

## 10. VULNERABILIDAD DE LOS ACUIFEROS FRENTE A LA CONTAMINACION

El concepto de vulnerabilidad alude al riesgo de que se produzca un deterioro de la calidad de las aguas subterráneas por vertidos o actividades potencialmente contaminantes. De este modo, en el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas de la provincia de Granada a escala 1:200.000, que se incluye como anexo al texto del Atlas, se diferencian cartográficamente las áreas que presentan distinto grado de riesgo ante dicha posible afección.

Este tipo de mapas es de suma utilidad en la Planificación Territorial, habida cuenta que constituyen un documento básico para la orientación al vertido. No obstante, y a pesar de que su realización está cada día más extendida, no lo está en la misma medida de uso real, como lo prueba la situación frecuentemente inadecuada de puntos de vertido potencialmente contaminantes. Los estudios que se están realizando dentro del Plan Director de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos servirán para evitar el vertido indiscriminado de éstos sobre las áreas vulnerables.

El criterio básico utilizado para la realización de la correspondiente cartografía de vulnerabilidad ha sido el del diferente comportamiento hidrogeológico de los materiales presentes en superficie. En consecuencia, la cartografía de vulnerabilidad se ha obtenido a partir del mapa hidrogeológico, si bien los once términos litoestratigráficos distinguidos en este último fueron agrupados, según su comportamiento, en seis conjuntos. El diferente grado de vulnerabilidad de estos conjuntos se ha expresado cartográficamente mediante un código de colores en el que el color rojo indica mayor vulnerabilidad a la contaminación, el verde ausencia o muy bajo grado de riesgo y el amarillo unas circunstancias intermedias entre ambas situaciones extremas.

Las áreas que se han considerado vulnerables a la contaminación son aquellas en las que afloran materiales acuíferos. En ellas se han distinguido las correspondientes a materiales carbonatados, con permeabilidad por fisuración y/o karstificación, y las ocupadas por materiales detríticos con permeabilidad por porosidad intergranular. El distinto tono de color asignado a ambos tipos de materiales intenta reflejar el hecho de que, a salvo de peculiaridades locales, el riesgo de contaminación es mayor en los acuíferos carbonatados que en los constituidos por formaciones detríticas.

La mayor vulnerabilidad de los *materiales carbonatados* es consecuencia de la mayor permeabilidad y transmisividad que suelen presentar, en especial aquellos con karstificación bien desarrollada, en los que la velocidad de circulación, y con ello la propagación de la contaminación, es máxima y, por el contrario, la capacidad de retención del agente contaminante y de autodepuración es muy limitada. El máximo riesgo, entre este grupo de acuíferos altamente vulnerables, está ligado a los materiales más intensamente karstificados, que suelen ser las calizas del Jurásico inferior de las unidades subbéticas y, en menor grado, los materiales dolomíticos subbéticos y prebéticos. La karstificación en las dolomías y calizo-dolomías de las unidades alpujarrides es, en general, menos pronunciada. Por esta razón, en el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas se han distinguido, por un lado, los materiales carbonatados del Subbético y el Prebético y por otro los pertenecientes a las unidades alpujarrides.

Las características granulométricas y las condiciones de flujo más lento proporcionan a los *materiales detríticos* un mayor poder de retención de contaminantes y una mayor capacidad de autodepuración. En este último sentido son especialmente importantes los procesos de oxidación desarrollados en la zona no saturada; su eficacia puede verse limitada, sin embargo, por el escaso

espesor de dicha franja, debido a la proximidad a la superficie del nivel piezométrico en muchos acuíferos de este tipo, en particular en los ligados a formaciones aluviales. Es digno de tener en cuenta el hecho de que las circunstancias anteriormente expuestas implican que la regeneración es lenta y difícil, una vez que la contaminación se ha producido.

Las áreas en las que la vulnerabilidad reviste características variables, cartografiadas en amarillo, son las ocupadas por *materiales heterogéneos*, tanto en la vertical como en la horizontal, o bien por materiales de moderado interés hidrogeológico, con comportamientos del tipo *acuitardo-acuífero*. Los materiales más característicos por su diversidad son los detríticos de edad pliocuaternaria del relleno de las depresiones de Granada, Guadix-Baza y Huéscar. En este tipo de materiales es imprescindible la realización de estudios de detalle que permitan precisar las condiciones reales de cada caso concreto; en efecto, en las áreas asignadas cartográficamente a este grupo existen zonas claramente vulnerables relativamente próximas a otras que presentan mínimos riesgos de contaminación. De igual modo, en las áreas cuyo interés hidrogeológico ha sido calificado de moderado a escala regional, pueden existir zonas vulnerables de escasa entidad pero cuya importancia puntual requiera la debida protección; su identificación sólo es posible con los pertinentes estudios específicos.

