

# Vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación en Andalucía

La detección de la contaminación de las aguas subterráneas y la evaluación de sus efectos presenta mayores dificultades que en el caso de las aguas superficiales. Mientras en estas últimas la identificación y el control de la fuente de contaminación es más sencilla, en un acuífero los problemas de calidad suelen detectarse cuando el proceso contaminante ha afectado ya a amplias zonas del mismo. En tales circunstancias, la adopción de medidas correctoras es costosa y de eficacia no siempre satisfactoria y se ve condicionada por la complejidad de la evolución del contaminante en el terreno, y la consiguiente dificultad de establecer un diagnóstico de las relaciones causa-efecto en el citado proceso.

En contrapartida, el poder depurador del terreno, en especial en acuíferos detríticos con porosidad intergranular y elevado contenido en minerales de arcilla o materia orgánica en la zona no saturada, puede atenuar o reducir los efectos contaminantes, actuando como un sistema de protección natural de las aguas subterráneas.

La **vulnerabilidad** de un acuífero a la contaminación refleja la sensibilidad de las aguas subterráneas frente a posibles alteraciones de calidad de origen antrópico. Dicha característica es función de una serie de factores intrínsecos al medio, entre los que cabe citar:

- Tiempo de tránsito del contaminante desde la superficie al acuífero, a través de la zona no saturada, acuitardos u otros acuíferos intermedios.
- Espesor del acuífero y de la zona no saturada. Profundidad del nivel freático.
- Recarga.
- Naturaleza, grado de desarrollo, heterogeneidades y continuidad lateral del suelo.
- Vegetación y relieve.
- Capacidad de la zona no saturada para atenuar la contaminación (efectos de adsorción, cambio iónico, difusión, presencia de microorganismos, entre otros).

La respuesta del medio a la presencia de un agente contaminante en el terreno dependerá también de la naturaleza, concentración y forma de penetración de este último, y de otros factores extrínsecos tales como la temperatura, pluviometría...

La evaluación de la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación puede realizarse mediante diversos métodos cualitativos y cuantitativos. Entre los primeros, uno de los más comunes es el basado en el establecimiento de una serie de categorías -vulnerabilidad alta, media y baja, por ejemplo-, agrupando los suelos y rocas del área de estudio en cada una de ellas en base a criterios de permeabilidad, espesor, capacidad de atenuación y fracturación, y matizando posteriormente en función de la profundidad del nivel freático y otros datos que se estimen de interés.

En lo que respecta a los métodos cuantitativos, su objetivo es asignar un valor numérico a la vulnerabilidad, en base a consideraciones cuantificables en la medida de lo posible. Puesto que han de manejarse parámetros diversos, algunos de ellos numéricos pero con campos de variabilidad y fiabilidad muy distintos, y otros necesariamente descriptivos, su combinación directa no es viable, por lo que es necesario asignar a cada parámetro considerado un valor de acuerdo con una escala convencional, y luego combinar los diferentes valores en un índice de vulnerabilidad. Entre los métodos más difundidos se encuentran el DRASTIC y el GOD.

La cartografía de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación constituye la técnica de representación de este parámetro más útil y adecuada a efectos de gestión. Tanto las categorías como los índices de vulnerabilidad son susceptibles de representación cartográfica. Los mapas de vulnerabilidad pueden elaborarse mediante métodos clásicos, o a través de sistemas de información geográfica (SIG) si la cartografía de apoyo está informatizada.

Un mapa de vulnerabilidad representa un escenario estático de los riesgos ambientales para la previsión y prevención de la degradación de la calidad del agua subterránea. Sus objetivos básicos son los siguientes:

- Caracterizar zonalmente un área determinada con el fin de evaluar la posibilidad de penetración y difusión de contaminantes en un acuífero, y correlacionar estos datos con la presencia de focos de contaminación puntual o difusa.
- Realizar una valoración del impacto sobre la calidad del agua subterránea, a efectos de prevenir sucesos de tipo catastrófico o derivado de accidente, o para reducir sus efectos.
- Definir los objetivos de prevención y protección en el marco de la planificación del aprovechamiento del recurso, así como orientar acerca del diseño de redes de observación de las aguas subterráneas.
- Definir el cuadro de actuaciones en caso de emergencia hídrica.
- Orientar las decisiones en materia de ordenación del territorio.

## CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD DE ANDALUCÍA

El ITGE ha realizado mediante métodos cualitativos la cartografía de vulnerabilidad a nivel provincial de la totalidad del territorio nacional, con representación a escala 1:200000, así como la síntesis a escala 1:500000 de, entre otras, las cuencas del Guadalquivir, Sur y Guadiana. Ambas han servido de base para la elaboración del presente capítulo.

Esta cartografía se fundamenta en datos de carácter litológico, geológico, tectónico, hidrogeológico e hidroquímico, en función de los cuáles se delimitan las áreas de diferente rango o categoría de vulnerabilidad, cuyos límites pueden o no coincidir con los de sistemas acuíferos o unidades hidrogeológicas. Básicamente se han fijado tres categorías de vulnerabilidad:

- **Zonas de vulnerabilidad baja.** Corresponde a las consideradas desde el punto de vista hidrogeológico como impermeables o de permeabilidad muy baja. Ocasionalmente se incluyen en esta categoría los acuíferos que almacenan agua de calidad natural muy deficiente, o bien contaminadas con carácter prácticamente irreversible.
- **Zonas de vulnerabilidad media.** Se incluyen en este grupo las formadas por materiales permeables por porosidad intergranular o por fisuración, recubiertos por una zona no saturada cuyo espesor, características o ambos proporcionan cierto nivel de protección al acuífero.
- **Zonas de vulnerabilidad alta.** Comprende las unidades formadas por materiales permeables por fisuración o karstificación, en los que la velocidad de circulación y, por tanto, de propagación de la contaminación, es elevada y se realiza apenas sin obstáculo (escasa capacidad de retención de contaminantes y autodepuración muy limitada). Asimismo, se incluyen en este grupo los materiales de porosidad intergranular que si bien debido a su poder de retención disponen de mayor capacidad de autodepuración que los anteriores, carecen de un recubrimiento suficientemente capaz de proporcionar la protección necesaria para preservar la calidad del agua almacenada.

La superficie asignada a estas categorías en cada una de las provincias andaluzas es la siguiente:

	VULNERABILIDAD Y SUPERFICIE						TOTAL
	BAJA		MEDIA		ALTA		
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
ALMERÍA	3831	43,7	467	5,3	4476	51	8774
CÁDIZ	2762	37,4	1745	23,6	2875	39	7382
CÓRDOBA	8893	64,8	3314	24,2	1511	11	13718
GRANADA	6335	50,7	2672	21,3	3524	28	12531
HUELVA	6412	63,5	965	9,6	2708	26,9	10085
JAÉN	9437	70	2178	16	1883	14	13498
MÁLAGA	5026	69	1051	14,5	1199	16,5	7276
SEVILLA	2868	20,5	4691	33,5	6442	46	14001
TOTAL	45564	52,2	17083	19,6	24618	28,2	87265

El cuadro refleja los acuíferos de cada provincia englobados en las diferentes categorías de vulnerabilidad.

