Interrelación entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a ecosistemas naturales de especial interés hídrico.

A continuación se realiza para cada Demarcación intercomunitaria una breve descripción sobre la interrelación entre aguas superficiales y subterráneas por lo que respecta a ecosistemas naturales de especial interés hídrico.

Demarcación Hidrográfica del Cantábrico. En el ámbito de esta demarcación se han identificado 138 lugares de la Red Natura 2000, que corresponden a 109 LICs y 29

ZEPAs, cuya superficie se encuentra comprendida total o parcialmente dentro de dicha Demarcación.

El 20,7 % (3.565 km²) de la superficie de las masas de agua subterránea de la Demarcación del Cantábrico se encuentra ocupada por LICs. La masa de agua subterránea con una mayor superficie ocupada por LICs es Itxina, con un 92 %, seguida de Peña Ubiña-Peña Rueda, con un 92 %. En contraposición, la masa de agua subterránea de Oiz no tiene ningún LICs o parte de los mismos dentro de sus límites. La masa de agua subterránea que contiene (total o parcialmente) un mayor número de LICs es Eo-Navia-Narcea, que intersecciona con 12 de ellos.

El 15 % de la superficie de las masas de agua subterránea de la demarcación del Cantábrico está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta una mayor superficie ocupada por ZEPAs es Peña Ubiña-Peña Rueda, con una superficie del 92 %. Dentro de la demarcación, 18 masas de agua subterránea no interseccionan con ninguna ZEPA. La masa de agua subterránea con un mayor número de ZEPAs es Eo-Navia-Narcea, que intersecciona con 7 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 81 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 61 LICs, de los cuales 39 (64 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, mientras que los 22 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 20 ZEPAs, de las cuales 9 (45 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, mientras que los 11 restantes están compartidos con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Duero. En el ámbito de esta demarcación se localizan total o parcialmente 185 lugares de la Red Natura 2000, que corresponden a 115 LICs y 70 ZEPAs.

El 17 % (13.856 km²) de la superficie de las masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Duero se encuentra ocupada por LICs. La MASb con una mayor superficie cubierta por LICs es Cervera de Pisuerga, con más del 76 %. En contraposición, las masas de agua subterránea Raña del Órbigo y Verín no tiene ningún LICs o parte de los mismos dentro de

sus límites. La masa de agua subterránea que contiene total o parcialmente un mayor número de LICs es Sierra de Ávila, que intersecciona con 8 ecosistemas de este tipo.

El 18 % (14.421 km²) de la superficie de las masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Duero está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta una mayor superficie ocupada por ZEPAs es Tierra de Campos, con más del 87 %, seguida de Cervera de Pisuerga con una superficie cubierta superior al 76 %. Las MASb Aluvial del Esla, Raña del Órbigo, Vilardevós-Laza, Páramo de Astudillo, Verín, Cabrejas-Soria, Aluvial del Duero: Aranda-Tordesillas), Páramo de Cuellar, Páramo de Corcos, Valle de Amblés y Valdecorneja no tienen ZEPAs o parte de las mismas dentro de sus límites. Las que contienen total o parcialmente un mayor número de ZEPAs son Tierra de Campos, Medina del Campo y Sierra de Ávila que interseccionan con 6 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 95 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 56 LICs, de los cuales 40 (71 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica, mientras que los 16 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 39 ZEPAs, de las cuales 25 (64 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica, mientras que las 14 restantes se encuentran compartidas con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Ebro. En el ámbito de esta demarcación se localizan total o parcialmente 437 lugares de la Red Natura 2000, que corresponden a 302 LIC y 135 ZEPA.

Se ha identificado que existe una interrelación directa con las aguas subterráneas en 175 lugares (119 LICs y 56 ZEPAs), que se distribuyen de la siguiente manera:

- Por lo que respecta a los 119 LIC, 107 (90 %) se encuentran íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica, mientras que los 12 restantes están compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- De las 56 ZEPA, 48 (88 %) se encuentran íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica, mientras que las 14 restantes están compartidas con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. En el ámbito de esta demarcación se localizan total o parcialmente 113 lugares de la Red Natura 2000, que se corresponden con 81 LICs y 31 ZEPAs.

El 26,6% (9.438 km²) de la superficie de masas de agua subterránea de la demarcación del Guadalquivir se encuentra ocupada por LICs. La MASb con una mayor superficie ocupada por LICs es Quesada-Castril, con el 85%, en contraposición, las de La Zarza, Ahillo-Caracolera, Sierra de Las Estancias, Jabalcón, Jabalcuz, Jaén, San Cristobal, Mentidero-Montesinos, Porcuna, Montes Orientales. Sector Norte, Sierra Elvira, Madrid-Parapanda, Albayate-Chanzas, Guadahortuna-Larva, Grajales-Pandera-Carchel y Gracia-Ventisquero carecen de LICs dentro de sus límites. Las MASb que contienen (total o parcialmente) un mayor número de LICs son Sierra Morena y Sierra de Cazorla que interseccionan 6 cada una.

El 20 % de la superficie de masas de agua subterránea en la demarcación del Guadalquivir está ocupada por ZEPAs, la que presenta una mayor superficie ocupada por ZEPAs es Sierra Mágina), con una superficie de casi el 80%, seguida de Sierra de Padul, con un 76 %. Dentro de la Demarcación 32 MASb no contienen ninguna ZEPA. La masa de agua subterránea con un mayor número de ZEPAs es Sierra y Mioceno de Estepa, que interseccionan 5 de ellas.

Se ha identificado la interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 62 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 44 LIC, de los cuales 29 (66 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica, mientras que los 15 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 18 ZEPA, de las cuales 9 (50%) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica, mientras que los 9 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Guadiana. En el ámbito de esta demarcación Hidrográfica del Guadiana se localizan total o parcialmente 139 lugares de la Red Natura 2000, que se corresponden con 85 LICs y 54 ZEPAs.

El 5 % (1.146 km²) de la superficie de masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana se encuentran ocupadas por LICs. La masa de agua sub-

terránea con una mayor superficie ocupada por LICs es Aroche-Jabugo, con casi el 60 %. En contraposición, las masas de agua subterránea de Rus-Valdelobos, Aluvial del Jabalón y Aluvial del Azuer no tienen ningún LICs dentro de sus límites. La masa de agua subterránea que contiene (total o parcialmente) mayor número de LICs es Zafra-Olivenza, que intersecciona a 12 de ellos.

El 9 % de la superficie de masas de agua subterránea en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta mayor superficie ocupada por ZEPAs es, al igual que ocurría con los LICs, Aroche-Jabugo, con una superficie ocupada de casi el 60 %, seguida de Cabecera del Gévora, con un 56 %. Las masas de agua subterránea de La Obispalía y Los Pedroches no contienen ninguna ZEPA en su interior. Al igual que con los LICs, la masa de agua subterránea con mayor número de ZEPAs es Zafra-Olivenza, que intersecciona a 6 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 23 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 12 LICs, de los cuales 8 (66%) se localizan íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica, mientras que los 4 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 11 ZEPAs, de las cuales 5 (45 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica mientras que las 6 restantes se encuentran compartidas con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Júcar. En el ámbito de esta demarcación se localizan total o parcialmente 180 lugares de la Red Natura 2000, que se corresponden con 125 LICs y 55 ZEPAs.

El 22,45 % (9.166 km²) de la superficie de las masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se encuentra ocupada por LICs. La masa de agua subterránea con una mayor superficie cubierta por LICs es Sierra del Toro, con más del 96 %. En contraposición, las masas de agua subterránea Sierra de Oliva, Cuchillo-Moratalla, Rocín, Sierra Lácer, Agost-Monnegre, Sierra del Reclot y Sierra del Argallet no tienen ningún LICs dentro de sus límites. La masa de agua subterránea que contiene total o parcialmente un mayor número de LICs es Montes Universales, que intersecciona con 13 ecosistemas de este tipo.