Las áreas poco vulnerables a la contaminación, diferenciadas en tonos verdes, son las ocupadas por los *materiales de menor permeabilidad*. Con coloración más clara se han representado los materiales en los que la circulación subterránea está restringida a niveles interstratificados de escasa entidad; en este grupo se han incluido los materiales triásicos en facies germano-andaluza, margas, margocalizas y calizas margosas del Jurásico superior, margas del Cretácico y limos del Neógeno (de edad miocena principalmente). En verde más oscuro se han representado las áreas ocupadas por materiales en los que la circulación subterránea sólo está ligada a zonas de fractura o a los niveles de alteración superficial; en este grupo se integran los materiales predominantemente esquistosos del Complejo Nevado-Filábride, así como las filitas, esquistos y cuarcitas del Complejo Alpujarride.

En el mapa de vulnerabilidad se han representado también los principales manantiales y captaciones destinadas al abastecimiento urbano, dado que su ubicación debe ser tenida en cuenta, como es obvio, a la hora de implantar una actividad potencialmente contaminante en el entorno de aquéllos, sea cual sea el grado de vulnerabilidad de los materiales presentes en superficie. Con todo, es necesario advertir que el mapa que se presenta hace especial referencia al comportamiento hidrogeológico de los distintos materiales. Es necesario, en este sentido, advertir que la ubicación de vertidos u otras actividades contaminantes en áreas ocupadas por materiales calificados como no vulnerables podría producir efectos negativos sobre la calidad de las aguas subterráneas cuando la escorrentía superficial, generada en tales áreas, recarga acuíferos situados aguas abajo del punto en cuestión; estas circunstancias concurren, por ejemplo, en los acuíferos de las depresiones de Granada y Guadix-Baza, delimitadas en buena parte de sus bordes por afloramientos de rocas impermeables pertenecientes a los complejos Alpujarride y Nevado-Filábride.

Finalmente, el mapa de vulnerabilidad incluido en este Atlas se ha completado con la información relativa a los focos potenciales de contaminación de origen agrícola, ganadero e industrial, presentada en forma de diagramas relativos a aquéllos sectores en que dichas actividades tienen mayor relevancia.

Es necesario advertir, sin embargo, que, a la vista de los datos hidroquímicos comentados en capítulos anteriores, se concluye que los principales focos de contaminación de las aguas subterráneas de la provincia de Granada son de origen urbano y agrícola; los vertidos industriales, en su gran mayoría, no llegan a afectar sensiblemente a los acuíferos existentes. Precisamente por estas razones, se presenta en forma de tabla, incluida en este capítulo, una serie de datos de interés, correspondientes a los residuos sólidos y a las aguas residuales de la provincia. En lo que se refiere a los residuos sólidos, se indica el tonelaje anual de residuos producidos en los principales municipios de la provincia (mayores de 3000 habitantes) y diversa información acerca del vertido efectuado, entre la que se incluye la extensión del vertedero, las características geológicas del lugar (litología y edad), el comportamiento hidrogeológico de los materiales sobre los que se realiza el vertido, el sistema de tratamiento y una evaluación cualitativa de los riesgos de contaminación a aguas superficiales y subterráneas. En cuanto a las aguas residuales, la tabla adjunta informa, para los mismos 34 municipios anteriormente citados, sobre el volumen producido anualmente, el punto en el que se realiza el vertido y las características del proceso de depuración, cuando éste existe.

Se puede resumir al respecto que el total de residuos sólidos producidos asciende a 156618 Tm/año, lo que equivale a una media de aproximadamente 0.86 kg/hab/día. Es necesario subrayar que, salvo en tres casos en los que es bajo el riesgo de contaminación, en todos los demás existe por lo menos un riesgo medio de contaminar recursos hídricos, ya sean superficiales o subterráneos; en siete casos se estima que existe un riesgo alto de contaminar ambos tipos de recursos. Por otra parte, tan sólo los vertederos de Granada y Caniles pueden ser considerados como semicontrolados, con labores de recubrimiento; en todos los demás el único sistema de tratamiento consiste en la combustión del vertido. Estos datos ponen de manifiesto una necesidad de actuación en este área.

