

La protección del agua subterránea empleada para consumo humano y su integración en la ordenación del territorio

The protection of the groundwater used for human consumption and its integration in land management

Alberto Jiménez Madrid¹, Carlos Martínez Navarrete² y Francisco Carrasco Cantos³

¹ CRN Consultores, C/ Ríos Rosas, 19, 3º C Dcha, 28003 Madrid, España. ajimenez@crnconsultores.com

² Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid, España. c.martinez@igme.es

³ Departamento de Geología, Centro de Hidrogeología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga, España. fcarrasco@uma.es

ABSTRACT

Groundwater constitutes a reservoir of essential importance for human supply. For this, it is necessary to establish suitable protection measures in order to achieve the requirements of the Water Framework Directive. The objective of this paper is to complement a methodology to define safeguard zones for the protection of carbonate groundwater bodies intended for human consumption by means of the development of a cartography illustrating the permitted activities in its interior, in order to provide an effective tool in the management of the territory. The results obtained in a karst groundwater body in southern Spain show the percentage of land that must be protected to preserve the quality of water intended for human consumption, thus facilitating their future integration into adequate land use planning tools.

Key-words: Groundwater protection, safeguard zones, land management, Geographical Information Systems.

RESUMEN

El agua subterránea constituye una reserva de vital importancia para el abastecimiento de la población. Por ello, es necesario establecer medidas de protección adecuadas con objeto de cumplir con los requerimientos de la Directiva Marco del Agua. El objetivo de este artículo es complementar la metodología para la delimitación de zonas de salvaguarda como figura de protección de las masas de agua subterránea utilizadas para consumo humano mediante la elaboración de una cartografía de actividades permitidas en su interior, con objeto de dotarlas de una herramienta efectiva en la gestión del territorio. Los resultados obtenidos en una masa de agua carbonatada del sur de España muestran el porcentaje de territorio que debe ser protegido para conservar la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, facilitando así su futura integración en los instrumentos de planificación para una adecuada ordenación del territorio.

Palabras clave: Protección del agua subterránea, zonas de salvaguarda, ordenación del territorio, Sistemas de Información Geográfica.

Geogaceta, 52 (2012), 125-128.
ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 4 de febrero de 2012
Fecha de revisión: 26 de abril de 2012
Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

Introducción

La protección del agua subterránea es uno de los objetivos medioambientales prioritarios de las políticas europeas con la entrada en vigor, en el año 2000, de la Directiva Marco del Agua, DMA (Unión Europea, 2000), y, más específicamente en 2006, de la Directiva relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, Directiva de Aguas Subterráneas (Unión Europea, 2006).

De acuerdo con la DMA el empleo con garantías suficientes del agua subterránea para consumo humano es una necesidad ineludible, que obliga a disponer de sistemas de protección adecuados. La definición de

zonas de salvaguarda para alcanzar los requerimientos de las aguas de consumo humano es una medida opcional según el artículo 7.3, pero muy recomendable, ya que permite centralizar las medidas de protección con objeto de limitar el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas y reducir su tratamiento de purificación (Martínez-Navarrete *et al.*, 2011).

Además, como expresa Gómez Orea (2002), cualquier modelo de gestión del agua será insuficiente si no contempla las previsiones de un desarrollo territorial equilibrado y sostenible. El agua es fundamental en la ocupación del territorio por parte del hombre, por lo que el modelo territorial debe determinar la gestión del agua.

Para lograr todos los objetivos impuestos por la DMA e integrar la protección del agua subterránea en la ordenación del territorio, en este artículo se aborda la elaboración de una cartografía de actividades permitidas como herramienta directa en la toma de decisiones adecuadas respecto a la instalación de nuevas actividades, condicionamientos a las ya existentes o ubicación de nuevas captaciones de abastecimiento.

