

# **PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DE ZONAS DE SALVAGUARDA EN ACUÍFEROS DETRÍTICOS. APLICACIÓN A LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL BAJO GUADALHORCE<sup>1</sup>**

VIRGINIA JIMÉNEZ DONAIRE

## **RESUMEN**

La masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce está emplazada en un área de gran interés a nivel industrial, turístico y poblacional, debido al desarrollo de la actividad humana. En las últimas décadas se ha observado una transformación en el territorio (cambio de uso del suelo, ampliación de zonas industriales y urbanizables en detrimento de la agricultura, crecimiento de la agricultura intensiva, impacto del turismo de sol y playa, aumento demográfico). De una forma u otra, estas actividades han generado una serie de problemas en la calidad y cantidad de agua subterránea en esta zona de estudio. En el presente trabajo se plantea un estudio para la protección de las aguas subterráneas en acuíferos detríticos, que consiste en delimitar zonas de salvaguarda para captaciones de consumo humano en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce. Para que sea efectivo, es necesario realizar estudios con indicación del riesgo de contaminación de acuíferos, los recursos hídricos que van a ser protegidos y las actividades que se recomiendan controlar o prohibir en las diferentes zonas de protección o de salvaguarda; así como una propuesta en la ordenación territorial para un uso y gestión sostenibles del agua subterránea, que permita su conservación de una manera más eficiente que la actual.

## **ABSTRACT**

The Lower Guadalhorce aquifer is located in a very important area with a great number of industrial, tourist and urban water supplies points, due to human activities development. In the last decades, different transformations have occurred in the landscape (i.e. land-use changes, development of urban and industrial activities, an evolution from the agriculture use, an increase of demography and a great impact from the tourism of sand, sun and sea). In any case, these activities have caused a variation in the volume and quality of groundwater in the study area. This paper considers the need to execute a study for groundwater protection in detrital aquifers, which focuses on defining a zoning strategy (safeguard zones) for human water consumption catchments. For this purpose to be effective is necessary to remark the

1. Esta investigación es una contribución al Proyecto CGL2008-04938 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España “La protección de las aguas subterráneas frente a la contaminación. Contribución al desarrollo de la Directiva 2006/118/CE de la Unión Europea”.

groundwater pollution risk, the water resources that are going to be protected, to focus the restrictions and control measures to protect the groundwater in the defined safeguard zones; as well as a land-use planning policies for a sustainable groundwater use and management that allows to preserve it in the most efficient way.

PALABRAS CLAVE: Masa de agua subterránea, acuíferos detríticos, protección, riesgo de contaminación, zonas de salvaguarda

KEYWORDS: Groundwater, detrital aquifers, protection, pollution risk, safeguard zones

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es uno de los recursos naturales más valiosos, ya que muchas poblaciones dependen de este recurso para abastecimiento urbano. Su disponibilidad depende, en gran medida, de la recarga de los acuíferos. Esta recarga proviene principalmente de la precipitación. La importancia del agua subterránea y su gestión ha sido abordada en diversos trabajos. Sin embargo, en la actualidad, según la UNESCO, existe una crisis en su gestión a nivel mundial, debido a un uso excesivo e incontrolado, así como una mala gestión de éste recurso; lo que ha derivado en un descenso en su calidad y cantidad (WWAP 2006 citado en Jiménez-Madrid 2011).

Andalucía, debido a las condiciones climáticas áridas y semiáridas y a los periodos de sequía que se producen cada cierto tiempo, dispone de recursos hídricos limitados, lo que obliga al conocimiento preciso de los mismos para llevar a cabo una planificación y gestión rigurosas. El continuo crecimiento de los sectores agrícola, industrial y turístico que en la actualidad tiene lugar en Andalucía, hace del agua el pilar básico para su desarrollo. El agua subterránea tiene un papel especialmente relevante en Andalucía por su importante grado de aprovechamiento. Se estima en 1.223 hm<sup>3</sup>/año el total de los recursos subterráneos explotados mediante captaciones. Sobre los 87.210 km<sup>2</sup> de la superficie andaluza, unos 20.600 km<sup>2</sup> (el 23.6% del total), corresponde a terrenos permeables que se distribuyen en 159 “masas de agua subterráneas” (López-Geta, Rubio-Campos y Martín-Machuca 2008).

La masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce se localiza en un área de gran interés a varios niveles (industrial, turístico y poblacional). En las últimas décadas se han producido varias transformaciones en el territorio (cambio de uso del suelo, ampliación de zonas industriales y urbanizables en detrimento de la agricultura, crecimiento de la agricultura intensiva, impacto del turismo de sol y playa, aumento demográfico), que han generado problemas en la calidad y cantidad de agua subterránea en esta zona de estudio, como por ejemplo:

- Contaminación por nitratos de origen agrario; debido al uso de fertilizantes en actividades agrícolas.
- Contaminación de origen industrial y otros; por vertidos industriales a las redes de saneamiento urbanas.
- Sobreexplotación de acuíferos, intrusión marina y otros procesos de salinización; ya sea por una mala gestión de los recursos, por exceso de volúmenes autorizados, por aprovechamientos irregulares, por falta de control en las extracciones, por la ausencia de comunidades de usuarios o por el escaso aprovechamiento de recursos no convencionales.

Todo ello ha afectado directa o indirectamente a la masa de agua subterránea, tanto en su calidad como en su cantidad. Por ello es necesario realizar un estudio para la protección de las aguas subterráneas; para que sea efectiva, es necesario realizar estudios con indicación del riesgo de contaminación de acuíferos, los recursos hídricos que van a ser protegidos y las actividades que se recomiendan controlar o prohibir en las diferentes zonas de protección o de salvaguarda; así como una propuesta en la ordenación territorial para un uso y gestión sostenibles del agua subterránea, que permita su conservación de una manera más eficiente que la actual.

La Directiva Marco del Agua, Directiva 2000/60/CE (DMA), ha adoptado esta filosofía de sostenibilidad en la gestión de los recursos mediante la imposición a los Estados miembros de la Unión Europea a elaborar los Planes Hidrológicos de Cuenca, con el requerimiento de una participación pública activa en el proceso de planificación y elaboración de los mismos.

La Agencia Andaluza del Agua, a través de su último informe publicado sobre el proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de cuencas mediterráneas en 2010, propone unas líneas de actuación y medidas que se pueden adoptar en una masa de agua para su mejor conservación:

- *Continuación de los Programas de actuación para la protección de las aguas contra la contaminación por nitratos de origen agrario en zonas vulnerables. Existen en toda la demarcación unos Programas de Actuación para Protección de las Aguas contra la Contaminación por Nitratos de Origen Agrario en Zonas Vulnerables (2015). Corresponde a la Zona Vulnerable nº7 “Bajo Guadalhorce”.*
- *Trabajo de localización y caracterización de los potenciales vertidos de las zonas industriales de Málaga. Definición de la actuación para resolver el problema de contaminación industrial que requeriría de trabajos previos para la localización y la caracterización de la causa, ya que la contaminación podría deberse a vertidos de calidad deficiente a la red de saneamiento y/o vertidos directos.*

- *Constitución de una comunidad de usuarios y elaboración del plan de explotación. La comunidad de usuarios deberá hacer un reparto adecuado de los recursos en función de las necesidades hídricas y el plan de explotación deberá tener en cuenta todos los recursos alternativos disponibles.*

Por ello, el objetivo general de este trabajo es la elaboración de una propuesta metodológica para la delimitación de zonas de salvaguarda con la finalidad de proteger la calidad de la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce destinada al consumo humano, según los requerimientos de la DMA.

Dicha propuesta, consta de tres bloques de análisis. En primer lugar es necesario evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas para toda la masa de agua, para ello se tendrá en cuenta la caracterización de las presiones y la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, ésta última utilizando los índices DRASTIC (Aller et. al. 1987) y DRISTPI (Jiménez-Madrid 2011). En segundo lugar, se identificarán las captaciones de abastecimiento existentes y se delimitarán sus zonas de alimentación, para así poder establecer medidas de protección en áreas concretas de la masa de agua. En un tercer bloque, dependiendo de la integración de los criterios anteriormente mencionados, se contemplará la delimitación de las zonas de salvaguarda para aguas de consumo humano con distinto grado de restricciones, así como una propuesta de zonas de salvaguarda a futuro. Por último, se abordarán medidas necesarias para integrar las zonas de salvaguarda en la ordenación del territorio. Con este objeto, se propondrá una cartografía de actividades permitidas dentro de las zonas de salvaguarda.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO**

La masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce está situada en la depresión del mismo nombre, al suroeste de la ciudad de Málaga, por la que circula el curso del bajo del Río Guadalhorce, y se extiende desde el desfiladero de El Chorro hasta la desembocadura del Río, en el Mar Mediterráneo (Figura 1). El área ocupa una extensión de 270 km<sup>2</sup>, entre los municipios de Álora, Pizarra y Cártama al Norte, Casarabonela, Coín y Alhaurín El Grande al Este, Alhaurín de la Torre, Málaga y Almogía al Oeste, y Torremolinos y Benalmádena al Sur; todas ellos comprendidos dentro del sistema acuífero del Bajo Guadalhorce. Limita al sur con la masa de agua subterránea de la Sierra de Mijas. Desde el punto de vista administrativo, se incluye dentro del ámbito de gestión de la Cuenca Mediterránea Andaluza (anteriormente Confederación Hidrográfica del Sur de España).