Por su parte, las aguas residuales producidas en los 34 municipios con más de 3000 habitantes que figuran en la tabla ya mencionada ascienden a unos 52 hm<sup>3</sup>/año. Es de destacar el escaso número de municipios en los que se lleva a cabo un proceso de depuración adecuado y, consecuentemente, la frecuencia de vertidos directos al mar o a la red superficial. Todo ello señala la necesidad de incrementar el número de estaciones depuradoras, con una gestión incluso de reutilización de recursos allí donde sea aconsejable.

Como era de esperar, el acuífero más afectado por los vertidos de origen urbano es el de la Vega de Granada, al soportar la concentración de población más importante de la provincia. En efecto, el volumen de aguas residuales vertido sobre el acuífero asciende a 30 hm<sup>3</sup>/año, cifra que representa más de la mitad de la producción provincial. Sin embargo, aunque de todos los municipios asentados en la Vega sólo el de Granada produce más de la mitad de los residuos sólidos urbanos de la provincia, los vertidos de este tipo sobre el acuífero no representan más que la cuarta parte de esta última cifra, es decir en torno a 42000 Tm/año.

En un futuro inmediato, la existencia de numerosos vertidos sobre el acuífero se va a corregir con las directrices que se señalan en el ya mencionado Plan Director.

Comparada con la de la Vega de Granada, la importancia de las fuentes potenciales de contaminación sobre los restantes acuíferos es mucho menor. Para comprobar esta afirmación, basta constatar que el acuífero más amenazado, después del de la Vega, es el de Guadix, que recibe aproxima-

damente cuatro veces menos residuos sólidos y diez veces menos aguas residuales que aquél. En todo caso, de la observación de las tablas y el mapa anexos, se concluye que los acuíferos más afectados por este tipo de contaminación son, sin duda alguna, los detríticos; ello se debe, como es obvio, a que tales acuíferos corresponden a áreas de afloramiento de materiales cuyas características litológicas, e incluso el condicionamiento tectónico, favorecen la existencia de extensas áreas de topografía suave (llanuras aluviales, depresiones intramontañas, llanuras costeras, etc.), adecuadas para los asentamientos urbanos. Por las mismas razones, los acuíferos carbonatados, ligados a afloramientos calizos y dolomíticos sobre los que se desarrollan topografías escarpadas, son poco propicios para dichos asentamientos y, en consecuencia, están muy poco afectados por la contaminación. Una notable excepción la constituye el acuífero de Sierra Gorda, pero ello se debe a que las cifras de vertidos se refieren esencialmente a la

llanura de Zafarraya, que representa un pequeño acuífero detrítico, pero conectado con el sistema kárstico principal.

Si los acuíferos detríticos son los más afectados por la contaminación de origen urbano, las diferencias son todavía más evidentes en lo que se refiere a la contaminación de origen agrícola y ganadero, actividades que se desarrollan prioritariamente en dichas zonas. De nuevo es la Vega de Granada el acuífero más afectado, ya que recibe 3400 Tm/año de UFN, lo que representa aproximadamente un tercio del total vertido sobre los acuíferos detríticos; una proporción similar representa la carga contaminante de origen ganadero sobre la Vega de Granada, que ha sido evaluada en 4300 Tm/año de DBO<sub>5</sub> (en torno a la sexta parte del total provincial) y 347 Tm/año de Nitrógeno. A la Vega de Granada le siguen en importancia en este sentido los acuíferos de Guadix, Baza-Caniles, Sierra Gorda, Montilla-Puebla-Hués-car, Motril-

Salobreña, etc. En lo que se refiere a fuentes potenciales de contaminación de origen agrícola, al acuífero de la Vega de Granada le siguen los de Guadix, Baza-Caniles y Motril-Salobreña, con aportes de 2140, 1370 y 1240 Tm/año de UFN, respectivamente. En cuanto a la contaminación de origen ganadero, tras la Vega figura el acuífero de Guadix, con unos aportes de 250 Tm/año de Nitrógeno y 2750 Tm/año de DBO<sub>5</sub>; a éste le siguen los de Sierra Gorda (150 Tm/año de Nitrógeno y 1690 Tm/año DBO<sub>5</sub>, atribuibles al Polje de Zafarraya), Montilla-Puebla-Hués-car (145 Tm/año de N y 1670 Tm/año DBO<sub>5</sub>) y Baza-Caniles (140 Tm/año de Nitrógeno y 1650 Tm/año DBO<sub>5</sub>).