El 21 % (8.505 km²) de la superficie de las masas de agua subterránea en la Demarcación Hidrográfica del Júcar está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta mayor superficie ocupada por ZEPAs es Mediodía que, en conjunto, cubren más del 87 % de esta masa, seguida de Onda-Espadán, con un 86 %. Las de la Plana de Vinaroz, Arquillo, Terciario de Alarcón, Sierra del Toro, La Contienda, Hoya de Játiva, Sierra de las Agujas, Rocín, Sierra del Reclot y Sierra del Argallet no contienen ZEPAs. La MASb con un mayor número de ZEPAs es Bajo Vinalopó, que intersecciona con 6 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 98 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 65 LICs, de los cuales 56 (84 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Júcar, mientras que los 9 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 33 ZEPAs, de las cuales 26 (79 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Júcar, mientras que las 7 restantes se encuentran compartidas con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. En el ámbito de esta demarcación se localizan total o parcialmente 41 lugares de la Red Natura 2000, que se corresponden con 29 LICs y 12 ZEPAs.

El 20 % (3.490 km²) de la superficie de masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil se encuentra ocupada por LICs. La masa de agua subterránea con una mayor superficie ocupada por LICs es Cuenca del Sil, con un 36,9 %, seguida de Aluvial del Bajo Miño, con un 19,4 % de ocupación. La masa de agua subterránea que contiene (total o parcialmente) un mayor número de LICs es Cuenca del Sil, que intersecciona a 21 de ellos.

El 11 % de la superficie de masas de agua subterránea en esta demarcación está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta mayor superficie ocupada por ZEPAs es Cuenca del Sil, con un 20,5%. Dentro de la demarcación 3 masas de agua subterránea no interseccionan con ninguna ZEPA, que son Cuenca Alta del Miño, Cubeta del Bierzo y Xinzo de Limia. La masa de agua subterránea con un mayor número de ZEPAs es Cuenca del Sil, que intersecciona con 10 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 14 lugares perte-

necientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 10 LICs, de los cuales 6 (60 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica, mientras que los 4 restantes están compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 4 ZEPAs, de las cuales 1 (25 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica, mientras que los 3 restantes están compartidos con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Segura. En el ámbito de la demarcación se localizan total o parcialmente 105 lugares de la Red Natura 2000, que se corresponden con 75 LICs y 30 ZEPAs.

El 22 % (3.312 km²) de la superficie de masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Segura se encuentra ocupada por LICs. La masa de agua subterránea con una mayor superficie ocupada por LICs es Machada, con casi el 100 %. En contraposición, de Conejeros-Albatana, Ontur, Sierra de La Oliva, Moratilla, Lacera, Sierra del Argallet, Sierra de La Zarza, Triásico de Las Victorias, Sierra de Las Estancias y Las Norias no tienen ningún LICs dentro de sus límites. La MASb que contiene (total o parcialmente) mayor número de LICs es Sierra de Cartagena, que intersecciona a 5 de ellos.

El 23 % de la superficie de masas de agua subterránea en la Demarcación Hidrográfica del Segura está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta mayor superficie ocupada por ZEPAs es, al igual que ocurría con los LICs, Machada, con una superficie ocupada de casi el 100%, seguida de Calar del Mundo, con un 93 %. Las masas de agua subterránea de Pino, Conejeros-Albatana, Ontur, Cuchillos-Cabras, Lacera, El Cantal-Viña Pi, Sierra del Argallet, Sierra de La Zarza, Alto Quípar, Vega Alta del Segura, Triásico de Las Victoria, Triásico de Carrascoy, Sierra de Las Estancias), Enmedio-Cabezo de Jara, Las Norias y Sierra de Almagro no contienen ninguna ZEPA. La masa de agua subterránea con un mayor número de ZEPAs es Sierra Espuña, que intersecciona a 4 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 50 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 33 LICs, de los cuales 26 (79 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica

del Segura, mientras que los 7 restantes se encuentran compartidas con las demarcaciones limítrofes.

- 17 ZEPAs, de las cuales 12 (71 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Segura, mientras que las 5 restantes se encuentran compartidas con las demarcaciones limítrofes.

Demarcación Hidrográfica del Tajo. En el ámbito de la demarcación se localizan total o parcialmente 181 lugares de la Red Natura 2000, que se corresponden con 102 LICs y 79 ZEPAs.

El 25 % (21.866 km²) de la superficie de masas de agua subterránea de la Demarcación del Tajo se encuentra ocupada por LICs. Las masas de agua subterráneas con una mayor superficie ocupada por LICs son Cabecera del Bornova y Entrepeñas, superando el 70 % de ocupación. En contraposición, la masa de agua subterránea Talaván, prácticamente carece de superficie ocupada por LICs, seguida de las masas de agua subterránea Galisteo y La Alcarria con tan sólo el 2 % de. La masa de agua subterránea que contiene (total o parcialmente) un mayor número de LICs es Tajuña-Montes Universales, que intersecciona a 12 de ellos.

El 27 % de la superficie de masas de agua subterránea en la Demarcación Hidrográfica del Tajo está ocupada por ZEPAs. La masa de agua subterránea que presenta mayor superficie ocupada por ZEPAs es Tajuña-Montes Universales con una superficie de casi el 74 %, seguida de Entrepeñas con un 70 %. Las masa de agua subterránea de Zarza de Granadilla no tiene ninguna ZEPA en su interior y la masa de agua subterránea Moraleja tiene únicamente una ZEPA interseccionando su superficie, con una ocupación de tan solo el 0,2%. La masa de agua subterránea con un mayor número de ZEPAs es Tiétar que intersecciona a 12 de ellas.

Se ha identificado que existe interrelación directa entre aguas superficiales y subterráneas en 67 lugares pertenecientes a la Red Natura 2000, que se distribuyen de la siguiente manera:

- 38 LICs, de los cuales 23 (60 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica, mientras que los 15 restantes se encuentran compartidos con las demarcaciones limítrofes.
- 29 ZEPAs, de las cuales 19 (65 %) se localizan íntegramente en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, mientras que los 10 restantes están compartidos con las demarcaciones limítrofes.

CONSIDERACIONES FINALES

La información de carácter hidrogeológico que se dispone en España se puede catalogar a escala de todo el territorio nacional de obsoleta y anticuada, aunque en todas las Demarcaciones existen masas de agua subterránea donde el nivel de conocimiento hidrogeológico se puede calificar de alto o muy alto. De acuerdo a la información media de que se ha dispuesto, se puede afirmar que se ha obtenido un resultado que se puede calificar de pobre en lo que se refiere a la definición, caracterización y cuantificación de los tramos de río que presentan relación río-acuífero, y de claramente insuficiente en lo que respecta a la determinación de la relación humedal-acuífero.

A este respecto, se antoja necesario profundizar en números aspectos de las relaciones río-acuífero identificadas, pero que no han podido ser definidas con mayor rigor y exactitud, ante la falta, por ejemplo, de aforos diferenciales o datos piezométricos próximos a los cauces fluviales. En general, el modelo conceptual de las relaciones río-acuífero se ha podido establecer con una cierta fiabilidad en la mayoría de los tramos que se han identificado, pero no ocurre lo mismo con la cuantificación del caudal ganado o perdido en un determinado tramo, y con su evolución temporal tanto a escala anual como hiperanual, ya que en un gran número de situaciones se ha recurrido con frecuencia a datos de caudal obsoletos, escasos o sin periodicidad temporal.

En el caso de la relación humedal-acuífero la información hidrogeológica de que se dispone es todavía más escasa y deficitaria, por lo que los resultados que se han obtenido se pueden catalogar con el baremo de insuficiente para la mayoría de los humedales que se han analizado. A este respecto cabe indicar que no ha sido posible definir la tipología de la relación humedal-acuífero en aproximadamente un tercio de los humedales que se han analizados. Por lo que se refiere a su caracterización o a su cuantificación solo ha sido posible realizarla en un número muy reducido de zonas húmedas.

Cabe por tanto recomendar la realización de estudios específicos encaminados a obtener una mejor definición de la interrelación que existe entre aguas superficiales y subterráneas en lo que respecta a cursos fluviales de cualquier orden, manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Entre las distintas actuaciones que se pueden proponer cabe destacar las siguientes:

- Diseño e instalación de nuevas estaciones de aforos definidas con criterios hidrogeológicos.
- Construcción e instrumentación de piezómetros localizados próximos a tramos de ríos ganadores o perdedores.
- Seguimiento periódico de redes de control de foronómia, hidrometría y piezometría.
- Mejora del conocimiento de las extracciones de agua subterránea y superficial con objeto de poder restituir el régimen hidrológico actual al natural.
- Ampliar y mejorar el inventario de manantiales.
- En el caso de la relación humedal-acuífero, dada la escasez de información que existe, se propone como totalmente necesario, si se quiere mejorar el conocimiento hidrogeológico de las zonas húmedas, controlar la evolución de la lámina de agua en los humedales, realizar una batimetría de los mismos, instalar estaciones termopluviométricas y evaporimétricas, construir e instrumentalizar redes de piezometría cercanas a los humedales, y diseñar, construir y realizar periódicamente aforos en los cauces y manantiales tributarios de los humedales.