El relieve de la cuenca de Málaga presenta varias formas características según los condicionantes geológicos. Se pueden diferenciar tres zonas principales según Linares Girela, López-Geta y Parra y Alfaro (1988):

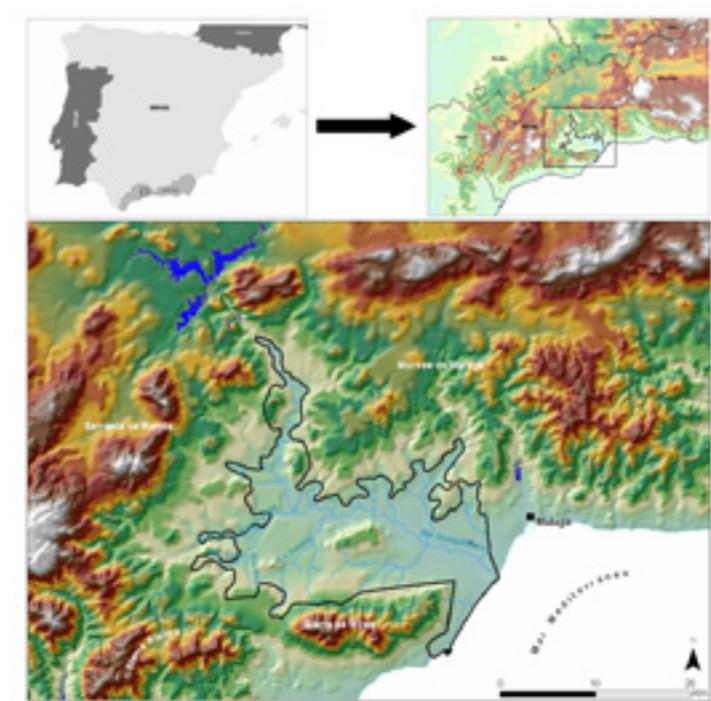
- La Vega del Río Guadalhorce, que es una zona plana, con altura media de 20 m sobre el nivel del mar y una extensión de 112 km<sup>2</sup>, ocupada en su totalidad por los aluviones del Río.
- Una zona intermedia, con cotas medias de 100 m y superficie de unos 200 km<sup>2</sup>, ondulada por suaves lomas sobre los blandos materiales que la constituyen. Destacan como alturas principales el Hacho de Álora (570 m) y la Cruz de Pizarra (482 m).
- Una zona más elevada, integrada por las Sierras de Cártama (407 m), Sierra de Gibralgalia (381 m), la Sierra de la Robla (554 m) y la Sierra de Aguas (949 m).

Desde el punto de vista regional, el acuífero del Bajo Guadalhorce se encuentra dentro del ámbito climático mediterráneo (Senciales-González 2007). Como tal, está caracterizado por una estación estival cálida y seca, entre los meses de mayo a septiembre, y un periodo menos caluroso y con mayores precipitaciones entre los meses de octubre a abril. El valor medio de temperatura oscila entre los 16-18°C. Presenta unas características muy particulares en lo referente al régimen de precipitaciones. La irregularidad y la torrencialidad de las mismas, tanto estacional como anual, son factores que van a determinar el comportamiento hidrogeológico de la zona y, por tanto, el análisis de la vulnerabilidad del acuífero. La irregularidad de las precipitaciones va a marcar fuertes variaciones en la piezometría del acuífero entre años húmedos y secos, que dan lugar a cambios en la vulnerabilidad de la contaminación del mismo. La precipitación media anual, para la estación del Aeropuerto en el periodo 1971-2000, es de 520 mm (Vadillo, Carrasco y Sánchez 2007).

Este sistema se encuentra en una de las depresiones terciarias, independizadas, dentro del conjunto de las Cordilleras Béticas, por lo que los materiales que lo constituyen son terciarios y cuaternarios postorogénicos, apoyados sobre un sustrato constituido por formaciones de edad comprendida entre el Paleozoico y el Oligoceno.

Los materiales pertenecientes al sustrato corresponden a las zonas internas de las Cordilleras Béticas (conjuntos Alpujárride y Maláguide), aunque en el Norte también hay unidades de Campo de Gibraltar y de la Dorsal (Unidad de las Nieves). Su estructura es compleja y consta básicamente de mantos de corrimiento superpuestos que se originaron durante la Orogenia Alpina. Los materiales postorogénicos más recientes, presentan una disposición estructural prácticamente horizontal, sin deformaciones importantes (Linares Girela, López-Geta y Parra y Alfaro, 1988).

**FIGURA Nº 1**  
**LOCALIZACIÓN DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL**  
**BAJO GUADALHORCE**



Desde el punto de vista hidrogeológico, el substrato de la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce está formado por materiales de baja permeabilidad alpujárrides, maláguides y del Flysch, excepto el borde sur (Sierra de Mijas), donde existen mármoles acuíferos. Los mármoles de la Sierra de Cártama, aunque también forman parte del substrato, se consideran integrados hidrogeológicamente en la masa de agua. Encima del substrato existen cuatro formaciones acuíferas principales: las calcarenitas y conglomerados del Mioceno Superior (acuífero mioceno), los conglomerados de la base de la formación pliocena (acuífero inferior plioceno), las intercalaciones arenosas de la parte alta de la serie margosa del Plioceno (acuífero superior plioceno) y el aluvial del cuaternario del Río Guadalhorce (acuífero cuaternario) (Vadillo, Carrasco y Sánchez 2007).

La topografía llana de la zona y la bondad del clima Mediterráneo han favorecido la agricultura de regadío (cítricos, hortalizas, caña de azúcar) cuyas necesidades de agua se cubren con las acequias de riego que gestiona la Cuen-

ca Mediterránea Andaluza (antigua Confederación Hidrográfica del Sur), aunque los agricultores de la zona suelen apoyar los riegos con agua subterránea extraída en sondeos. En los últimos años se han modificado las actividades implantadas en la superficie del acuífero, lo que ha ocasionado cambios en su balance hídrico y la aparición de riesgos de contaminación (Vadillo, Carrasco y Andreo, 2005). Gran parte de los terrenos utilizados históricamente para la agricultura en la vega del Guadalhorce están siendo ocupados por polígonos industriales, la construcción de instalaciones deportivas, implantación de grandes áreas, infraestructuras, acondicionamiento del cauce del Río Guadalhorce, la promoción de viviendas en antiguos terrenos agrícolas y la actual segunda pista para el aeropuerto internacional “Pablo Ruiz Picasso”. Todo ello ha provocado un cambio del uso del agua. El uso urbano del agua (incluyendo el abastecimiento de polígonos industriales) está aumentando en detrimento del uso agrícola tradicional. Actualmente, el agua destinada a uso agrícola sí se bombea del Bajo Guadalhorce, pero la que se utiliza para el abastecimiento urbano no, porque se ha producido un deterioro de calidad, que se deben fundamentalmente por (Andreo, et al. 2002): la salinización procedente del agua del embalse del Guadalhorce que se utiliza para regar la vega y por la intrusión marina que pueda ocurrir en la zona costera, la utilización de abonos y plaguicidas y la presencia de polígonos industriales cuya actividad genera sustancias no deseables en las aguas.

Con respecto a la calidad de las aguas de la masa de agua éstas están clasificadas como aguas muy duras con durezas de varios cientos de mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , y conductividades eléctricas que en general se mueven en el rango que va de 1.000 a 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , llegando a algún caso extremo con intrusión marina, a valores superiores a los 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estos elevados valores muestran problemas de exceso de salinidad siendo adecuadas únicamente para cultivos resistentes y aplicando sistemas de riego especialmente diseñados. Se trata de aguas de calidad mediocre, que en la mayor parte de las ocasiones no tiene calidad suficiente para ser empleada en el abastecimiento de poblaciones (Moreno 2007).

La masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce abarca, bien en su totalidad, bien en parte, 10 términos municipales, todos ellos pertenecientes a la provincia de Málaga. La población total incluida en la masa, asignado a aquellos núcleos que, como Málaga, tienen una parte fuera de la misma, se estima que asciende a 300.000 habitantes, calculado a partir del nomenclátor del año 2010 (INE 2011).