Los datos anteriormente expuestos, síntesis de la información disponible representada en el mapa y tablas adjuntos, son indicativos de la necesidad de extremar el control de los vertidos, en orden a proteger los recursos hídricos de la contaminación que aquéllos pueden producir.

#### FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACION

ACUIFERO	URBANOS		AGRICOLAS		Carga Contaminante (Tm/año DBO <sub>5</sub> )	Pob. Equivalente (Habitantes)	Contaminación Mineral (Kg/año Nitrógeno)
	Volumen de aguas residuales (Hm <sup>3</sup> /año)	Cantidad Residuos sólidos (Tm/año)	Hectáreas regadío	UFN (Kg/año)			
ALMUÑECAR	0.04	200	5.500	611.000	140	5.000	10.800
MOTRIL-SALOBREÑA	0.60	2.500	4.000	1.240.000	590	21.000	52.000
MONTILLA-PUEBLA-HUESCAR	1.00	2.500	2.000	220.000	1.670	61.000	144.000
BAZA-CANILES	2.60	5.500	8.240	1.370.000	1.650	60.000	137.000
GUADIX	3.20	11.800	17.821	2.140.000	2.750	100.000	247.000
VEGA DE GRANADA	30.00	42.000	19.200	3.400.000	4.300	157.000	347.000
CULLAR BAZA	0.40	1.000	1.140	114.000	594	21.700	55.000
SIERRA GORDA	1.70	5.500	2.462	468.000	1.693	62.000	150.000

## RESIDUOS URBANOS

MUNICIPIO	RESIDUOS SOLIDOS								AGUAS RESIDUALES						
	PRODUCCION DE RESIDUOS		CARACTERISTICAS DEL VERTEDERO					SISTEMA DE TRATAMIENTO			RIESGOS DE CONTAMINACION		VOLUMEN RESIDUOS hm <sup>3</sup> /a	PUNTO DE VERTIDO	PROCESO DE DEPURACION
	Tm/a	Kg/h/d	Exten. m <sup>2</sup>	Morfol.	Litología	Edad	Caract. Hidrog.	Recub.	Queman	Control	Superficial	Subterránea			
ALBOLOTE (Vertedero de Granada)	2.007	0.84	30.000	Barranco	Conglomerados y arenas	Cuaternario	Permeable	Si	No	No	Alto	Alto	0.13	Bco. Magón	Tanque Imhoff
ALBOLOTE (Vertedero municipal)	2.007	0.84	10.000	Llano	Conglomerados, arenas y arcillas	Plio-Cuat.	Permeable	No	Si	No	Bajo	Bajo	0.13	Juncaril	No funciona
ALBUÑOL (Núcleo)	1.642	0.81	2.000	Barranco	Calizas y dolomías	Triás	Permeable	No	Si	No	Medio	Medio	--	Acequia	
ALBUÑOL (Costa)	1.642	0.81	2.000	Rambla	Esquistos	Plioceno, Triás	Impermeable	No	Si	No	Bajo	Medio/Bajo	--	Mar	
ALGARINEJO	1.277	0.60	2.000	Llano	Margocalizas y margas	Lías	Semipermeable	No	Si	No	Bajo	Bajo	0.15	Arroyo del Molino	
ALHAMA DE GRANADA	1.460	0.66	4.000	Vaguada	Areniscas y calcarenitas	Mioceno Sup.	Permeable	No	Si	No	Alto	Alto	0.46	Acequia	Trto. primario
ALMUÑECAR	6.570	2.19	16.000	Barranco	Micasquistos y cuarcitas	Permo-Triás	Poco permeable	No	Si	No	Medio	Medio/Bajo	7.87	Mar	
ARMILLA	2.555	0.68	3.000	Ladera y llano	Arenas, limos y arcillas		Impermeable	No	Si	No	Bajo	Bajo	0.66	Acequia	
ATARFE	2.372	0.72	8.000	Barranco	Margocalizas y margas	Lías	Poco permeable	No	Si	No	Medio	Bajo	0.67	Acequia	Tanque Imhoff No funciona
BAZA	4.380	0.57	--	Barranco	--	--	Permeable	No	Si	No	--	Alto	1.75	Campo y acequia	
BENAMAUREL													0.13	Río Guardal	Depuradora Buen estado
CANILES	1.125	0.47	2.500	Barranco	Conglomerados y costras	Cuaternario	Permeable	Si	No	Semic.	Alto	Alto	0.61	Campo	
CULLAR BAZA	1.050	0.66	3.000	Llano	Conglomerados y costras	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Alto	Alto	0.39	Río Cúllar	
DURCAL	1.460	0.79	3.000	Barranco	Conglomerados	Mio-Plioceno	Permeable	No	Si	No	Medio/Alto	Medio/Alto	0.48	Río Dúrcal	
LAS GABIAS	365	0.20	1.000	Llano	Conglomerados	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Bajo	Medio	0.34	Acequias	
GALERA													0.04	Río Barbatos	Tanque Imhoff No funciona
GRANADA	82.125	1.01	30.000	Barranco	Conglomerados y limos	Cuaternario, Mioceno	Permeable e impermeable	Si	No	Semic.	Alto	Medio		Acequias	
GUADIX	5.110	0.69	10.000	Barranco	Conglomerados, arenas y limos	Plio-Cuat.	Permeable	No	Si	No	Medio/Bajo	Medio/Bajo	1.20	Acequias	