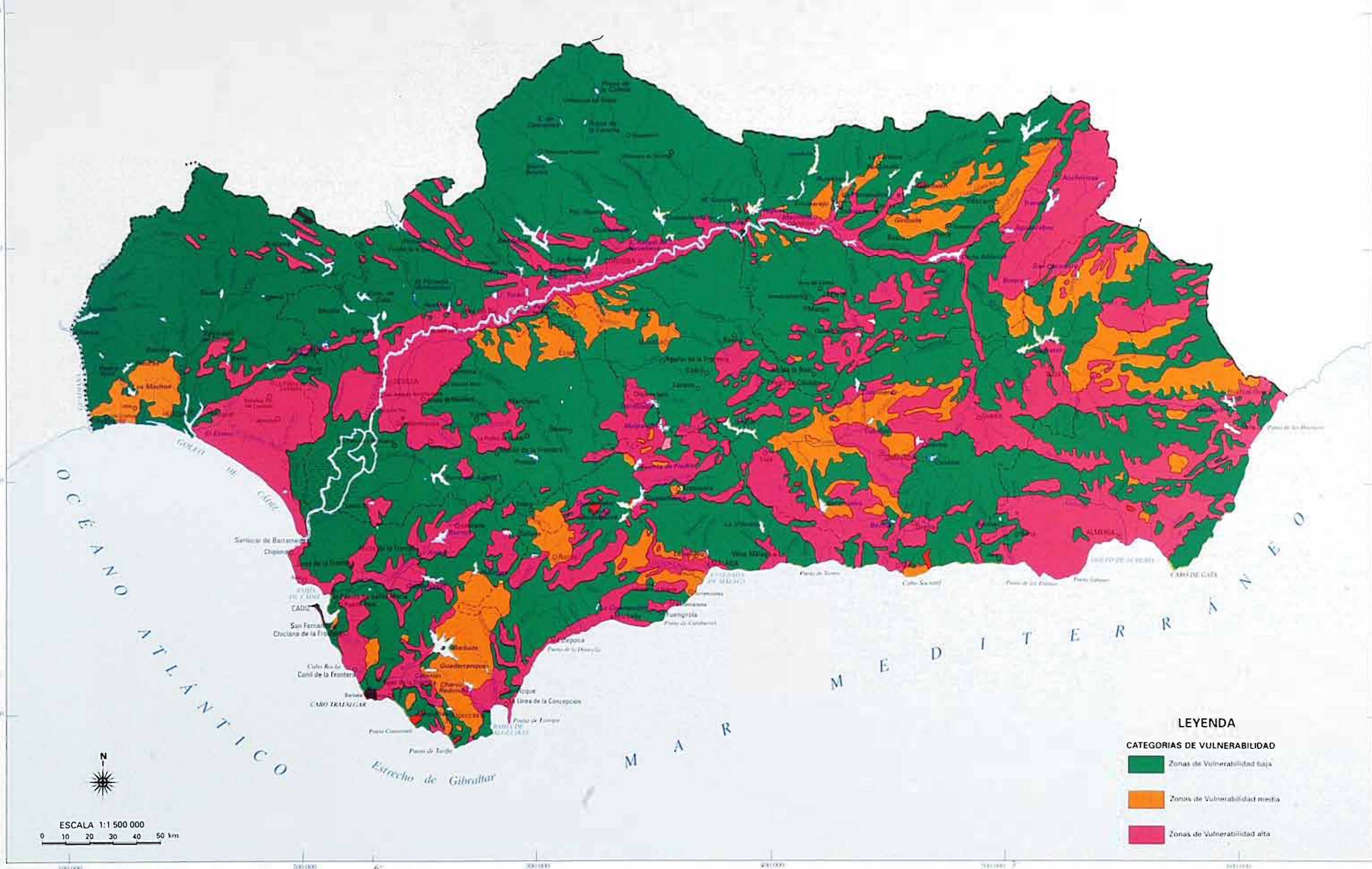
## FOCOS POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las fuentes de contaminación de las aguas subterráneas constituyen un factor que si bien resulta ajeno a la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, se encuentra directamente asociado al riesgo de afección de los mismos. La naturaleza, concentración y procedimiento de vertido del potencial contaminante son elementos decisivos en la valoración de dicho riesgo, en la medida que condicionan su interacción con el medio de la que dependerá, en último término, el grado de desarrollo del proceso contaminante.