### 3. METODOLOGÍA

Para delimitar las zonas de salvaguarda, la información que se ha tenido en cuenta ha sido la siguiente:

- **Localización y características de la masa de agua subterránea para la sustracción de agua para consumo humano.** De acuerdo con los requerimientos de la DMA, que obliga a realizar un registro de áreas protegidas en el que deben incluirse las masas de agua empleadas para consumo humano siempre que proporcionen un volumen medio diario de al menos 10 m<sup>3</sup> o abastezca a más de 50 personas, y previamente define áreas de protección a las captaciones en la masa de agua para el suministro de aguas minerales.
- **Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce.** La evaluación de la vulnerabilidad intrínseca es una herramienta eficaz para prevenir o corregir las medidas con respecto al uso del terreno y la explotación de los recursos hídricos (Andreo *et al.* 2007; Foster y Skinner 1995). Se ha subdividido el área de estudio en varias categorías de acuerdo con la capacidad del material de la zona no saturada para proteger el agua subterránea. El método DRASTIC Reducido (MMARM, IGME 2009), basado en el método DRASTIC de Aller *et al.* (1987), y el método DRISTPI (Jiménez-Madrid 2011) han sido los métodos elegidos para evaluar la vulnerabilidad en el acuífero detrítico del Bajo Guadalhorce.

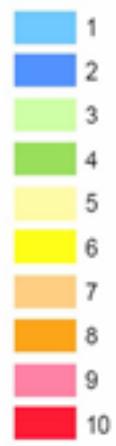
El método DRASTIC Reducido propone una reducción de los siete parámetros originales en DRASTIC a cinco para evitar la redundancia derivada de la utilización de información común para la elaboración de los distintos mapas temáticos, por ejemplo, entre el factor naturaleza del acuífero y litología de la zona no saturada. Esta reducción y simplificación del número de factores considerados resulta aconsejable, no sólo para evitar la redundancia sino también para proporcionar mayor sencillez al método, cuando se trata de estudiar cuencas de gran tamaño, a escala global, donde una parte importante de la información no está generalmente disponible o no es fácilmente estimable. Los cinco factores del método DRASTIC Reducido corresponden a factores básicos que se deben considerar cuando se hace un estudio de vulnerabilidad: suelo vegetal (S), litología de la zona no saturada (L), espesor de la zona no saturada (E), recarga neta (R), y pendiente (T). Los parámetros están valorados del 1 al 10 de menos a más incidencia de vulnerabilidad, en los que posteriormente se reclasifican del 1 al 5 para integrar estos valores en

una matriz de doble entrada y calcular el riesgo. Los valores obtenidos están comprendidos entre 17 y 167. Estos valores se agruparán según unos rangos y tendrán una equivalencia con valores DRASTIC según la Tabla 1.

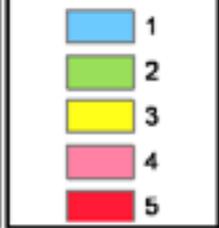
**TABLA N° 1**  
**RANGOS Y VALORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD**  
**DRASTIC REDUCIDO**

Rango	Valor
17-32	1
32-47	2
47-62	3
62-77	4
77-92	5
92-107	6
107-122	7
122-137	8
137-152	9
152-167	10

**VULNERABILIDAD DRASTIC (1-10)**



**VULNERABILIDAD DRASTIC (1-5)**



El método DRISTPI propuesto por Jiménez-Madrid (2011) (Tabla 2), está basado en el método DRASTIC original. Como requisito fundamental destaca la necesidad de contemplar dos escenarios: *escenario 1*, relativo a materiales con alto grado de karstificación, y *escenario 2*, extendido sobre el resto del área donde no existe evidencia de desarrollo kárstico. Contempla, además, la eliminación de parámetros, la modificación de rangos y de pesos, así como la incorporación de un nuevo factor de infiltración preferencial (*Preferential Infiltration*), específico para cada escenario. El método DRISTPI utiliza seis parámetros y su nombre es un acrónimo que responde a las iniciales, en inglés, de las variables utilizadas: D (Profundidad del agua), R (Recarga del acuífero), I (Material de la zona no saturada), S (Suelo), T (Pendiente), y PI (Infiltración Preferencial).

- **Presiones y riesgos en la masa de agua subterránea.** En relación con las aguas subterráneas, las presiones se clasifican en cinco tipos: fuentes de contaminación puntuales, fuentes de contaminación difusas, extracciones de agua, recargas artificiales de agua e intrusión marina. Siguiendo los principios de la DMA, las actividades generadoras de presiones en la zona de estudio son: población, agricultura, ganadería, industria, gestión de residuos, abastecimiento de agua urbano y agrícola, infraestructuras de transporte y obtención de energía eléctrica. Un inventario de presiones es necesario y debe incluir, como mínimo, una identificación sistemática de cada actividad integrada en la masa de agua, su localización geográfica así como su caracterización, la cual identificará aquellas áreas donde estén las actividades que resulten generadoras del deterioro y calidad de las aguas. Cada presión debe ser evaluada para establecer su capacidad de alterar el estado del agua subterránea.

**TABLA N° 2**  
**RANGOS U VALORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD**  
**DRISTPI PROPUESTA POR JIMÉNEZ-MADRID (2011)**

$D_{(Es. 1: x2, Es. 2: x5)} + R_{(x4)} + I_{(x5)} + S_{(x2)} + T_{(x1)} + PI_{(x5)}$					
Escenario 1		Escenario 2		Puntuación	Clase de vulnerabilidad
17-50		22-57		1	Muy Baja
50-80		57-92		2	Baja
80-110		92-127		3	Moderada
110-140		127-162		4	Alta
> 140		> 162		5	Muy Alta

El índice de Intensidad de las Presiones IP (Jiménez-Madrid 2011), basado en la aproximación propuesta por la Acción COST 620 (Ketelaere *et al.* 2004, citado en Sánchez 2010), ha sido empleado para caracterizar la peligrosidad de cada presión identificada en la masa de agua subterránea estudiada. Una vez inventariadas las presiones existentes se procede a clasificarlas según cinco clases de intensidad de presión y se les da un valor del 1 al 5, de menos a más rango de intensidad de la presión.

Basándose en las indicaciones de la Acción COST 620, Jiménez-Madrid (2011) propone el denominado índice RI (Risk Index) para evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante un producto entre los valores de la vulnerabilidad intrínseca y de la intensidad de las presiones. Éste índice se utiliza en el presente estudio para evaluar el riesgo de contaminación de la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce. El resultado final del índice de riesgo (Índice RI) se calcula a partir de una matriz de doble entrada. Es necesario que el índice de vulnerabilidad y el índice de intensidad de las presiones aplicado sean caracterizados con valores entre 1 y 5 (valor mínimo y máximo, respectivamente), calculados anteriormente. Se propusieron cinco clases de riesgo de contaminación, de tal manera que el límite superior del intervalo de valores del índice RI que define cada una de ellas se corresponde con el cuadrado de los valores de entrada de la matriz (Tabla 3).

- **Criterio hidrogeológico.** Se ha realizado un estudio detallado analizando la piezometría y la dirección de flujo en la masa de agua realizando una cartografía. Los mapas piezométricos proporcionan información de la dirección del flujo subterráneo y su relación con las extracciones de agua subterránea para consumo humano.

**TABLA N° 3**  
**EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DE LAS**  
**AGUAS SUBTERRÁNEAS. ÍNDICE RI (JIMÉNEZ-MADRID, 2011)**

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

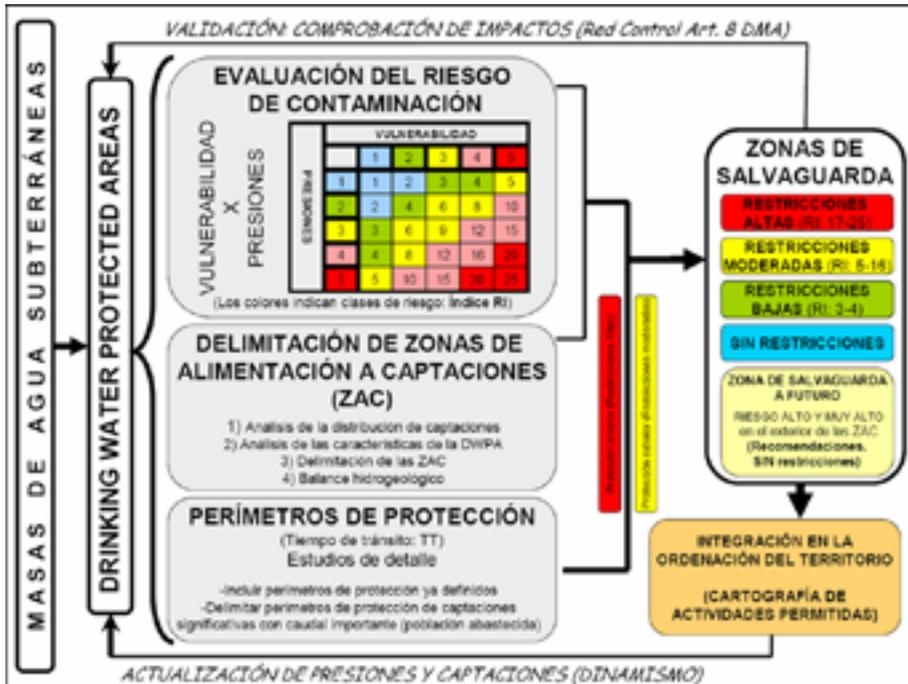
- **Delimitación de zonas de salvaguarda para aguas de consumo humano.** Las zonas de salvaguarda constituyen una figura clave a la hora de proteger la calidad de las aguas en las masas de agua subterránea, ya que en estas zonas se focalizarán las medidas de protección en cumplimiento con las disposiciones establecidas en la Directiva 2000/60/CE. Las zonas de salvaguarda son áreas (que la DMA contempla es-