Antes de proceder a construir y diseñar una red de aforos permanente, se recomienda operar una red temporal de aforos durante dos años con cadencia de medición mensual, e instrumentalizada a nivel diario en sus puntos más significativos. Dicha red constaría de 1.147 secciones de acuerdo a la distribución por demarcaciones hidrográficas, que figura en la tabla 20.

Demarcación Hidrográfica	Estaciones temporales de control foronómico
Miño-Sil	20
Cantábrico	260
Duero	143
Ebro	233
Tajo	56
Júcar	23
Guadiana	49
Segura	168
Guadalquivir	338
TOTAL	1147

Tabla 20. Distribución por demarcaciones hidrográficas de las secciones de control de una red temporal de aforos que se recomienda operar antes de diseñar y construir con criterio hidrogeológico una de tipo permanente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DGA-IGME (2010). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcaciones Hidrográficas del Miño-Sil, Cantábrico, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro. Encomienda de gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al IGME (MCIN) para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas.
- DGOH (1990). Estudio de las zonas húmedas de la España peninsular: Inventario y tipificación. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, 435 p.
- MMA (2006): Base documental de los humedales españoles (BDHE, Versión 4, abril 2006). Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Formato digital.
- MOPTMA-MINNER (1994). Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Dirección General de Calidad de las Aguas (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente) e Instituto Tecnológico Geominero de España (Ministerio de Industria y Energía), Madrid, 135 p.

MAPA PIEZOMÉTRICO DE ESPAÑA

Gerardo Ramos González



En este capítulo, se recoge una síntesis de los trabajos llevados a cabo en la Actividad n.º 5 *Mapa piezométrico de España* de la Encomienda de Gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al IGME relativa a la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas.

Director de la actividad:

Gerardo Ramos González. Instituto Geológico y Minero de España

Equipo de trabajo

Instituto Geológico y Minero de España

Colaboración de los técnicos de las Unidades Territoriales de:

Santiago de Compostela

Asturias

Salamanca

Sevilla

Granada

Almería

Murcia

Valencia

Zaragoza

Baleares

Empresas colaboradoras:

TECNOLOGÍA Y RECURSOS DE LA TIERRA (T.R.T.)

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE RECURSOS NATURALES (IDRENA)

AESIA

MAPA PIEZOMÉTRICO DE ESPAÑA

INTRODUCCIÓN

En el presente documento se expone una síntesis de los trabajos de elaboración del mapa piezométrico de España. Los objetivos específicos del proyecto consistieron en la realización de dos mapas piezométricos generales representativos de dos estados característicos en el régimen hidrodinámico de las aguas subterráneas:

- Un mapa que se pueda considerar lo más aproximado posible a un estado de régimen natural o influenciado en el menor grado posible, de los acuíferos.
- Un mapa representativo del estado actual de las aguas subterráneas, elaborado con los datos de las redes oficiales de control piezométrico existente en cada cuenca hidrográfica. Por indicación de la Dirección General de Aguas este mapa se refiere al mes de mayo de 2008.

PUNTOS DE AGUA UTILIZADOS			
Cuenca	Estado Natural	Manantiales	2008
Norte	466	247	48
Tajo	3.388	121	143
Ebro	1.508	509	232
Segura	3.327	199	115
Internas Cataluña	1.582	89	191
Baleares	4.162	24	625
Guadalquivir	2.951	1.256	160
Guadiana	2.046	137	91
Duero	297	559	206
Andaluzas	5.900	558	171
	28.452	4.560	2.247

Tabla 1. Distribución de puntos de agua por cuencas hidrográficas.

Estos mapas se han realizado para el conjunto de España y para cada una de las demarcaciones excepto las de las Islas Canarias por no haberse podido recopilar suficientes datos durante el desarrollo del proyecto.

METODOLOGÍA DESARROLLADA

Para llevar a cabo el proyecto, se desarrolló un esquema metodológico compuesto por los siguientes elementos y líneas de trabajo:

- La unidad básica para la elaboración de las líneas isopiezas ha sido la Masa de Agua Subterránea (MASb). Para la delimitación de las MASb se ha utilizado la versión de la cartografía manejada por el IGME, de enero de 2009.
- Tanto las denominaciones de demarcaciones y de masas de agua como los límites de estas son los establecidos en las fechas de realización del proyecto.
- La cartografía de las masas se ha representado en un SIG compatible con Arcview, empleando una base topográfica del Modelo Digital del Terreno 100x100. También se ha usado como base la red hidrográfica del CEDEX.
- Para la elaboración del mapa piezométrico del período de referencia se ha utilizado en su mayor parte la información disponible en la *Base de Datos de Puntos de Aguas del IGME* (niveles piezométricos en captaciones verticales y cotas de surgencia de agua de manantiales), siendo estos datos referidos, en general, a los inventarios de puntos de agua llevados a cabo dentro del *Programa de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS)*, así como a estudios hidrogeológicos posteriores de ámbito regional o local. Complementariamente, en casi todas las cuencas, se ha utilizado información piezométrica procedentes de informes del Servicio Geológico de Obras Públicas, cuando dicha información estaba disponible.
- Se han analizado todos los puntos que disponen de datos de niveles registrados, clasificándolos por unidades hidrogeológicas (división existente con ante-

rrioridad a la de las masas de agua y que es la asignada a cada punto de la Base de Datos de Aguas Subterráneas del IGME) y por años. Sobre una primera selección se ha efectuado una revisión y filtrado para eliminar los datos repetitivos en una misma captación (las pertenecientes, en su momento, a redes de control piezométrico) y los correspondientes a captaciones con poca o ninguna representatividad hidrogeológica (normalmente pozos excavados de poca profundidad) en las UH cuyos acuíferos corresponden a formaciones consolidadas.

Este proceso ha permitido seleccionar para cada unidad hidrogeológica el año en que existía un mayor número de medidas realmente representativas, y, a partir del conjunto de unidades hidrogeológicas por cuenca, establecer el periodo de años correspondiente al estado de referencia. Normalmente, los datos utilizados son, como ya se ha comentado, en su gran mayoría, procedentes de los inventarios realizados en el PIAS (Programa de Investigación de Aguas Subterráneas). Los puntos seleccionados, con sus datos de localización topográfica (X, Y, Z) y nivel piezométrico se incorporaron a la base de Masas de Aguas Subterráneas asociadas al SIG del IGME. De esta forma quedaron clasificadas por masas en lugar de por unidades hidrogeológicas.

— De la misma forma que para puntos de agua con nivel, se ha procedido con los manantiales registrados en la base de datos del IGME, de forma que se han seleccionado todos los que disponían de alguna información correspondiente al periodo de trabajo. Los manantiales, con sus datos de localización geográfica (X, Y, Z), también han sido incorporados a la base de Masas de Aguas Subterráneas del SIG.

— Para el mapa de “estado actual” –mayo de 2008–, con carácter general se han empleado los datos de la campaña de medidas de niveles en la *red piezométrica oficial de la Dirección General del Agua*, disponibles en la web del Ministerio, complementados ocasionalmente con datos suministrados por Confederaciones Hidrográficas como Guadiana o Guadalquivir. Además, para las demarcaciones hi-