Metodología

Las zonas de salvaguarda son áreas en cuyo ámbito se centrarán las medidas de protección adecuadas para limitar el dete-

rioro de la calidad de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano y reducir su tratamiento de purificación. La DMA contempla establecerlas, de manera opcional, en su artículo 7.3. Es una opción muy recomendable debido al gran tamaño de algunas masas de agua subterránea en la mayoría de los Estados miembros de la Unión Europea.

En Jiménez-Madrid *et al.* (2011) se presenta una metodología para la delimitación de zonas de salvaguarda como figura de protección de las masas de agua subterránea carbonatadas utilizadas para consumo humano. Para ello, en primer lugar, se evalúa el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (Índice RI) mediante la combinación de la caracterización de la intensidad de las presiones (Índice IP) y de la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación (Índice IV_{DRISTPI}). En segundo lugar se identifican las captaciones de abastecimiento existentes y se delimitan sus zonas de alimentación con objeto de priorizar en el territorio las medidas de protección a establecer. Por último, se integran los perímetros de protección existentes.

Una vez realizada la delimitación de zonas de salvaguarda se propone en este trabajo una cartografía de actividades permitidas como herramienta de aplicación directa en el territorio.

La cartografía de actividades permitidas se elabora en función del riesgo de contaminación evaluado para la totalidad de la masa de agua subterránea. Como base del procedimiento, es necesario caracterizar la intensidad de las presiones existentes conforme a los valores del índice IP que se muestran resumidos en la Tabla I, reclasificados a valores entre 1 (muy bajo) y 5 (muy alto), según los criterios argumentados en Jiménez-Madrid (2011). La vulnerabilidad a la contaminación como propiedad intrínseca del medio se evalúa entre 1 y 5 mediante el método DRISTPI (Jiménez-Madrid *et al.*, 2011).

La combinación de ambos parámetros permite obtener el riesgo de contaminación según la matriz de doble entrada (Tabla II), mediante el siguiente producto:

$$IP \text{ existente} \times IV_{DRISTPI} = RI \text{ existente}$$

Tal y como se puede observar en la Tabla II, se proponen 5 clases de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

La elaboración de la cartografía de ac-

PRESIÓN	INTENSIDAD PRESIÓN	
	Mínima	Máxima
Actividades urbanas	35 EDAR	75 Punto Limpio
Actividades industriales	25 Cantera	100 Residuos nucleares
Actividades agrícolas	15 Jardines	60 Riesgo con aguas residuales
Actividades ganaderas	25 Pastoreo	45 Vertido de purines

Tabla I.- Resumen de presiones y su intensidad de presión. Índice IP (Jiménez-Madrid, 2011)

Table I.- Pressures and its intensity, IP Index.

tividades permitidas está basada en la siguiente desigualdad:

$$(IP \text{ existente} + IP \text{ permitido}) \times IV_{DRISTPI} \leq RI \text{ moderado}$$

Se trata de admitir en cada zona las actividades cuya intensidad de presión (Tabla I) sumada a la intensidad de presión de las actividades existentes no superen el valor medio (12) del índice RI, correspondiente a un riesgo moderado a la contaminación.

La integración de toda la información mediante herramientas de análisis espacial de un sistema de información geográfica, así como la aplicación de los algoritmos necesarios, permite la generación de una cartografía de actividades permitidas mediante la cual se podrá ordenar el territorio en cada celda, con objeto de proteger las aguas subterráneas empleadas para consumo humano y realizar una gestión adecuada del territorio.

Se propone diferenciar seis clases de actividades permitidas en el interior de las zonas de salvaguarda:

Clase 0: Valores negativos y 0. No se permiten más actividades

Clase 1: Se permiten aquellas actividades cuyo índice IP acumulado con el de las presiones existentes no supere el valor de 19.

Clase 2: Se permiten aquellas actividades cuyo índice IP acumulado con el de las presiones existentes no supere el valor de 39.

Clase 3: Se permiten aquellas actividades cuyo índice IP acumulado con el de las presiones existentes no supere el valor de 59.