tablecer opcionalmente) en cuyo ámbito se centran las medidas para proteger las aguas subterráneas con el objetivo de limitar el deterioro de su calidad y reducir el nivel de tratamiento de purificación requerido en el agua de consumo humano, opción muy recomendable especialmente dado el tamaño con que han sido delimitadas numerosas masas de agua en diversos Estados miembros de la Unión Europea. Equivalen, por tanto, a ‘perímetros de protección’ de masas de agua subterránea destinada al consumo humano según el artículo 7.3 de la DMA (Martínez-Navarrete 2006 citado en Jiménez-Madrid 2011).

Su tamaño es muy variable, pudiendo ser en muchos casos menores que la masa de agua subterránea y podrían existir varias zonas de salvaguarda en una masa de agua si bien también pueden extenderse fuera de la misma. Para poder aplicar estas consideraciones es conveniente efectuar una metodología que considere específicamente el riesgo de contaminación al delimitar las zonas de salvaguarda, comentado anteriormente. Con esa finalidad cabe considerar los siguientes aspectos: captaciones de abastecimiento, tipología acuífera, vulnerabilidad y presiones. El análisis conjunto de la diversa información contemplada permitirá delimitar las zonas de salvaguarda y proponer en ellas restricciones de actividades en los sectores con mayor riesgo de contaminación que pudieran poner en peligro el cumplimiento de los objetivos contemplados en el artículo 7.3 de la DMA, así como una propuesta de zonas de salvaguarda a futuro para prevenir el asentamiento de actividades futuras que se consideren de alto riesgo para la contaminación del acuífero.

La metodología que se ha seguido ha sido la propuesta por Jiménez-Madrid (2011) descrita en la Figura 2. Como se puede observar, existen tres grandes bloques de análisis y trabajo en los que se integran los criterios descritos anteriormente en este trabajo: evaluación del riesgo de contaminación, identificación de captaciones y delimitación de sus zonas de alimentación y perímetros de protección. La combinación e integración de los tres bloques de análisis permite la delimitación de las zonas de salvaguarda. Para ello, la evaluación del riesgo de contaminación realizada para toda la masa de agua se analiza junto con las zonas de alimentación a captaciones, mientras que los perímetros de protección se integran directamente en las zonas de salvaguarda.

**FIGURA Nº 2**  
**METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE**  
**SALVAGUARDA (JIMÉNEZ-MADRID 2011)**



Se diferencian cinco clases de protección:

- *Zona de salvaguarda con restricciones altas*: contempla las zonas con riesgo alto dentro de las ZAC y la zonificación de los perímetros de protección englobada dentro de la protección interior o próxima, tanto de los perímetros ya definidos y aprobados como los realizados por requisito de la metodología.
- *Zona de salvaguarda con restricciones moderadas*: incluye las zonas con riesgo moderado y la zonificación de los perímetros de protección englobada dentro de la protección exterior o alejada, tanto de los perímetros de protección de definidos y aprobados como los realizados por requisito de la metodología.
- *Zona de salvaguarda con restricciones bajas*: constituida por las zonas con riesgo de contaminación bajo.

- *Zona sin restricciones*: se trata de aquellas zonas con riesgo de contaminación muy bajo, debido a una intensidad de las presiones y vulnerabilidad bajas y, por tanto, un riesgo de contaminación bajo.
- *Zona de salvaguarda a futuro*: como indica la DMA, se deben establecer medidas de protección allí donde es posible que el agua subterránea sea destinada a consumo humano en el futuro. Por ello, esta figura de protección incluye aquellas zonas con un riesgo alto y muy alto de contaminación que se sitúan en el exterior de las ZAC delimitadas previamente.

La metodología contempla la realización de una cartografía de actividades permitidas en las diferentes zonas de salvaguarda definidas. En combinación con el listado de actividades contaminantes y su IP definidas anteriormente, que propone que cada una de las zonas de salvaguarda delimitadas se acompañe con una cartografía complementaria, según la cual el gestor del territorio podrá saber qué actividad puede emplazarse en un sitio u otro, con objeto de no alterar la calidad de las aguas subterráneas destinadas al consumo humano y poder así cumplir con los requisitos impuestos por la DMA.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación

Los resultados ilustrados en la Figura 3 muestran que usando el método DRASTIC Reducido, éste caracteriza gran parte del Bajo Guadalhorce con una vulnerabilidad baja (> 40% del área), repartido por todo el territorio, coincidiendo con zonas de baja permeabilidad. Las clases de vulnerabilidad muy alta y alta ocupan entre ambas en torno al 20% del territorio estudiado. Estas zonas se localizan en los cauces de los ríos, debido al espesor de la zona no saturada (prácticamente nulo), la escasa pendiente y la existencia de materiales muy permeables (detríticos). La vulnerabilidad moderada ocupa en torno a un 22% del área de estudio, coincidiendo con algunos cauces de ríos y arroyos, así como en zonas más elevadas, como son el Hacho de Álora y el Hacho de Pizarra (materiales conglomerados), o gran parte de la Sierra de Cártama (dolomías y mármoles). Las zonas de vulnerabilidad más baja se extienden sobre un 16% del territorio. Se encuentran donde afloran los materiales de menor permeabilidad.

Los resultados DRISTPI difieren muy poco con respecto a los resultados obtenidos con el método DRASTIC Reducido. La mayoría del área de estudio presenta una vulnerabilidad muy baja y baja (supone más del 70% de superficie). Las zonas con vulnerabilidad media corresponden a los márgenes de los ríos Guadalhorce, Grande y Campanillas, así como a una parte de la zona de

la costa occidental, debido a los materiales que componen el área. Las zonas con vulnerabilidad muy alta y alta se sitúan en el cauce del río Guadalhorce, aunque la representatividad de la vulnerabilidad muy alta es casi inexistente (no llega al 1% de la superficie). Estas zonas se han caracterizado por el factor PI como áreas de infiltración preferencial.

De los dos métodos utilizados, el método DRASTIC Reducido muestra una mayor parte del territorio con una vulnerabilidad muy alta. Aunque estas áreas ocupan un porcentaje muy bajo con respecto al territorio español, son las áreas más importantes a la hora de considerar la vulnerabilidad de un territorio a la contaminación de sus aguas. Se deben tomar medidas preventivas en estas zonas para evitar el deterioro de la calidad de las aguas en las mismas.

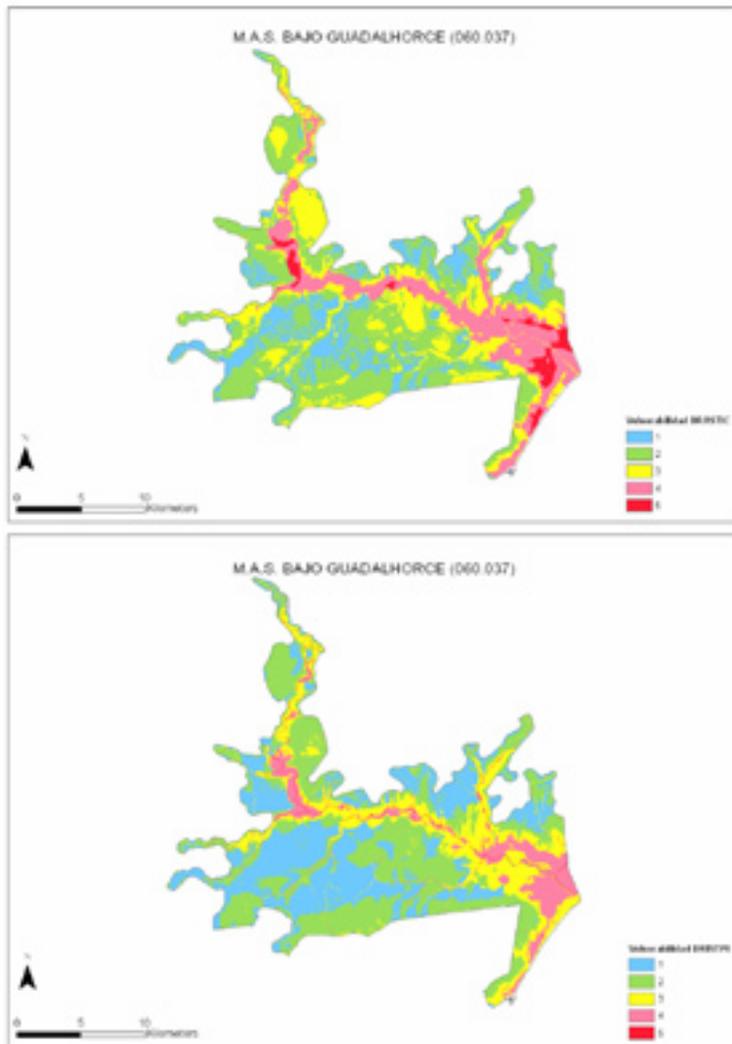
#### **4.2. Intensidad de las presiones y riesgo de contaminación**