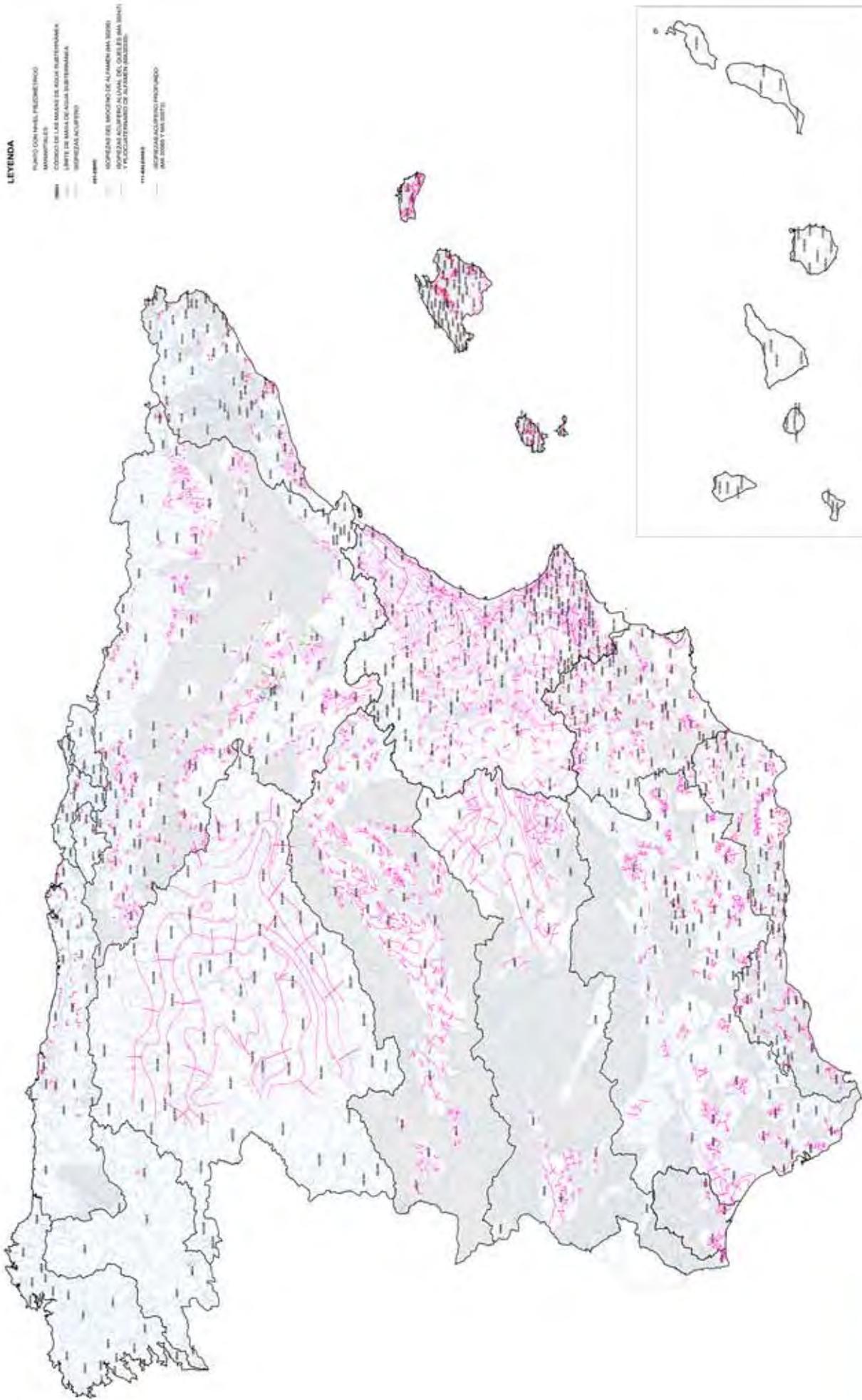
drográficas con cuencas no intercomunitarias, se han utilizado los datos de las redes oficiales de control piezométrico de los organismos autonómicos responsables de la gestión del agua: Agencia Vasca del Agua (AVA) del Gobierno Vasco, Agencia Catalana del Agua (ACA) de la Generalitat de Catalunya, Agencia Andaluza del Agua del Gobierno de Andalucía, Dirección General de Recursos Hidráulicos (DGRH) del Govern Balear y Consejos Insulares de Aguas de las Islas Canarias.

- Para cada masa de agua se ha elaborado mediante una herramienta IDW (Interpolación por distancia inversa ponderada) de ARGIS 9.2, una primera aproximación de las isolíneas de igual cota del agua subterránea (isopiezas). Esta elaboración automática de isolíneas ha sido corregida posteriormente de forma manual, aplicando los criterios hidrogeológicos e hidrogeológicos propios de la naturaleza de las masas.
- Las correcciones manuales de las isolíneas se han digitalizado e incorporado a Arcview, integrándose en agrupaciones continuas de masas de agua subterránea con características hidrogeológicas homogéneas. Estas agrupaciones en casi todos los casos son aproximadamente equivalentes a las antiguas Unidades Hidrogeológicas y ha servido de base a la última revisión de isolíneas, antes de su integración en el conjunto de la Cuenca Hidrográfica.

En las zonas con una densidad significativa de puntos de medida de nivel, las isolíneas se han representado con trazo continuo. En las zonas con medidas muy dispersas o sin medidas, la isolínea interpolada se ha representado con líneas de puntos.

- Con las isolíneas ya integradas en este conjunto se procedió a una última revisión por contraste con el Modelo Digital del Terreno MDT 100x100 y al análisis de la relación entre acuíferos y ríos.
- El paso final fue el trazado de las líneas principales de flujo y la preparación de ficheros para su edición.

Se representa el mapa de España en condiciones no influenciadas y el correspondiente al año 2008.



DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE GALICIA COSTA

Mapa de referencia (Periodo 1982-1991)

Para esta cuenca, que en su totalidad ha estado incluida tradicionalmente en las zonas sin acuíferos o con acuíferos aislados (UH 99), se han analizado todos los puntos que tienen datos de niveles registrados en dicha unidad hidrogeológica, según la división en unidades hidrogeológicas existente con anterioridad a la de las masas de agua y que es la asignada a cada punto de la Base de Datos de Aguas Subterráneas del IGME). Teniendo en cuenta que se trata de una zona sin acuíferos importantes, los datos disponibles son únicos puesto que corresponden a inventarios realizados en estudios locales y no a controles más o menos sistemáticos. Ello da lugar a que el periodo de representación esté determinado estrictamente por la disponibilidad de datos, sin que haya existido posibilidad de seleccionar un periodo más reducido: el período resultante para la cuenca es el 1982-1991. El total de puntos seleccionados es de 30.

De la misma forma que para puntos de agua con nivel, se ha procedido con los manantiales registrados en la base de datos del IGME, de forma que se han seleccionado todos los que disponía de alguna información correspondiente a los años 1982-1991, en total cuatro, que corresponden a descargas aisladas, sin representatividad de cara al trazado de isopiezas.

Solamente en dos masas de agua subterránea ha sido posible el trazado de una isopiezas y circunscritas a dos acuíferos aluviales de muy pequeña extensión.

Mapa del estado actual (Mayo 2008)

En la red piezométrica oficial de la Dirección General de Aguas, para el mes de mayo de 2008 no existe ningún punto de control localizado en esta cuenca.

Al no existir en la documentación consultada inventarios actuales de manantiales, no se han representado éstos en el mapa piezométrico.

Esquema de flujo y evolución

Las isopiezas trazadas corresponden en los dos casos a pequeños acuíferos aluviales con funcionamiento hidrodinámico ligado al río correspondiente. Se trata pues de flujos convergentes hacia los cauces según una directriz principal coincidente con las de los ríos respectivos.

Las áreas de recarga coinciden con toda la superficie de los acuíferos.

La mayor parte del territorio de la cuenca está ocupado por materiales considerados tradicionalmente como impermeables (granitoides y metasedimentos del Dominio Hercínico).

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL

Mapa de referencia (Periodo 1986-1992)

Para la Cuenca Hidrográfica Miño-Sil, que ha estado incluida tradicionalmente en las zonas sin acuíferos o con acuíferos aislados, los datos disponibles son únicos y corresponden a inventarios realizados en estudios locales o regionales y no a controles más o menos sistemáticos. Ello da lugar a que el periodo de representación esté determinado estrictamente por la disponibilidad de datos, sin que haya existido posibilidad de seleccionar un periodo más reducido: el período seleccionado para la cuenca es el 1986-1992. El total de puntos seleccionados es de 216.

Se han seleccionado todos los manantiales con caudal superior a 20 L/s de los que se disponía de alguna información correspondiente a los años 1986-1992: en total tres, que corresponden a descargas aisladas, sin representatividad de cara al trazado de isopiezas.

Con los datos disponibles, únicamente ha sido posible el trazado de isopiezas en dos masas de agua subterránea, 30673 y 30678.