El origen de la contaminación de las aguas subterráneas se asocia fundamentalmente a la actividad humana, que genera una amplísima variedad

	BAJA	VULNERABILIDAD MEDIA	ALTA
<b>ALMERÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Núcleos de esquistos paleozoicos de Sierra Nevada y Sierra Filabres, Sierras de Alhamilla, Cabrera y Almagrera; formaciones margosas miocenas de la cuenca del río Almanzora, Aguas, Andarax y margas cretáceas de Los Vélez, y formaciones paleozoicas y permotriásicas Alpujarrides de esquistos y filitas de la zona de Albox-El Saliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formación conglomerática pliocena con intercalaciones de arcilla roja de Cañada de Callepla (comarca de Los Vélez) y margas arenosas del Campo de Nijar, Cuenca del río Andarax y Campo de Dalías.</li> <li>Formación conglomerática miocena muy arcillosa, heterométrica y consolidada, que aflora a lo largo de la cuenca del río Almanzora y Campo de Tabernas.</li> <li>Conjunto de yesos masivos y niveles de margas representados en el sector de Sorbas, Campo de Nijar, Almería.</li> <li>Complejo volcánico de Sierra de Gata y de La Serrata.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formaciones carbonatadas representadas por los macizos que rodean a las grandes alineaciones estructurales de Sierra Nevada y Sierra Filabres; en el sector norte, los acuíferos de Sierra María y Orce, La Zarza y Gigante-Pericay; en la cuenca del río Almanzora, todas las formaciones calizo dolomíticas y mármoles de las sierras del sureste, Estancias y Filabres; en el sector oriental, las sierras de Bédar, Cabrera y Alhamilla; al sur, la Sierra de Gádor y, finalmente, los complejos arcillosales neógenos del Campo de Dalías, Nijar y Cuenca de Sorbas.</li> <li>Niveles terciarios y pliocuaternarios del Campo de Dalías, Campo de Nijar, El Saltador, Cubetas de la Bailabona, Pulpi, Valle Bajo y Medio del Andarax, etc.</li> <li>Formaciones recientes, con una litología muy variada, de gravas, arenas, conglomerados y limas más o menos arenosas, que forman los depósitos de los ríos Adra, Andarax y Almanzora, ramblas, glacis, conos de deyección, etc.</li> </ul>
<b>CÁDIZ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formaciones de areniscas, margas y arcillas, ampliamente distribuidas en toda la provincia, que no constituyen acuíferos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de Puerto Real-Conil de la Frontera, cuyos acuíferos están formados por arenas, areniscas, y calcarenitas del Mioceno superior (Saheliense) y gravas y arenas aluviales y dunas correspondientes al Cuaternario.</li> <li>Área de Vejer de la Frontera-Barbate, constituida por calcarenitas y arenas del Mioceno superior-Plioceno.</li> <li>Acuíferos del Campo de Gibraltar, que engloban el Plioceno de Sotogrande y las denominadas areniscas de Níjibe, que afloran en la región suroccidental de la provincia.</li> <li>Acuífero de Jerez de la Frontera, constituido por arenas finas del Mioceno superior (Saheliense), Plioceno y limos del Cuaternario.</li> <li>Acuífero del Puerto de Santa María, formado por arenas, areniscas y calcarenitas del Mioceno superior (Saheliense), y arenas finas y medias con intercalaciones de areniscas y lentejones de arcillas que forman terrazas marinas del Cuaternario.</li> <li>Acuífero de Setenil, constituido por un paquete muy potente y heterogéneo de calcarenitas, areniscas, conglomerados, calizas y arcillas del Mioceno superior.</li> <li>Acuífero de Arcos-Bornos-Espera, formado por calcarenitas, areniscas y arenas del Mioceno transgresivo de Base.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aluviales asociados a los ríos Guadalete, Barbate, Almódovar, Guadaro, Guadarranque, Palmones y otros de menor entidad.</li> <li>Formaciones carbonatadas muy fisuradas, karstificadas o ambas de la Sierra de Grazalema, Sierra de Lijar o de la Sierra de Las Cabras, y otras unidades carbonatadas de menor rango en la zona centro-oriental de la provincia, así como el Peñón de Gibraltar.</li> <li>Niveles terciarios y pliocuaternarios formados por arenas y areniscas y que se desarrollan a lo largo de la costa desde Cádiz-Puerto de Santa María-Sanlúcar de Barrameda en el extremo sur-occidental, y las áreas de Tarifa, Bahía de Algeciras y Línea de la Concepción en el extremo sur-oriental, así como el surco central del río Guadalete.</li> </ul>