En el Bajo Guadalhorce existen varios tipos de presiones que pueden llegar a contaminar las aguas subterráneas según el inventario para el cálculo del índice IP. En la Figura 4 se presenta el resultado del análisis de presiones, según la clasificación del índice IP, realizado en la masa de agua subterránea. Más de la mitad de la extensión (69% de la superficie), tiene un índice bajo debido a la poca presencia y superposición de presiones importantes. Destaca la agricultura de regadío (fundamentalmente cultivo de frutales), que se encuentra en las vegas de los ríos Guadalhorce, Grande y Campanillas. El 17% de la superficie es considerada con un índice IP muy bajo debido a la ausencia de presiones. Coinciden con las zonas más elevadas y con mayor pendiente del área de estudio (algunas zonas del Hacho de Álora, Cruz de Pizarra, Sierra de Cártama), la zona de Espacio Protegido de la desembocadura del río Guadalhorce o zonas en la que no existen indicios de presiones significativas.

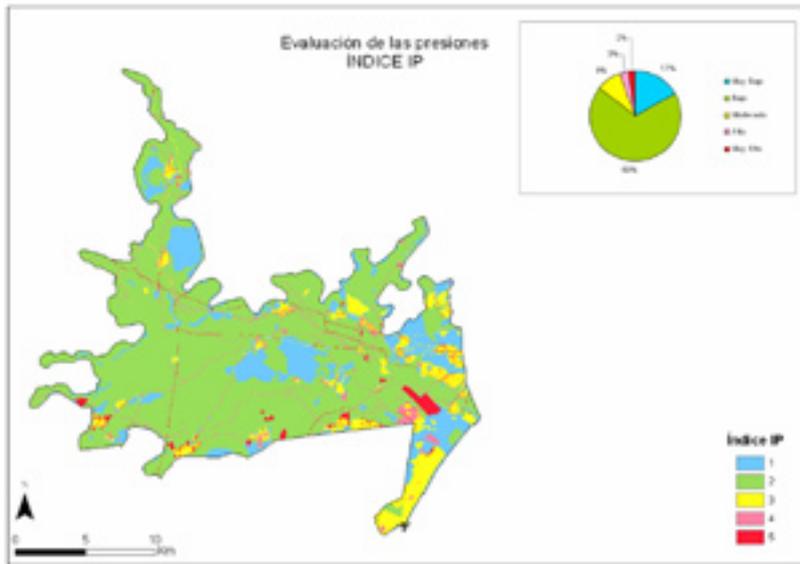
Los IP moderado y alto corresponden con un 9% y 3% respectivamente, debido a la superposición de presiones en un mismo espacio. Así, en la zona de la desembocadura del río Guadalhorce confluyen áreas urbanas, zonas industriales, áreas comerciales de gran extensión, el aeropuerto, mientras que en algunas zonas puntuales del interior de la masa de agua lo hacen zonas urbanas y su periferia, donde se asientan industrias alimenticias, mineras y agricultura de regadío.

Las zonas con presiones con un IP muy alto ocupan un escaso 2% del territorio, aunque no por ello es menos importante. Es donde hay una mayor superposición de presiones. Son las zonas relacionadas con el desarrollo urbano (zonas urbanas y aguas residuales), localizadas principalmente en los núcleos urbanos principales (Álora, Coín, Alhaurín el Grande, Alhaurín de la Torre), así como las infraestructuras de transporte en la que el aeropuerto ocupa un papel importante por su extensión y localización.

**FIGURA Nº 3**  
**VULNERABILIDAD INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN EN**  
**LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL BAJO GUADALHORCE.**  
**MÉTODO DRASTIC REDUCIDO Y MÉTODO DRISTPI**  
**(5 CATEGORÍAS)**



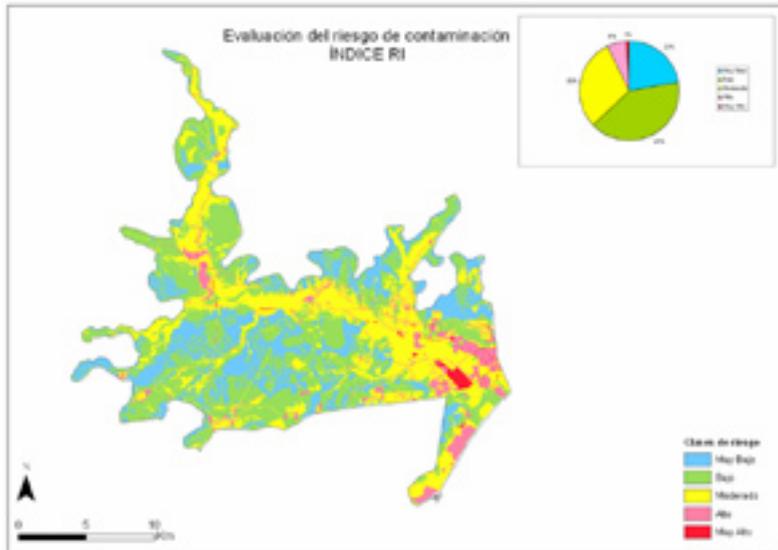
**FIGURA Nº 4**  
**MAPA DE EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LAS**  
**PRESIONES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEAS DEL BAJO**  
**GUADALHORCE**



En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos del índice RI tras la aplicación de la matriz de doble entrada, considerando para ellos los índices de vulnerabilidad e intensidad de la presión. Según los resultados obtenidos con este índice, el 41% de la superficie de la masa de agua del Bajo Guadalhorce tiene un riesgo bajo a la contaminación debido a la existencia de presiones con un IP bajo-moderado sobre zonas de vulnerabilidad moderada-alta localizado en las zonas más elevadas del área de estudio (Sierra de Cártama, Hachos de Álora y Pizarra). El riesgo de contaminación moderado ocupa una superficie del 30% y se extiende en los núcleos de población y alrededores así como en los cauces de los ríos y su entorno, debido al escaso espesor de la zona no saturada. El 22% del territorio del Bajo Guadalhorce presenta un riesgo muy bajo a la contaminación. Se extiende principalmente en las zonas de baja permeabilidad, caracterizadas con una vulnerabilidad muy baja debido al afloramiento de margas junto con presiones inexistentes o con un IP bajo. Por lo que respecta a las zonas con riesgo alto y muy alto (<10% del total de la superficie), éstas se localizan en áreas puntuales situadas en la desembocadura del río Guadalhorce principalmente, debido a un IP alto y moderado (por pre-

siones tales como el aeropuerto, zonas industriales y núcleos urbanos) y a una vulnerabilidad muy alta (esto se debe a la litología de los materiales acuíferos y a un escaso espesor de la zona no saturada). De toda la superficie de la masa de agua subterránea, el aeropuerto es el único elemento que presenta un riesgo de contaminación muy alto.

**FIGURA Nº 5**  
**MAPA DE EVALUACIÓN DEL TIESGO DE CONTAMINACIÓN**  
**DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BAJO GUADALHORCE.**  
**ÍNDICE RI**



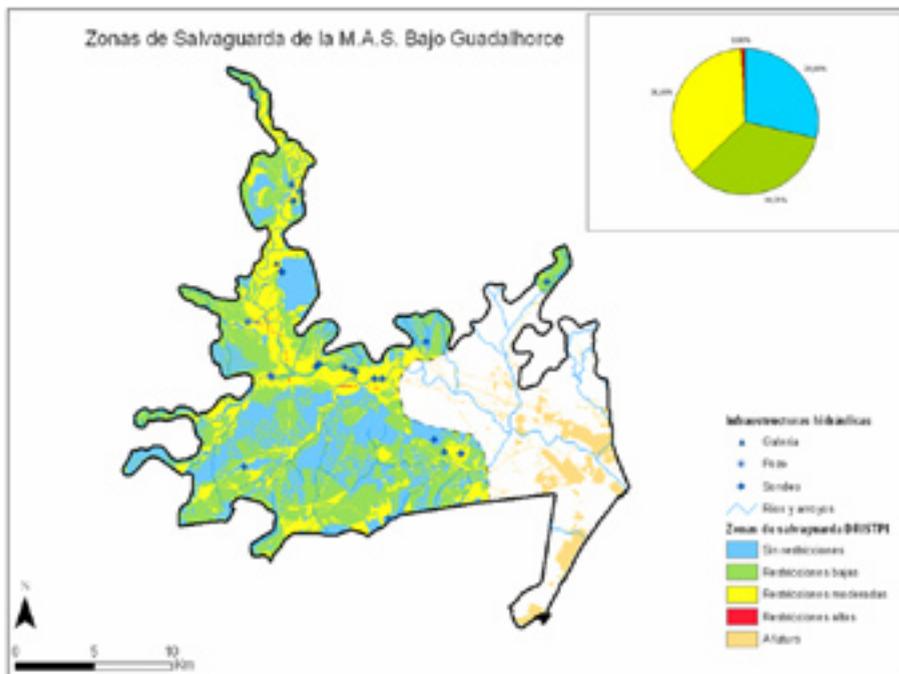
#### 4.3. Delimitación inicial de zonas de salvaguarda