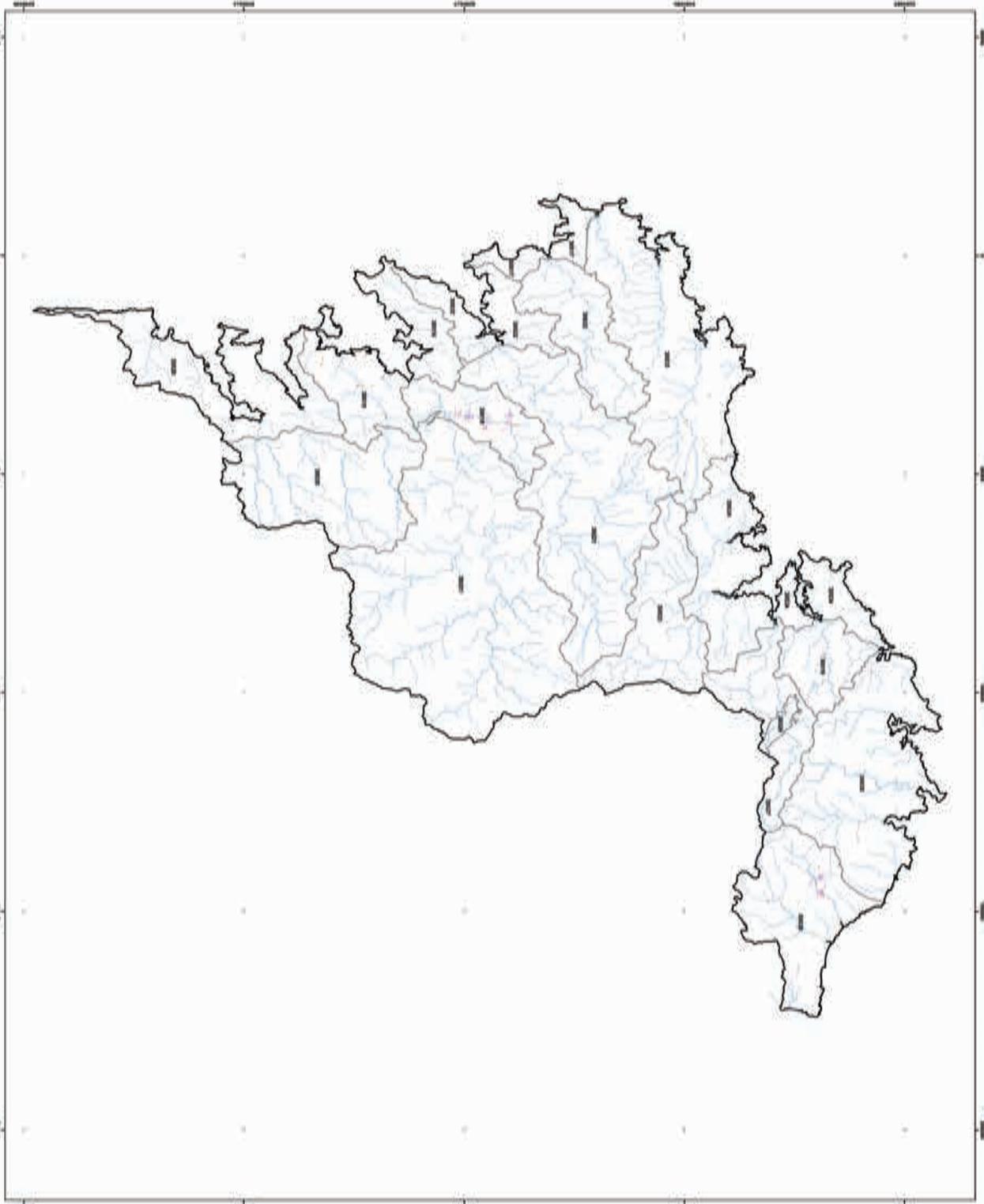
Mapa del estado actual (Mayo 2008)

El número de puntos de agua controlados en la red de la DGA para mayo de 2008 es de 8, repartidos entre las masas de agua subterránea 30673 (3 datos), 30674 (2 datos) y 30678 (3 datos). Es decir, aunque con muy escaso apoyo, se han dibujado isopiezas para tres masas de agua.

Al no existir en la documentación consultada inventarios actuales de manantiales, no se han representado éstos en el mapa piezométrico.

Esquema de flujo y evolución

Las isopiezas trazadas corresponden en todos los casos a acuíferos aluviales con funcionamiento hi-



LEYENDA

- PUNTO CON NIVEL PIEZOMÉTRICO
- BARRIALES
- LÍMITE DE BARRIO DE LAS BARRIAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
- LÍMITE DE BARRIO DE AGUA SUBTERRÁNEA
- SOMBREADO ACUÍFERO

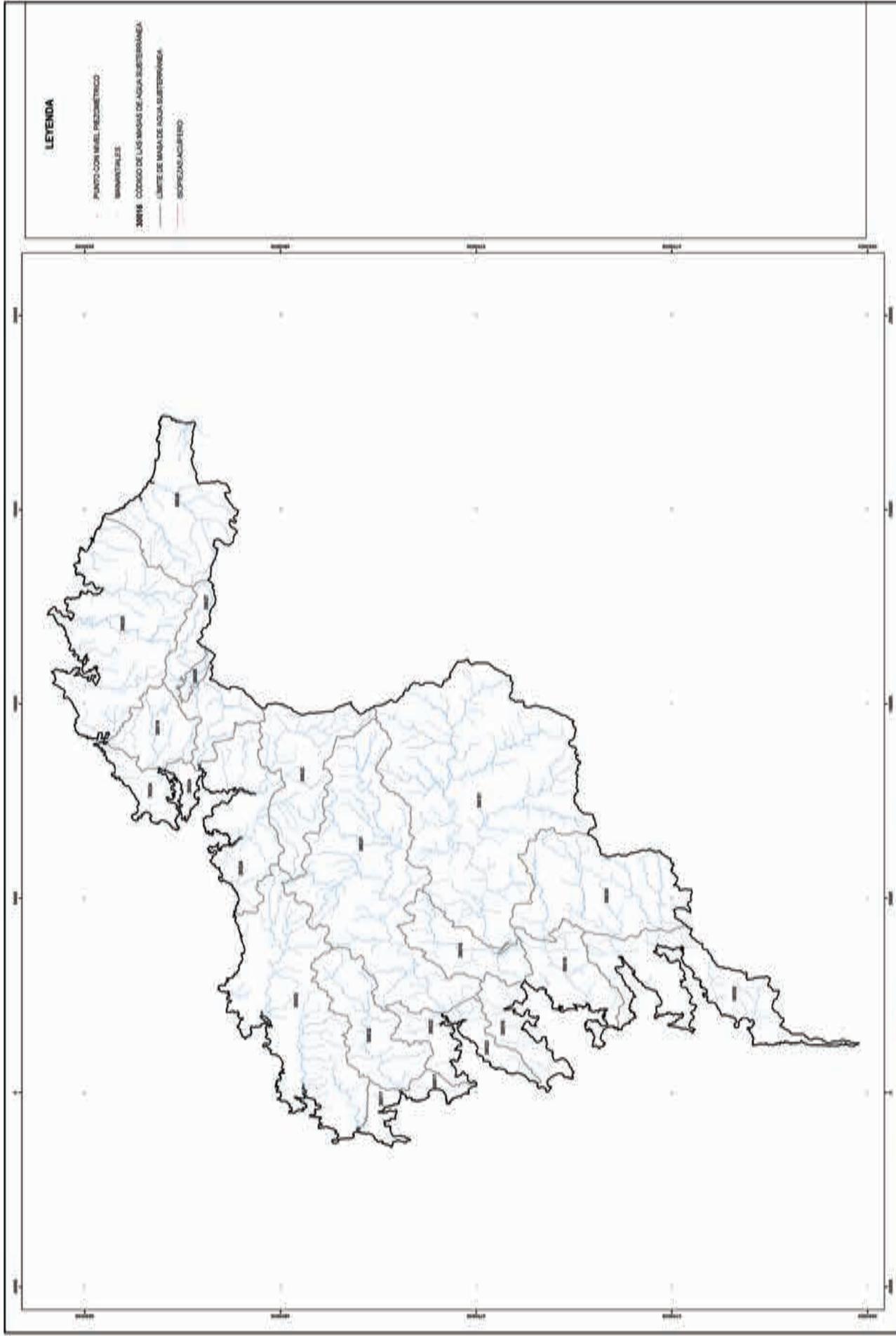


GOBIERNO DE ESPAÑA
 MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

ENCUENENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO
 A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
 ACTIVIDAD 5. ELABORACIÓN DEL MAPA PIEZOMÉTRICO DE ESPAÑA