## RESIDUOS URBANOS

MUNICIPIO	RESIDUOS SOLIDOS								AGUAS RESIDUALES							
	PRODUCCION DE RESIDUOS		Exten. m <sup>2</sup>	CARACTERISTICAS DEL VERTEDERO		SISTEMA DE TRATAMIENTO			RIESGOS DE CONTAMINACION		VOLUMEN RESIDUOS ha <sup>3</sup> /a	PUNTO DE VERTIDO	PROCESO DE DEPURACION			
	Tm/a	Kg/h/d		Morfol.	Litología	Edad	Caract. Hidrog.	Recub.	Queman	Control				Superfial	Subterránea	
HUESCAR	1.800	0.48	1.000	Canal	Conglomerados y costras	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Alto	Alto	0.68	Río		
HUETOR TAJAR	1.825	0.72	--	Llano y río	Conglomerados y arenas	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Alto	Alto	0.51	Río Genil	Trto. secundario No funciona	
ILLORA	2.372	0.66	3.000	Barranco	Calizas	Jurásico	Permeable	No	Si	No	Alto	Alto	0.61	Arroyos		
IZMALLOZ	1.277	0.52	3.000	Barranco	Dolomías	Lías	Permeable	No	Si	No	Medio	Medio	0.41	Río y acequia		
JETE													0.03	Río Verde	Trto. primario Destruida	
LOJA	4.927	0.67	8.000	Llano	Calizas	Jurásico	Permeable	No	Si	No	Medio/Bajo	Alto	1.18	Río Genil		
MARACENA	2.555	0.71			V E R T E D E R O D E G R A N A D A								0.73	Acequia y arroyo		
MOCLIN (Tiena, Olivares)	1.277	0.69	3.000	Barranco	Pie de monte	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Medio	Medio	0.28	Río, arroyo y barranco		
				Puerto Lope	Ladera suave	Calizas	Jurásico	Permeable	No	Si	No	Bajo	Medio	0.28	Arroyo y cañada	
MONTEFRIO	1.004	0.32	3.000	Ladera	Areniscas	Mioceno	Permeable	No	Si	No	Medio	Alto	0.52	Arroyo	Trto. 1º y 2º Fte. Molina No funciona	
MOTRIL	12.045	1.05	15.000	Barranco	Filitas y cuarcitas	Triás Inf.	Semipermeable	No	Si	No	Medio	Medio	8.58	Rambla del Puntalón	Trto. secundario Buen estado	
ORGIVA	1.277	0.70	4.000	Río-Rambla	Conglomerados y arenas	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Alto	Medio	0.24	Río Guadalfeo	Decantador Buen estado	
PADUL	1.642	0.76	4.000	Ladera suave	Calizas y dolomías	Triás	Permeable	No	Si	No	Medio	Medio	0.45	Rambla de Arcángeles		
PINOS PUENTE	3.102	0.68	3.000	Barranco	Conglomerados	Plio-Cuat.	Permeable	No	Si	No	Alto	Alto	1.12	Río Velillos y Cubillas		
SOLOBREÑA	2.555	1.13	--	Rambla	Conglomerados	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Medio	Alto	3.20	Mar		
SANTA FE	2.920	0.71	10.000	Llano y barranco	Conglomerados y arenas	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Bajo	Alto	0.67	Acequia		
LA ZUBIA	1.642	0.70	10.000	Huecos canteras	Conglomerados y gravas	Cuaternario	Permeable	No	Si	No	Bajo	Medio/Alto	0.44	Acequia		
ZUJAR	900	0.40	400	Ladera	Calizas y arcillas	Plioceno	Semipermeable	No	Si	No	Alto	Medio	0.40	Rambla		