En la Figura 6 se muestran las zonas de salvaguarda delimitadas en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce para proteger la calidad de sus aguas destinadas al consumo humano. Estas zonas de salvaguarda se localizan únicamente en la parte alta y media de la masa de agua, donde se encuentran distribuidas las captaciones para abastecimiento y, con ellas, sus zonas de alimentación. Más de un 34% de extensión del área estudiada necesita restricciones bajas. Las zonas de salvaguarda con restricciones moderadas ocupan un 34% de la superficie y coinciden con las áreas donde están asentados los puntos de abastecimiento para consumo humano, así como en el lecho y márgenes del río Guadalhorce, río Grande y río Fahala.

El 28,68% de la superficie no necesita ninguna restricción para salvaguardar la calidad de las aguas subterráneas. Las áreas sin restricciones se localizan en Cruz de Pizarra, algunas zonas del Hacho de Álora y los terrenos con una permeabilidad baja. Tan sólo un 0,86% de la superficie necesita restricciones altas, es decir, medidas más restrictivas. Estas son zonas puntuales, dándose por la confluencia de riesgos altos o muy altos.

Las zonas de salvaguarda a futuro delimitadas en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce, es decir, zonas con riesgo alto o muy alto de contaminación en el exterior de las zonas de alimentación delimitadas, ocupan un 14,75% del territorio. Éstas se localizan en la parte sur del área de estudio, alrededor del eje del río Guadalhorce en su desembocadura y en los núcleos urbanos de Benalmádena y Torremolinos.

**FIGURA Nº 6**  
**ZONAS DE SALVAGUARDA DELIMITADAS EN LA MASA DE**  
**AGUA SUBTERRÁNEA DEL BAJO GUADALHORCE**



#### **4.4. Integración de las zonas de salvaguarda en la ordenación del territorio. Actividades permitidas**

La Ordenación del Territorio pretende el conocimiento de las características del medio físico y valorar los recursos naturales para determinar sus posibles usos, fijando prioridades, limitaciones, etc. Se trata, por lo tanto, de controlar la actividad económica que se produce en el territorio, integrando la planificación del medio físico con la socioeconómica, tanto en los procesos como en la organización resultante. Se busca la organización de las actividades económicas, entre sí y con el medio físico; la calidad de vida de los distintos ámbitos territoriales y su integración en un sistema jerarquizado, para evitar problemas y desequilibrios, a través de una serie de planes, de una planificación territorial, o de actuaciones sectoriales. La posición preferencial de la planificación hidrológica para ejercer un papel integrador en la ordenación del territorio se deriva de la propia importancia del bien objeto de planificación (factor limitante que condiciona la disposición del territorio) y de su comportamiento como recurso natural (escaso y limitado).

La DMA establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, que considera clave el concepto de integración, entendido como la sinergia de las disciplinas para llevar a cabo una gestión que permita la protección del agua y los ecosistemas asociados (Gómez Orea 2002). Según lo establecido en la DMA, la Cuenca Hidrográfica es el núcleo de la Demarcación Hidrográfica, donde se adoptan las medidas contempladas en la planificación hidrológica. Esta unidad geográfica permite abarcar todo el territorio estatal e integra dinámicas naturales y ecológicas, lo cual es muy importante para integrar las decisiones relacionadas con el territorio.

A nivel provincial, en Málaga, el Plan Especial de Protección del Medio Físico de la provincia de Málaga (1988), incluye las aguas subterráneas y las zonas de recarga de los acuíferos en el medio físico natural. Como aspecto más destacado de esta legislación, destaca la necesidad de definir zonas de protección de acuíferos que deben estar incluidas en el planteamiento urbanístico. Esta premisa es muy importante pero, sin embargo, está poco desarrollada en la actualidad, por lo que su resultado no ha sido muy positivo. Una de las posibilidades para aumentar el grado de aplicabilidad de la transposición de la normativa urbanística de la protección de las aguas subterráneas sería el desarrollo de planes de ordenación del territorio subregional vinculantes para la legislación municipal (Jiménez-Madrid 2011).

En la actualidad, en otra escala de trabajo, se está llevando a cabo la implantación de la Agenda 21 Local de la comarca del valle del Guadalhorce, comarca que incluye entre otros municipios Pizarra, Coín y Álora. Como re-

comendaciones presentadas referidas al medio físico y al agua subterránea en particular, se encuentran (MADECA 2010):

- Realizar un mapa de Riesgos de la Comarca.
- Establecer controles en las extracciones de agua del acuífero.
- Obligar al control sanitario de las aguas extraídas del acuífero para el consumo doméstico.
- Eliminar las construcciones ubicadas dentro del Dominio Público Hidráulico.
- Diseño de campañas informativas a los ciudadanos sobre los recursos hídricos disponibles, estas actuaciones deben ser identificadas en épocas de sequía con el objetivo de reducir el consumo del agua.
- Localización de pozos negros en los diseminados y aplicación de las medidas necesarias para evitar que los acuíferos se vean afectados.
- Construcción de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) para evitar los actuales problemas de contaminación de las aguas.

Una vez realizada la propuesta de delimitación de zonas de salvaguarda como figura de protección de las masas de agua subterránea destinadas al consumo humano, se ha realizado una cartografía de actividades permitidas en las zonas de salvaguarda de la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce como herramienta de aplicación directa al territorio. Esta cartografía se ha elaborado en función del riesgo de contaminación evaluado para la totalidad de la masa de agua subterránea siguiendo la metodología aplicada por Jiménez-Madrid (2011). Como base del procedimiento, es necesario calcular un índice IP máximo que nos permita saber el umbral que no debe superar una zona para conservar la calidad de las aguas subterráneas. Una vez calculado, se pueden diferenciar cinco clases de actividades permitidas en el interior de las zonas de salvaguarda conforme a los valores del índice IP. Los parámetros están valorados del 0 al 4, de menos a más permisividad para implantar una actividad en el territorio. Cada clase de actividades permitidas incluye a la inferior, es decir, las actividades que componen la clase 3 son aquellas cuya intensidad de presión (índice IP) es moderada, aunque también podrán ser autorizadas aquellas actividades con una intensidad de presión baja o muy baja. En cada una de las clases propuesta se han considerado las intensidades de las presiones existentes. Sin embargo, también es necesario contemplar la cantidad de las mismas. Por ello hay que tener en cuenta y evaluar el índice IP acumulado, ya que aunque la instalación de una determinada actividad con su índice IP pueda estar autorizada en alguna de las clases propuestas, no afecta de igual manera que si se instalan diez actividades del mismo tipo.

Se puede dar el caso en que las zonas de salvaguarda delimitadas no tengan el efecto deseado debido a la carga contaminante ya existente, como por ejemplo, puede ocurrir en zonas de infiltración preferencial donde existen presiones con una intensidad alta. En estos casos donde la situación previa a la delimitación de las zonas de salvaguarda y sus restricciones sea desfavorable para la conservación de la calidad de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano, el gestor puede tomar medidas complementarias, si así lo estima oportuno, según los datos existentes relativo a la calidad de las mismas.