OIENCA GALICIA COSTA
 PERÍODO: 1971-1995
 CÓDIGO MAPK: EG05_014_MAP_71_95

JULIO 2009



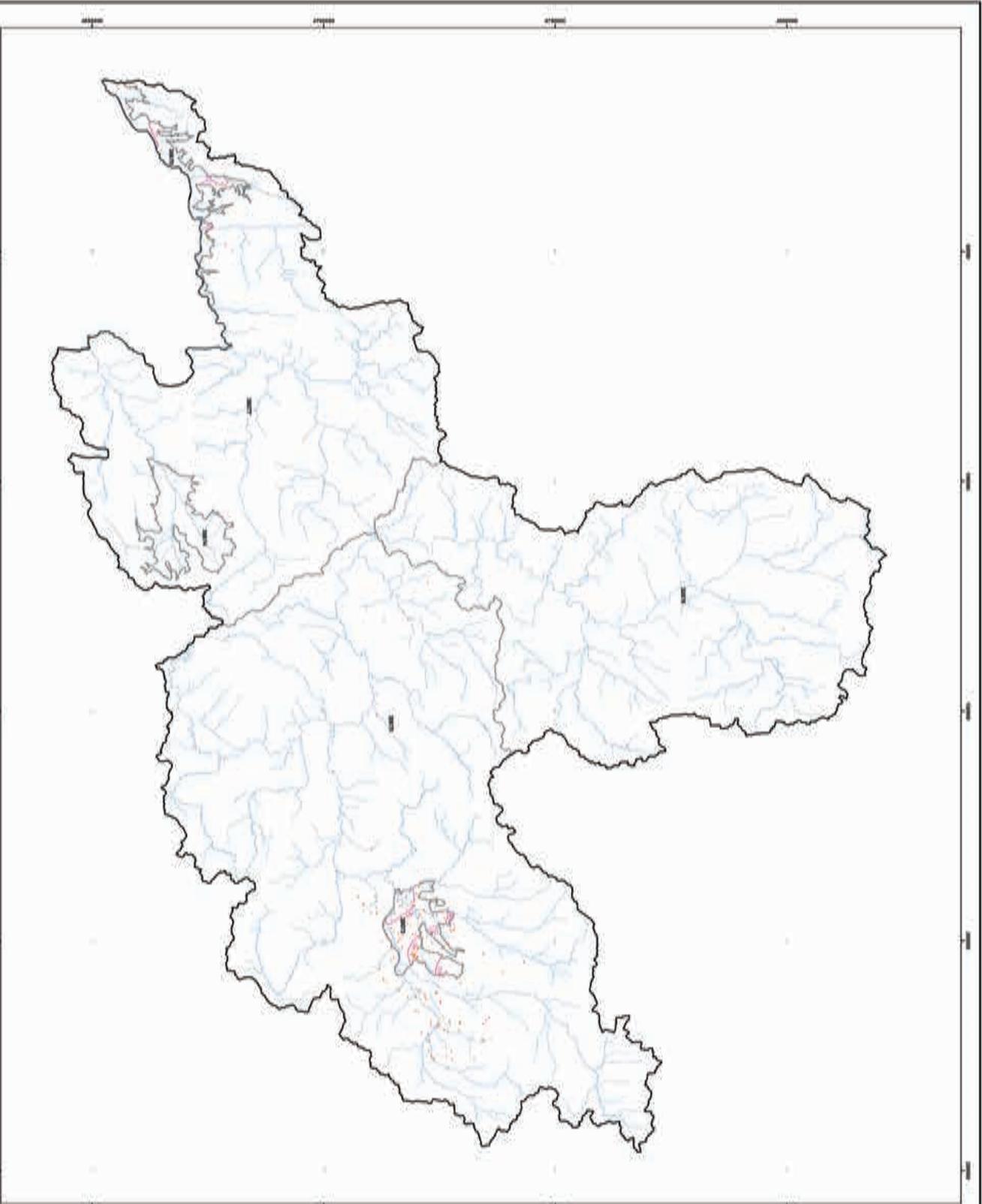
LEYENDA

- PUNTO CON NIVEL PIEZOMÉTRICO
- RÍOS
- CÓRSGO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
- LÍMITE DE MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA
- SOBRESALZADO

ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO
 A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
 ACTIVIDAD 5. ELABORACIÓN DEL MAPA PIEZOMÉTRICO DE ESPAÑA

CIENCIA GALICIA COSTA
 PERÍODO: MAYO 2008
 CÓDIGO MAPA: EG05_014_MAP_71_93

JULIO 2008



LEYENDA

- PÁRAMO DEL PEZOMETRICO MUNICIPAL
- 30873 CÓDIGO DE LAS BARRAS DE AGUA SUBTERRANEA
- LÍMITE DE RED DE AGUA SUBTERRANEA
- BARRAS ACUÍFERO



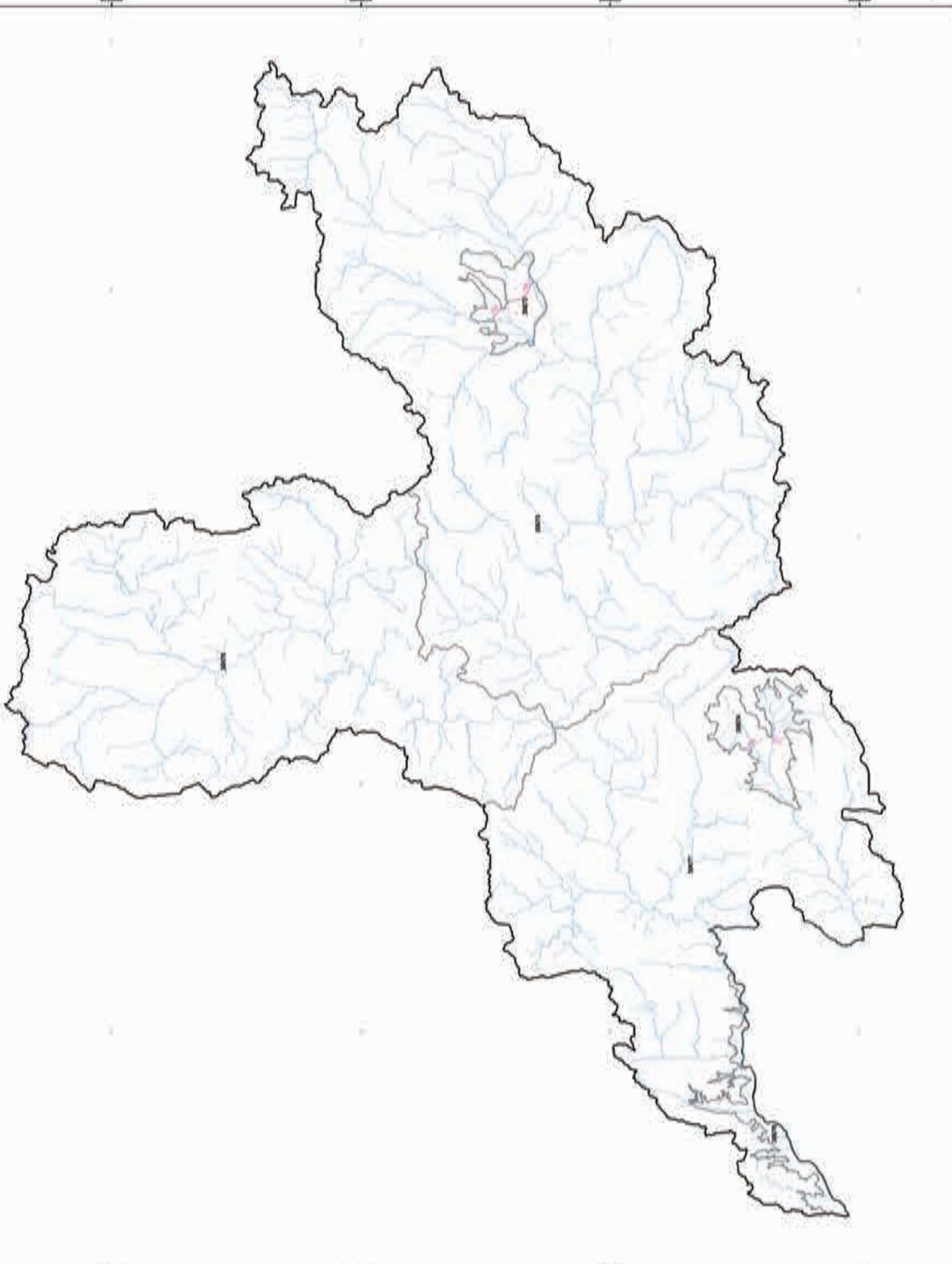
ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRANIAS
 ACTIVIDAD 5: ELABORACIÓN DEL MAPA PEZOMETRICO DE ESPAÑA

CUENCA DEL MIÑO-SIL
 PERIODO: 1971-1993
 CÓDIGO MAPA: EG05_011_MAP_71_93

JULIO 2009

LEYENDA

- PUNTO CON NIVEL PIEZOMÉTRICO
- MANANTIALES
- 30073 CÓDIGO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
- LIMITE DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
- SOBRESZACUADORO



drodinámico ligado al río correspondiente. Se trata pues de flujos convergentes hacia los cauces según una directriz principal coincidente con las de los ríos respectivos.