<b>CÓRDOBA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales metamórficos del Precámbrico-Carbonífero que constituyen el Macizo Hespérico, presentes en la mayor parte de Sierra Morena.</li> <li>Margas del Tortonense superior, que constituyen la mayor parte del relleno de la Depresión del Guadalquivir, y margas, margocalizas, areniscas y olistostromas margosos del Paleoceno-Mioceno.</li> <li>Margas y margocalizas del Cretácico Subbético.</li> <li>Margas y arcillas con yesos del Triás Keuper, así como otras formaciones de menor extensión superficial como el Triás del borde de la Meseta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sedimentos detríticos del Mioceno superior y Pliocuaternario, y algunos depósitos cuaternarios de características variables, asociados en ocasiones a los acuíferos carbonatados en sus áreas de borde.</li> <li>Acuífero del Altiplano de Écija (contiene aguas de mala calidad).</li> <li>Rocas ígneas (granitos) y algunas metamórficas (Cuarcita Armoricana) del área de Sierra Morena, permeables por fisuración, que contienen aguas de excelente calidad y que en ocasiones son la única fuente de suministro de pequeñas aldeas o núcleos rurales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales carbonatados del Jurásico (y en ocasiones Triás) que constituyen los acuíferos del Subbético, y las calizas cámblicas.</li> <li>Afloramientos del Mioceno de base del borde de la Meseta, y depósitos aluviales ligados al río Guadalquivir y sus principales afluentes, así como algunos depósitos del Mioceno o Pliocuaternario (arenas y gravas o calcarenitas).</li> <li>Aluviales de escasa entidad o con permeabilidad media, pero ligados a importantes áreas de descarga de acuíferos del Subbético.</li> </ul>
<b>GRANADA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales metamórficos o metapelíticos indiferenciados del Precámbrico-Paleozoico o Triás inferior pertenecientes al Complejo Nevado-Filábride o Alpujarride (afloramientos de Sierra Nevada, Sierra de Baza, La Contraviesa, Los Filabres y sector costero).</li> <li>Arcillas, margas abigarradas con yesos y evaporitas del Triás-Keuper que afloran principalmente al NO de Sierra Gorda.</li> <li>Alternancia de areniscas, margas, arcillas, margocalizas y calizas del Cretácico inferior-Mioceno superior de formaciones subbéticas, que constituyen una amplia banda que se extiende desde el norte de Sierra Gorda y este del Gernil hasta Villanueva de las Torres, y que afloran también en el extremo nororiental de la provincia.</li> <li>Mio-Plioceno margoso de las depresiones interiores de Granada y Guadix-Baza, y depósitos cuaternarios de arcillas y turbas en la turbera del Padul.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales jurásico-cretácicos del Prebético y Subbético semipermeables en conjunto (margas, calizas, etc.).</li> <li>Conjuntos detríticos del Mioplioceno y Cuaternario en áreas de borde las depresiones de Granada, Padul, Guadix-Baza, que presentan cierta abundancia de elementos fósiles.</li> <li>Niveles calcáreos o detríticos terciarios de permeabilidad relativamente alta, pero que presentan escaso espesor y extensión y se encuentran intercalados en materiales de baja permeabilidad (Eoceno, Oligoceno y Mioceno).</li> <li>Materiales fisurados o detríticos, en principio de alta permeabilidad, pero cuyo aprovechamiento actual y futuro se ven limitados por contener aguas de calidad mediocre al estar en contacto con el mar (áreas de Carchuna y algunos afloramientos carbonatados costeros).