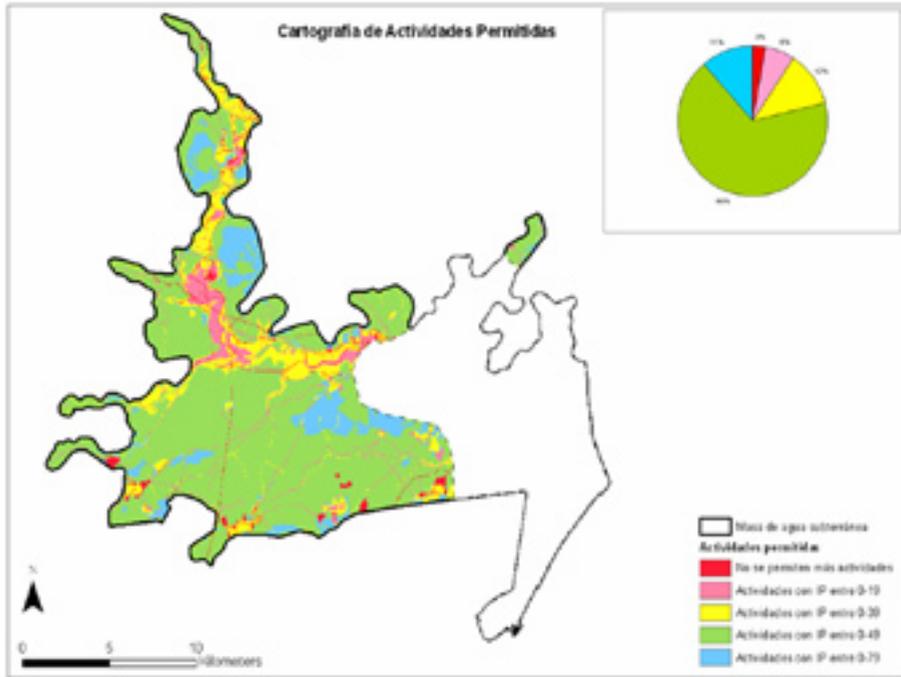
En la Figura 7 se muestra la cartografía de actividades permitidas en las zonas de salvaguarda del Bajo Guadalhorce. Según los resultados obtenidos, la mayor parte del territorio de ésta área de estudio constituye zona de salvaguarda con diferentes grados de restricciones. Predominantemente, el Bajo Guadalhorce permite la instalación de actividades con un IP moderado o menor (68% de la superficie). Se observa que el 3% de la superficie no admite la instalación de ninguna actividad. Esta clase, de valor cero, se localiza principalmente en núcleos urbanos, como por ejemplo Alhaurín de la Torre y Alhaurín el Grande, zonas puntuales con aguas residuales sin depurar o la tubería de conducción de gas que pasa por la masa de agua subterránea.

Las zonas que permiten sólo la ubicación de actividades con una intensidad de presión muy baja (6% de la superficie) se extiende por los cauces del Río Guadalhorce, donde se producen fenómenos de infiltración preferencial y en aquellas zonas 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 12% del territorio está catalogado con clase 2, es decir, permite la instalación de actividades con una intensidad de presión baja o muy baja. Esta clase de actividades permitidas se localiza en el afloramiento de materiales aluviales del río Guadalhorce, en las áreas urbanas principales (Coín, Alhaurín el Grande, Alhaurín de la Torre) y en campos de golf catalogados en la zona de estudio.

La clase 4 de actividades permitidas se extiende por el 11% del territorio, ubicados principalmente en las zonas más elevadas del Bajo Guadalhorce (Hacho de Álora, Cruz de Pizarra y Sierra de Cártama), que aunque afloran materiales de alta permeabilidad, se encuentran libre de presiones y, por tanto, con un riesgo bajo a la contaminación.

**FIGURA N° 7**  
**CARTOGRAFÍA DE ACTIVIDADES PERMITIDAS EN LAS ZONAS DE SALVAGUARDA DELIMITADAS EN EL BAJO GUADALHORCE**



#### 4.5. Propuestas futuras

El proyecto de elaboración de la Agenda 21 Provincial de Málaga (A21P), se formula siguiendo el llamamiento a todas las comunidades locales a través del capítulo 28 de la Agenda 21, Plan de Acción de la ONU, para un desarrollo sostenible en el siglo XXI, documento clave de los aprobados en la Cumbre de la Tierra sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible (CNUMA) que tuvo lugar en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992. En dicho documento se reconoce el papel de las autoridades locales para iniciar y coordinar los procesos necesarios encaminados al desarrollo sostenible mediante un esquema participativo, desde la aplicación del principio “Piensa Global, Actúa Local”.

El estudio que aquí se presenta se pretende realizar una propuesta para un desarrollo territorial equilibrado y sostenible. Desde el punto de vista hidrogeológico, se ha realizado una cartografía de actividades permitidas para la

masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce. Para realizar las propuestas futuras se ha escogido un municipio integrado en la masa de agua subterránea, ya que se considera de gran importancia una participación activa desde los organismos responsables a nivel subregional para la conservación y calidad de las masas de agua destinadas al consumo humano.

Se ha escogido el municipio de Pizarra por tener un mayor porcentaje de restricciones en cuanto a la instalación de nuevas actividades. En la Figura 8 se puede observar que un 4% de la superficie no admite la instalación de ninguna actividad. Esta zona coincide con los núcleos urbanos de Pizarra e Hipólito, el cauce del río Guadalhorce y la carretera que pasa por el municipio. En el afloramiento de materiales aluviales de elevada permeabilidad, donde la vulnerabilidad a la contaminación es alta, predomina la clase 1 (14% del territorio), por lo que sólo las actividades con una intensidad de presión muy baja (menor de 20) pueden ser instaladas. Con una ocupación del 16% de la superficie y como continuación de la clase 1 en las áreas definidas anteriormente, predomina la clase 2 de actividades permitidas. La mayor parte del municipio se encuentra catalogada como clase 3 de actividades permitidas (48% del territorio). Esto permite la instalación de actividades con una intensidad de presión moderada-baja.

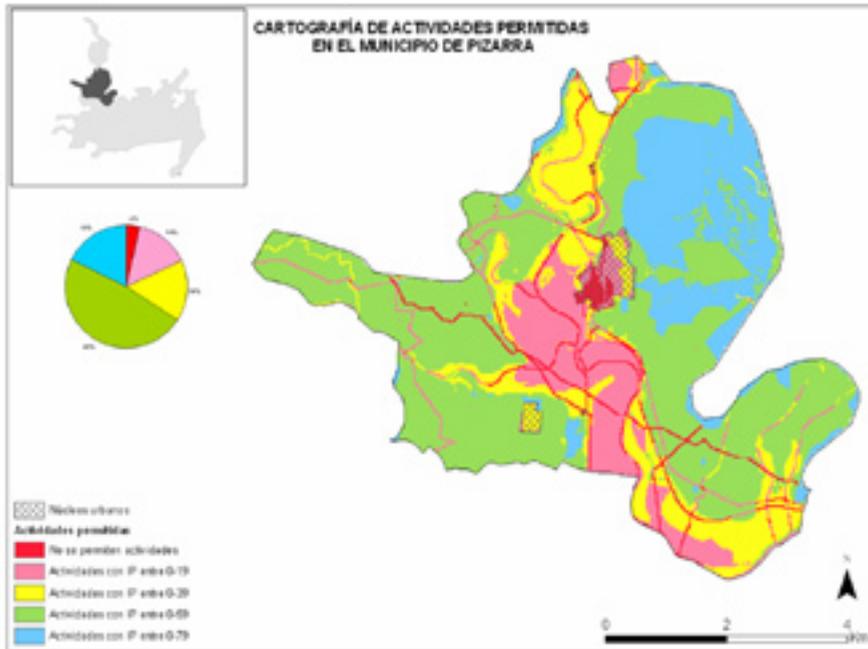
La clase 4 de actividades permitidas se extiende por el 18% del territorio, mayoritariamente situada en la Cruz de Pizarra. La permeabilidad en esta zona es alta, por lo que no siempre hay que considerar este hecho como factor causante de la permisión o prohibición de la instalación de una actividad. Como se ha podido comprobar en la cartografía de vulnerabilidad está clasificada como vulnerabilidad baja-moderada (en DRISTPI) y moderada (en DRASTIC reducido), pero al carecer actividades que ejerzan presión el riesgo resultante es bajo.

Por lo que respecta a la ordenación del territorio en el municipio de Pizarra se están llevando a cabo estudios tales como un Plan General de Ordenación Urbana (Aprobación Provisional PGOU, 2010), que en los planes de impacto ambiental (Anexo III) tiene en cuenta temas como evaluación de riesgos ambientales, en el que incluyen el riesgo de inundaciones y avenidas, riesgos por incendios o riesgos sísmicos, entre otros. Sería de gran importancia incluir en estos planes un apartado en vulnerabilidad y riesgos de contaminación que existe en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce en general y en este municipio en particular.

Como propuesta futura para el municipio de Pizarra, observando el mapa de actividades permitidas, se plantea la opción de no implantar actividades de ningún tipo en las zonas delimitadas como 0 y 1, y en algunos casos trasladar actividades con un índice de presión elevada, como puede ser un vertido de aguas residuales sin depurar a zonas con un IP bajo o muy bajo (teniendo en

cuenta zonas con un IP bajo que se encuentren cerca de un cauce para poder verter los residuos), o la construcción de nuevas áreas residenciales.

**FIGURA N° 8**  
**CARTOGRAFÍA DE ACTIVIDADES PERMITIDAS EN LAS ZONAS**  
**DE SALVAGUARDA DELIMITADAS EN EL MUNICIPIO DE**  
**PIZARRA**



En el caso de Pizarra, no es recomendable trasladar ni implantar ninguna actividad en la zona de Cruz de Pizarra aunque en la cartografía de actividades permitidas tenga una clase 4, ya que se considera un hito en el municipio, lo cual supondría un deterioro del mismo y un factor importante para el riesgo de contaminación para la masa de agua.