Las áreas de recarga coinciden con toda la superficie de los acuíferos.

La mayor parte del territorio de la cuenca está ocupado por materiales considerados tradicionalmente como impermeables (granitoides y metasedimentos del Dominio Hercínico), con algún acuífero aislado en formaciones carbonatadas paleozoicas o en rellenos detríticos de fosas tectónicas terciarias, como es el caso de las masas 30673 y 30674, o en depósitos aluviales, caso de la masa 30678.

Salvo en la masa 30673 (Cubeta del Bierzo) no es posible analizar la variación del nivel piezométrico entre las isopiezas de los dos periodos seleccionados. Se observa un apreciable descenso de nivel en torno a los 50 m, si bien este valor debe ser tomado con reservas puesto que las isopiezas actuales se han trazado solamente con tres puntos de apoyo.

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO

Mapa de referencia (Período 1968-1989)

La clasificación de datos por unidades hidrogeológicas y su posterior análisis y filtrado han dado lugar a un periodo de referencia muy amplio, debido a la dispersión de los datos disponibles, que es consecuencia de que el PIAS no fue realizado de forma simultánea en todo el ámbito incluido en la antigua Cuenca Norte, en buena medida porque se trata de un territorio con abundantes recursos de agua superficial en el que la explotación de agua subterránea se ha centrado tradicionalmente en los manantiales. Los estudios generales de recursos hídricos subterráneos no comenzaron hasta finales de la década de 1970.

Es decir, el periodo de representación está determinado estrictamente por la disponibilidad de datos, sin que haya existido posibilidad de seleccionar un intervalo más reducido: el período seleccionado para la Cuenca del Cantábrico es el 1968-1989. El total de puntos disponibles en toda la cuenca es de 188, que se han reducido finalmente a 93 útiles después de un proceso de filtrado para eliminar los datos no representativos (normalmente pozos excavados de pequeña profundidad) o

repetitivos (de puntos pertenecientes a redes de control piezométrico).

De la misma forma que para puntos de agua con nivel, se ha procedido con los manantiales registrados en la base de datos del IGME, a los que se han añadido los que forman parte de la red de control de la Agencia Vasca del Agua. Considerando como representativos los que tienen caudales de descarga registrados en el inventario superiores a 20 L/s, se ha seleccionado un total de 215 manantiales.

En parte, por la pequeña dimensión de las estructuras acuíferas y, de otro lado, por la escasa información piezométrica existente, el mapa elaborado contiene un número muy reducido de familias de isopiezas, pero en todo caso se puede considerar lo más aproximado a un estado natural de las aguas subterráneas en la Cuenca, ya que representa las primeras campañas generales de medidas, realizadas en su ámbito.

Las isopiezas se complementan con líneas de flujo en los sectores acuíferos en que existe información para su trazado.

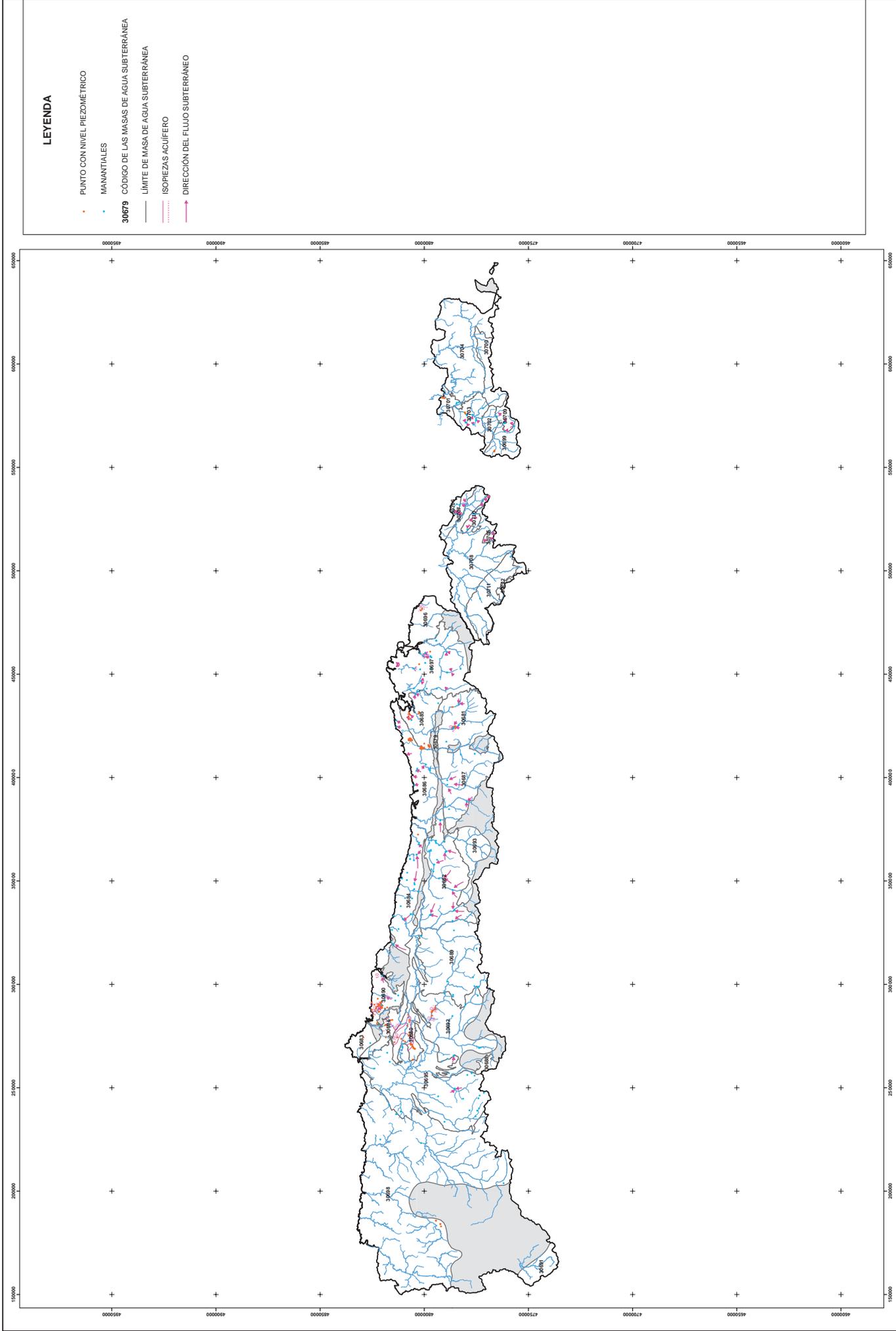
Mapa del estado actual (Mayo 2008) figura 8

Como ya se ha indicado el mapa piezométrico representativo de la situación actual ha sido elaborado por indicación de la Dirección General de Aguas, para el mes de mayo de 2008, con los datos de la red de control piezométrico existentes en la Web de la Dirección General de Aguas, a los que se han añadido los puntos de la red de control piezométrico de la Agencia Vasca del Agua (AVA).