</li> <li>Materiales cuaternarios sin diferenciar, glacis de desarrollo variable y aluviales de cursos de agua secundarios, en general sobre materiales de media o baja permeabilidad y sin comunicación con otros acuíferos de interés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calizas, dolomías y mármoles del Paleozoico-Triás superior del Complejo Alpujarride, que constituyen las elevaciones principales de los bordes noroeste y oeste de Sierra Nevada, Sierra de Baza, estribaciones de Sierra de las Estancias y Sierras de Tejeda, Almijara, Albuñuelas y Lújar.</li> <li>Formaciones carbonatadas mesozoicas del Prebético y Subbético, intensamente fisuradas y/o karstificadas, de las Sierras de Orce, Castril, Seca, Huescar-Puebla, La Zarza, Sierra Gorda y otras unidades carbonatadas de menor rango al norte de la Depresión de Granada.</li> <li>Conglomerados y arenas del Mioceno superior en las zonas de Baza-Serón-Camiles y al este de Guillar Baza.</li> <li>Materiales detríticos gruesos del Pliocuaternario de las depresiones de Granada y Guadix-Baza.</li> <li>Cuaternarios aluviales de los principales cursos de agua y materiales detríticos costeros de alta permeabilidad (Almuñécar, Motril-Salobreña y otros).</li> </ul>
<b>HUELVA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Batelitos graníticos y materiales paleozoicos plegados durante la Orogenia Hercínica, con una dirección general NO-SE, que ocupan más de las dos terceras partes de la provincia en su mitad septentrional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acuífero de Ayamonte-Huelva.</li> <li>Afloramiento de rocas graníticas situados en las estribaciones de Sierra Morena. Se trata de afloramientos meteorizados que dan lugar a un "lehm" granítico que, puntualmente y por acumulación en los valles, origina un acuífero de material detrítico de tipo arcósico, de interés hidrogeológico local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calizas y dolomías paleozoicas (cámbricas) con permeabilidad por fisuración, que afloran en bandas alargadas y estrechas y de dirección sensiblemente E-O al norte de la provincia (zonas de Aracena y de Cala).</li> <li>Aluvial reciente del río Guadalquivir que se extiende por el extremo sureste de la provincia, integrado en el acuífero de Almonte-Marismas, y en el cual se ubica parte del Parque Nacional de Doñana.</li> <li>Conglomerados de base y gravas, melasas, arenas, areniscas y arcillas del Mioceno transgresivo de base (afloran en el área de Niebla).</li> <li>Terrazas asociadas a la desembocadura de los ríos Odiel, Tinto y de la Bota al oeste de Huelva.</li> <li>Niveles detríticos asociados a la desembocadura del Guadiana en la zona de Ayamonte-Isla Cristina y en toda la banda lateral, y terrazas asociadas al curso bajo del río Piedras.</li> <li>Unidad terciaria de Almonte.</li> </ul>
<b>JAÉN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales metamórficos del Precámbrico-Carbonífero que constituyen el Macizo Hercínico (pizarras, esquistos, arcosas y cuarcitas, esencialmente), presentes en la mayor parte de Sierra Morena.</li> <li>Formaciones margosas del Tortonense superior, que constituyen la mayor parte del relleno de la Depresión del Guadalquivir, y las margas, margocalizas, areniscas y olistostromas margosos del Paleoceno-Mioceno, que aparecen en general en una situación intermedia entre la Campiña y las primeras elevaciones subbéticas.</li> <li>Margas y margocalizas del Cretácico Subbético y, en menor medida, del Prebético, que suelen aparecer en el entorno más próximo a los relieves carbonatados permeables del Jurásico o Cretácico, y constituyen en general su techo impermeable.</li> <li>Margas y arcillas con yesos del Triás Keuper, que ocupan extensiones considerables en la región suroccidental de Jaén.