## 5. CONCLUSIONES

La metodología que se ha planteado en este trabajo tiene como objetivo la delimitación de zonas de salvaguarda en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce, desde un punto integrador de los principales componentes la misma (vulnerabilidad, presiones, riesgo y zonas de alimentación a captacio-

nes) con objeto de que se convierta en un documento práctico para su posterior aplicación en la gestión del territorio.

La entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA) en el año 2000 ha supuesto un hito de gran relevancia en la planificación hidrológica, donde la protección del agua se ha convertido en un objetivo medioambiental prioritario de todas las políticas europeas con incidencia en el territorio. Concretamente, se reconoce la importancia de las aguas subterráneas con la promulgación de la Directiva 2006/118/CE (Directiva de Aguas Subterráneas) relativa a la protección de aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. Las aguas subterráneas de los acuíferos aluviales constituyen un recurso imprescindible como fuente de abastecimiento. Por esta razón, es necesario integrar y compatibilizar la salvaguarda de la calidad de las mismas con las actividades socioeconómicas y los diferentes usos del suelo existentes en una determinada región. Este reto debe ser abordado mediante estrategias preventivas de protección que sitúen a la planificación hidrológica como un elemento clave en la ordenación del territorio para lo cual cobra vital importancia el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

Las zonas de salvaguarda son áreas que la DMA contempla establecer de manera opcional en su artículo 7.3, en cuyo ámbito 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. Es una opción muy recomendable, debido al tamaño con el que se han delimitado las masas de agua subterránea en la mayoría de los Estados miembros de la Unión Europea.

El concepto de zonas de salvaguarda está basado, por un lado, en la caracterización del riesgo de contaminación para toda la masa de agua subterránea y, por otro lado, en la delimitación de zonas de alimentación a las captaciones existentes con objeto de centralizar las medidas de protección.

Una protección eficaz para las masas de agua subterránea empleadas para consumo humano necesita de una reglamentación más severa y detallada que ofrezca la posibilidad de establecer medidas más concretas en espacios del territorio más reducidos. Por ello, para no desaprovechar los recursos económicos, es necesario centralizar las medidas de protección en aquellas áreas donde es prioritario realizarla.

En este estudio se ha aplicado la metodología propuesta por Jiménez-Madrid (2011), que permite el establecimiento de zonas de salvaguarda en diferentes contextos geológicos e hidrogeológicos. Según esta metodología, para establecer medidas de protección adecuadas se deben considerar una serie de criterios, entre los que se encuentra la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca, la caracterización de la intensidad de las presiones, el análisis del riesgo de contaminación en las aguas subterráneas, la distribución de las cap-

taciones destinadas al consumo humano y la consideración e integración de los perímetros de protección ya delimitados.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca por los métodos DRASTIC y DRISTPI han sido similares, quedando reflejado que la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce está definida mayoritariamente por una vulnerabilidad baja-moderada, quedando únicamente el cauce del río Guadalhorce y su desembocadura con una vulnerabilidad alta y muy alta. La concentración que se ha observado de diferentes presiones sobre zonas de muy elevada vulnerabilidad lleva a pensar que no se está haciendo un correcto uso del territorio.

Esto hace que, junto con las presiones identificadas en el área de estudio, el riesgo de contaminación sea moderado-alto en el cauce del río Guadalhorce y sus afluentes, así como en la zona baja de la masa de agua subterránea, debido a la litología de los materiales acuíferos y al escaso espesor de la zona no saturada.

El análisis del riesgo de contaminación efectuado podría ser complementado con estudios de detalle para evaluar cada contaminante en particular. Así, sería conveniente analizar y evaluar la solubilidad en el agua de cada uno de ellos, la capacidad de adsorción, degradación de los mismos, etc.

Por lo que respecta a la cartografía de actividades permitidas dentro de las zonas de salvaguarda, se presenta en este estudio como una herramienta útil para abordar la integración de la protección del agua subterránea empleada para el consumo humano en la ordenación del territorio. Hay que destacar que algunos criterios considerados tienen un carácter dinámico, por lo que pueden variar en el tiempo. Así, por ejemplo, la ubicación de una nueva actividad o captación obliga a redefinir el inventario de presiones o de captaciones y, por ende, sus zonas de alimentación.

Se propone el estudio en un municipio integrado en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce, aplicable a cualquier municipio integrante en la masa de agua. Con ello se pretende que desde la participación local se pueda llevar una buena gestión de la masa de agua subterránea en su conjunto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA, CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE (2010): *Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Anejo 0. Fichas resumen de las masas de agua subterráneas*, 1-34.
- ALLER, L., LEHR, J.H., PETTY, R. (1987): *DRASTIC: A standardized system to evaluate ground water pollution potencial using hydrogeologic settings*, Nacional Water Well Association, Ohio, 38-57.
- ANDREO, B. et al. (2002): Características hidrogeológicas de las sierras Blanca y Mijas y del Bajo Guadalhorce, en RUBIO CAMPOS, J.C. y LÓPEZ-GETA, J.A. (eds.) 2005: *Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete. Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces*, Instituto Geológico y Minero de España, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Instituto del Agua de Andalucía, Diputación Provincial de Granada, Madrid, 395-416.
- ANDREO, B., PERLES ROSELLÓ, M.J., VÍAS, J.M. (2007): Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga, en DURÁN, J.J. (eds.) 2007: *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*, Diputación de Málaga, IGME, Universidad de Málaga. Tomo 3, 99-104.
- FOSTER, S.S.D, SKINNER, A.C. (1995): Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning. *Groundwater Quality: Remediation and Protection (Proceeding of the Prague Conference, May 1995)*, IAHS 225, 471-82.
- GÓMEZ OREA, D. (2002): *Ordenación territorial*, Mundi Prensa, Editorial Agrícola española, Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2011): Demografía y población. Cifras de población y censos demográficos. Nomenclátor: relación de unidades poblacionales 2010. Disponible en: <http://www.ine.es/>.
- JIMÉNEZ-MADRID, A. (2011): *Estudio metodológico para el establecimiento de zonas de salvaguarda de masas de agua subterránea en acuíferos carbonatados utilizadas para consumo humano. Aplicación de la Directiva Marco del Agua*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- LINARES GIRELA, L., LÓPEZ GETA, J.A., PARRA Y ALFARO, J.L. (1988): Acuífero detrítico del Bajo Guadalhorce (Málaga), en LÓPEZ GETA, J.A., RAMOS GONZÁLES, G., FERNÁNDEZ RUBIO, R. (eds.) 1988: *TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros*, Instituto Geológico y Minero de España, Granada, 287-315.
- LÓPEZ-GETA, J.A., RUBIO CAMPO, J.C., MARTÍN-MACHUCA, M. (2008): *Agua y Cultura. VII Simposio del Agua en Andalucía. TOMO I*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- MADECA (2010): *Integración de la Nueva Estrategia Rural de Andalucía en el Plan de Actuaciones Estratégicas de la Provincia de Málaga: Valle del Guadalhorce*, Málaga.
- MMARM e IGME (2009): *Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de las masas de agua subterránea intercomunitarias. Masas detríticas y mixtas. Demarcación Hidrográfica del Júcar*.

- MORENO, L. (2007): Calidad química y composición de las aguas subterráneas de la provincia de Málaga, en DURÁN, J.J. (eds.) 2007: *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*, Diputación de Málaga, IGME, Universidad de Málaga. Tomo 1, 113-26.
- SÁNCHEZ, D. (2010): *Aplicación de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE en la cuenca hidrográfica del río Guadalhorce (Málaga). Caracterización inicial*, Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- SENCIALES GONZÁLEZ, J.M. (2007): El clima en la provincia de Málaga, en DURÁN, J.J. (eds.) 2007: *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*, Diputación de Málaga, IGME, Universidad de Málaga. Tomo 1, 49-58.
- SOPDE (2010): Documento para aprobación provisional del Plan General de Ordenación Urbanística del municipio de Pizarra. *Libro VI: Estudio de impacto ambiental*, Málaga.
- VADILLO, I., CARRASCO, F., ANDREO, B. (2005): Acuífero del Bajo Guadalhorce, en SÁNCHEZ, L., CASTILLO, A. (eds.) 2005: *Itinerario hidrogeológico por el litoral mediterráneo andaluz*, Universidad de Granada. Instituto del agua Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio Ambiente, Granada, Cap. 4.
- VADILLO, I., CARRASCO, F., SÁNCHEZ, D. (2007): Bajo Guadalhorce (M.A.S. 060.037), en ANDREO, B. (eds.) 2007: *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*, Diputación de Málaga, IGME, Universidad de Málaga. Tomo 2, 179-84.