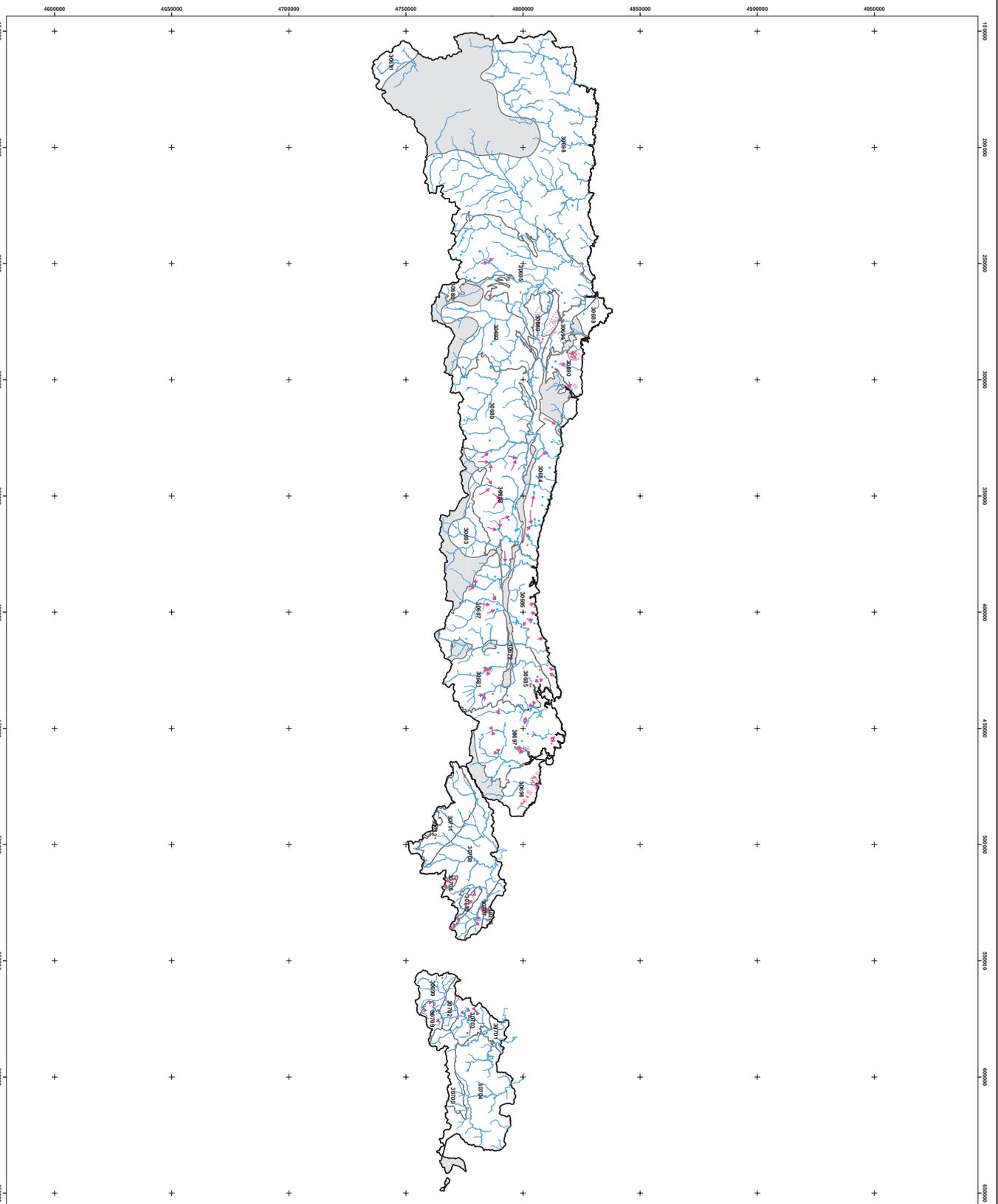
El número de puntos de agua de la red oficial de la DGA para mayo de 2008 es de 48, y el de la red oficial de la AVA es de 11. Es decir, en total existen 59 datos piezométricos para mayo de 2008.

En esta cuenca se han representado los mismos manantiales que para el periodo de referencia puesto que el escaso nivel de explotación determina que todos o la mayor parte sigan teniendo un régimen de funcionamiento poco diferente del natural.

La elaboración del mapa piezométrico de mayo de 2008 presenta las mismas limitaciones que el mapa de referencia, por lo que el trazado de isopiezas sólo ha podido ser realizado en cinco sectores aislados de cinco masas de agua.



 GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y TERRITORIO	DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA	ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	CUENCA DEL CANTÁBRICO PERIODO: 1968-1989	JULIO 2009
			ACTIVIDAD 5: ELABORACIÓN DEL MAPA PIEZOMÉTRICO DE ESPAÑA	CÓDIGO MAPA: EG05_016_MAP_68_89	



LEYENDA

- PUNTO CON NIVEL PIEZOMÉTRICO
- MANANTIALES
- 30679 CÓDIGO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
- LIMITE DE MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA
- ISOPEZAS ACUIFERO
- DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

Esquema de flujo y evolución

Teniendo en cuenta la compartimentación hidrogeológica de la cuenca, y tal como se observa en los mapas, es imposible identificar un sentido general de los flujos subterráneos: en algunos casos son convergentes hacia un cauce (caso de la masa 30680), pero lo más general es que los acuíferos principales (normalmente albergados en formaciones carbonatadas) tengan descargas individualizadas a través de manantiales localizados a cotas diversas en función de su relación con estructuras tectónicas o kársticas.

Las principales áreas impermeables de la Cuenca están localizadas en su extremo SO y corresponden a materiales metamórficos del Dominio Hercínico. En el resto de la Cuenca los materiales de baja permeabilidad, del Mesozoico y Terciario, se intercalan entre las estructuras acuíferas, independizándolas. En algunas zonas, la oficina de Planificación Hidrogeológica ha asignado masa de agua subterránea a zonas ocupadas mayoritariamente por materiales de baja permeabilidad con algún pequeño acuífero aislado en formaciones carbonatadas paleozoicas, tal es el caso de la masa Eo-Navia-Narcea.

Por la escasa información disponible, no es posible analizar la variación del nivel piezométrico entre las isopiezas de los dos periodos seleccionados a escala de cuenca. En los casos en que se dispone de isopiezas no se aprecian diferencias sensibles entre los estados piezométricos representados por los dos mapas.

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL PAIS VASCO

Mapa de referencia (Periodo 1983-1990)

Como en el caso de la cuenca del Cantábrico, el análisis de todos los puntos que tienen datos de niveles registrados, clasificándolos por unidades hidrogeológicas y año, da lugar a un periodo de referencia muy amplio, debido a la dispersión de los datos disponibles, que es consecuencia de que el PIAS no fue realizado de forma simultánea en todo el ámbito incluido en la antigua Cuenca Norte, en buena medida porque se trata de un territorio con abundantes recursos de agua superficial en el que la explotación de agua subterránea se ha centrado tradicionalmente en los manantiales. Los estudios generales de recursos hídricos subterráneos no comenzaron hasta finales de la década de 1970.

Es decir, el periodo de representación está determinado estrictamente por la disponibilidad de datos, de cualquier forma muy escasos, sin que haya existido posibilidad de seleccionar un intervalo más reducido: el periodo seleccionado para la Cuenca Hidrográfica de las Cuencas Internas del País Vasco es el 1983-1990. El total de puntos disponibles en toda la cuenca es de 10.

De la misma forma que para puntos de agua con nivel, se ha procedido con los manantiales registrados en la base de datos del IGME, a los que se han añadido los que forman parte de la red de control de la Agencia Vasca del Agua (AVA).

Considerando como representativos los que tienen caudales de descarga registrados en el inventario superiores a 20 L/s, se ha seleccionado un total de 31 manantiales.

En parte, por la pequeña dimensión de las estructuras acuíferas y, de otro lado, por la escasa información piezométrica existente, no es posible elaborar isopiezas, salvo en una zona aislada de la masa 3001. Las isopiezas se complementan con líneas de flujo en los sectores acuíferos en que existe información para su trazado, de modo que la representación se puede considerar aproximada a un estado natural de las aguas subterráneas en la Cuenca.

Dada la escasez de puntos, la elaboración de isopiezas ha sido manual, aplicando los criterios hidrogeológicos propios de la naturaleza de las masas.

Mapa del estado actual (Mayo 2008)

Como ya se ha indicado el mapa piezométrico representativo de la situación actual ha sido elaborado por indicación de la Dirección General de Aguas, para el mes de mayo de 2008, con los datos de la red de control piezométrico de la Agencia Vasca del Agua.

El número de puntos de agua de la red oficial de la AVA para mayo de 2008 es solamente de cinco.

En esta cuenca se han representado los mismos manantiales que para el periodo de referencia puesto que el escaso nivel de explotación determina que todos o la mayor parte sigan teniendo un régimen de funcionamiento poco diferente del natural.

Dado el mínimo número de datos disponible, la elaboración del mapa piezométrico de mayo de 2008 presenta aún más limitaciones que el mapa de referencia: es imposible el trazado de isopiezas.