Clase 4: Se permiten aquellas actividades cuyo índice IP acumulado con el de las presiones existentes no supere el valor de 79.

Clase 5: Se permiten todas las actividades siempre que el índice IP acumulado con el de las presiones existentes no supere el valor de 100.

Para obtener la cartografía de actividades permitidas se han utilizado los resultados de los índices IP, IV_{DRISTPI} y RI propuestos por Jiménez-Madrid *et al.* (2011) aunque es necesario resaltar que en el procedimiento se puede utilizar cualquiera de los índices y métodos existentes para evaluar la peligrosidad de las presiones y la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación siempre y cuando sus resultados sean reclasificados a valores entre 1 (muy bajo) y 5 (muy alto).

Para la determinación del índice IP tanto de las presiones existentes como de las actividades permitidas de una zona determinada es necesario sumar el índice de cada una de ellas y considerar además el número de las actividades presentes ya que la instalación de una determinada actividad con su índice IP no afecta de igual manera que si se instalan diez actividades del mismo tipo en el mismo lugar.

PRESIONES (Índice IP)	ÍNDICE RI	VULNERABILIDAD (Índice DRISTPI)					CLASES DE RIESGO
		1	2	3	4	5	
1	1	1	2	3	4	5	MUY BAJO
2	2	2	4	6	8	10	BAJO
3	3	3	6	9	12	15	MODERADO
4	4	4	8	12	16	20	ALTO
5	5	5	10	15	20	25	MUY ALTO

Tabla II.- Evaluación del riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas (Índice RI tomado de Jiménez-Madrid, 2011)

Table II.- Evaluation of groundwater pollution risk (RI Index after Jiménez-Madrid, 2011).

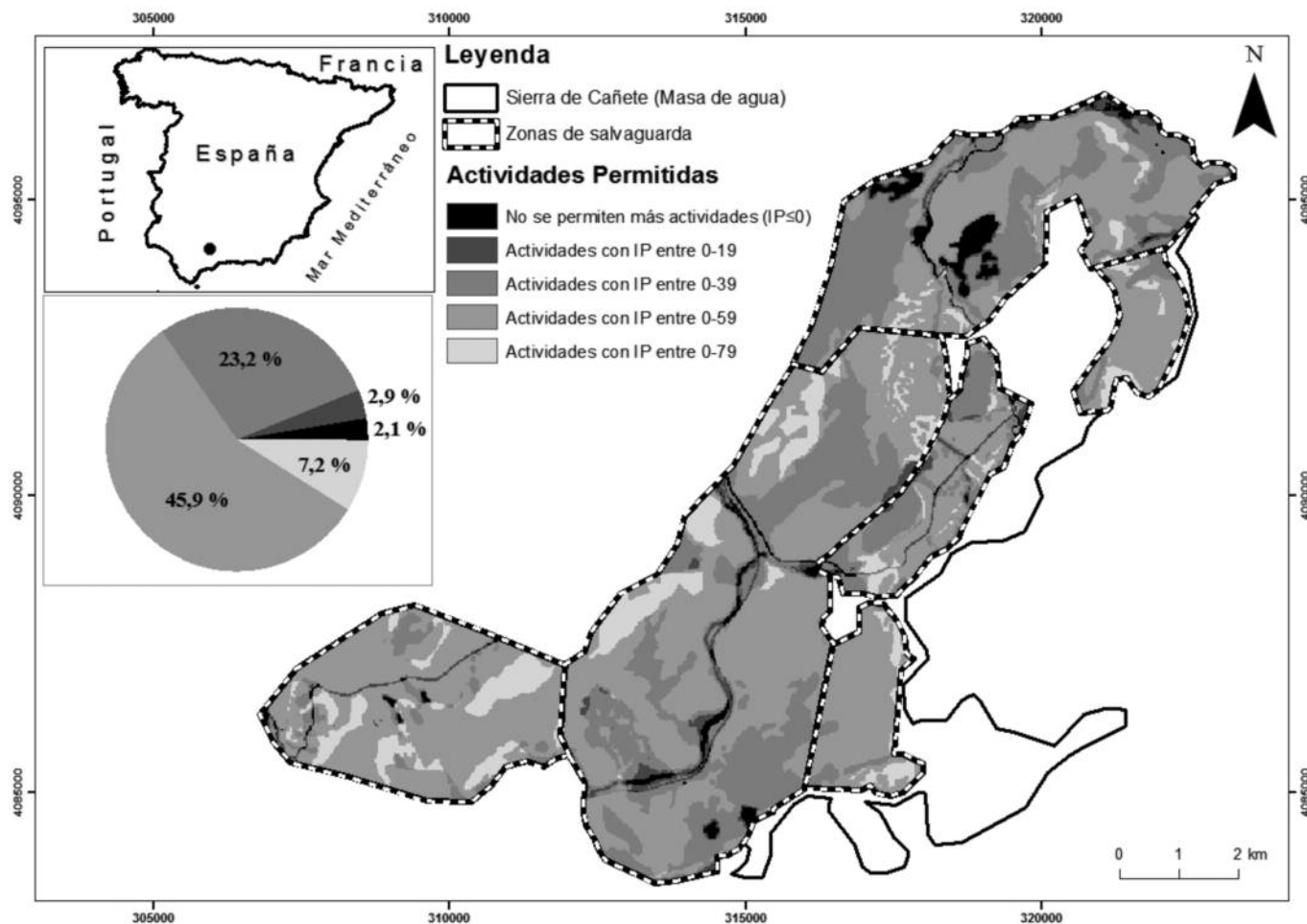


Fig. 1.- Cartografía de actividades permitidas en la Sierra de Cañete.

Fig. 1.- Cartography illustrating the permitted activities in Sierra de Cañete.

Resultados

Se ha seleccionado la Sierra de Cañete como zona de estudio. Se trata de un acuífero carbonatado situado en el sector noroccidental de la provincia de Málaga que se encuentra muy compartimentado y cuyos recursos hídricos subterráneos se utilizan para el abastecimiento de 8 municipios de su entorno.

En la Figura 1 se muestra la cartografía de actividades permitidas, con la metodología propuesta, en la Sierra de Cañete. Según los resultados obtenidos, el 82 % del territorio de la zona de estudio constituye zona de salvaguarda con diferente grado de restricciones. Predominantemente, en la Sierra de Cañete se permite la instalación de actividades con un IP moderado o menor (45,9 % de la superficie).

Como se puede observar en la Figura 1, el 2,1 % de la superficie no admite la realización de ninguna actividad. Esta clase de

valor 0 se localiza, principalmente, en las canteras donde se produce una infiltración preferencial y existen actividades contaminantes en la actualidad. Las zonas que permiten sólo la ubicación de actividades con una intensidad de presión muy baja (2,9 % de la superficie) se extienden por los cauces de los ríos donde se producen fenómenos de infiltración y en la parte noroccidental de la zona de estudio donde el espesor de la zona no saturada es pequeño y por lo tanto el acuífero es más vulnerable ante un posible evento de contaminación.

El 23,2 % del territorio está catalogado con clase 2, es decir, permite la realización de actividades con una intensidad de presión baja o muy baja. Esta clase de actividades permitidas se localiza en el afloramiento carbonatado donde ya existen zonas de pastoreo. Se incluyen en esta categoría los campos de lapiaz de las Sierras del Padrastro y Padrastrillo. El resto de los materiales calizos donde en la actualidad la pre-

sencia de presiones es inexistente (45,9 % de la superficie), permite la realización de actividades con un IP moderado o menor.

La clase 4 de actividades permitidas se extiende por el 7,2 % del territorio donde afloran los materiales de más baja permeabilidad y por lo tanto menor vulnerabilidad a la contaminación. La clase 5 que permite la realización de las actividades con una intensidad de presión mayor de 79 no está representada en la Sierra de Cañete.

Conclusiones

La ordenación del territorio pretende coordinar y armonizar las políticas con incidencia en el territorio. El agua, como recurso imprescindible para el desarrollo de la vida, así como su protección, debe convertirse en uno de los pilares básicos de gestión de las diversas políticas territoriales.

Como estrategia de prevención destaca la delimitación de zonas de salvaguarda,

que son áreas donde se centrarán las medidas de protección adecuadas para limitar el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano y reducir su tratamiento de purificación.

Aún así, las zonas de salvaguarda delimitadas deben ser integradas en la ordenación del territorio. Con este objetivo, se ha propuesto una metodología para elaborar una cartografía de actividades permitidas mediante la cual se establecerán recomendaciones y se propondrán restricciones y prohibiciones con objeto de no deteriorar las aguas empleadas para consumo humano.

La realización de la cartografía de actividades permitidas está basada en el uso de la matriz de doble entrada utilizada para evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Como base del procedimiento es necesario calcular un índice IP (intensidad de las presiones) en combinación con el índice $IV_{DRISTPI}$ (vulnerabilidad intrínseca a la contaminación) para caracterizar el riesgo de contaminación.

La aplicación de los algoritmos propuestos, mediante herramientas de análisis espacial de un sistema de información geográfica, ha permitido obtener cinco clases de actividades permitidas con diferente grado de restricciones y una clase 0 en cuya representación espacial no se permite la instalación de nuevas actividades. Cada una de las clases establecidas estará acompa-

ñada de un listado de actividades permitidas en función de su índice IP (Jiménez-Madrid, 2011).

La metodología propuesta para la obtención de la cartografía de actividades permitidas ha sido aplicada en la Sierra de Cañete. Los resultados preliminares muestran el predominio de la clase 2 que permite la instalación de actividades con un índice IP moderado o menor.

Para garantizar su efectividad, es indispensable la inclusión de la cartografía de actividades permitidas en los planes de ordenación del territorio. Para ello, estas zonas de protección deben estar contempladas en el Programa de medidas para ser consideradas por el Comité de Autoridades Competentes durante el nuevo proceso de planificación hidrológica vigente.

La puesta en marcha de estas medidas de protección desencadenará en un impacto económico relacionado principalmente con el cambio de usos del suelo que producirá a su vez un impacto social que puede provocar desequilibrios territoriales que deben ser valorados.

Sin embargo, se considera que la delimitación de zonas de salvaguarda para proteger las aguas subterráneas empleadas para consumo humano y la consideración de la cartografía de actividades permitidas como estrategia preventiva es una herramienta muy útil y beneficiosa para la población.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto de I+D CGL2008-04938 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España y a la Unidad Asociada IGME-GHUMA "Estudios Hidrogeológicos Avanzados".

Referencias

- Gómez Orea, D. (2002). *Ordenación territorial*. Mundi Prensa y Ed. Agrícola Española, 704 p.
- Jiménez-Madrid, A. (2011). *Estudio metodológico para el establecimiento de zonas de salvaguarda en masas de agua en acuíferos carbonatados utilizadas para consumo humano. Aplicación de la Directiva Marco del Agua*. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, 435 p.
- Jiménez-Madrid, A., Carrasco-Cantos, F. y Martínez-Navarrete, C. (2011). *Environmental Earth Science*, 65, 2391-2406.
- Martínez-Navarrete, C., Jiménez-Madrid, A., Sánchez-Navarro, I., Carrasco-Cantos, F. y Moreno-Merino, L. (2011). *International Journal of Water Resources Development*, 27, 227-243.
- Unión Europea (2000). *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* (<http://ec.europa.eu>).
- Unión Europea (2006). *Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de Diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro* (<http://ec.europa.eu>).