</li> <li>Otras formaciones tales como el Triás del borde de la Meseta, margas y margocalizas del Dogger-Malm en algunos dominios del Subbético, o glacis y aluviales cuaternarios de escaso desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formaciones semipermeables en conjunto del Cretácico y Jurásico, constituidas por calizas o calizas tabeadas con abundancia de intercalaciones margocalizas o margosas; sedimentos detríticos o detrítico-carbonatados del Mioceno superior, y Pliocuaternario y algunos depósitos cuaternarios de características variables pero asociados a los acuíferos carbonatados en sus áreas de borde.</li> <li>Aluvial del Guadalbullón, entre Jaén y Mengibar.</li> <li>Rocas ígneas (granito) y algunas metamórficas (Cuarcita Armoricana esencialmente) del área de Sierra Morena permeables por fisuración, con aguas de muy buena calidad y que en amplias zonas son la única fuente posible de suministro para pequeñas aldeas o núcleos rurales, al menos en estiajes prolongados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales carbonatados del Jurásico y Cretácico (y en ocasiones Triás o Mioceno) que constituyen los principales acuíferos de la provincia.</li> <li>Afloramientos del Mioceno de base del borde de la Meseta y los depósitos aluviales ligados al río Guadalquivir y sus principales afluentes.</li> <li>Otros aluviales de menor entidad, con permeabilidad media o relativamente mejor protegidos, pero ligados a importantes áreas de descarga de acuíferos carbonatados con agua de muy buena calidad.</li> </ul>
<b>MÁLAGA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afloramientos de formaciones esquistosas del Paleozoico Maláguide y Alpujarride, que ocupan gran parte del territorio situado al sur de las cadenas montañosas que cruzan la provincia de suroeste a este, incluyendo las masas peridotíticas del extremo occidental.</li> <li>Afloramientos de formaciones del Flysch próximos a Los Torcales y del extremo noreste de la Serranía de Ronda, así como las formaciones del Jurásico superior, Cretácico y Paleógeno relacionados con los relieves subbéticos.</li> <li>Afloramientos del Triás de la Serranía de Ronda y de la región de Antequera, incluyendo la banda triásica karstificada de Archidona-Antequera-Campillos, en este último caso debido a la elevada salinidad del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mioceno de la Depresión de Ronda.</li> <li>Afloramientos de las Areniscas del Ajibe del Flysch del Campo de Gibraltar, situados al oeste de Cádiz y en la cuenca Baja del Guadalhorce.</li> <li>Mioceno y Plioceno de la Hoya de Málaga.</li> <li>Afloramientos detríticos del área de Antequera y Fuente de Piedra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Macizos carbonatados del Jurásico y Triásico de la Serranía de Ronda, Cadena de los Torcales, Sierras de Tejeda-Almijara y Sierra Blanca-Sierra de Mijas.</li> <li>Acuíferos detríticos de la Cuenca de Antequera, incluyendo el aluvial del Alto Guadalhorce, cuaternarios de Campillos y Archidona y parte de la cuenca endorreica de Fuente de Piedra, así como los pequeños relieves carbonatados de Humilladero, Mollina, Archidona...</li> <li>Aluvial del Bajo Guadalhorce en la Hoya de Málaga, y acuíferos costeros de Marbella-Estepona, Fzengirola y Vélez-Málaga.</li> </ul>
<b>SEVILLA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formación paleozoica que aflora al norte de Sevilla, y materiales arcillo-yesíferos del Triás-Keuper que afloran al sur de la provincia y en su extremo sureste.</li> <li>Margas azules del Tortonense que afloran al norte de Sevilla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niveles del Plioceno marino formados por margas y arcillas de escasa potencia con lentejones de arena fina.</li> <li>Glacis sedimentarios formados por conglomerados y arenas con limas y arcillas.</li> <li>Materiales graníticos alterados que afloran en la Sierra Norte de la provincia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calizas y dolomías paleozoicas con permeabilidad por fisuración, que afloran al norte de la provincia (Higuera La Real, Almadén de la Plata, Constantina, etc.).</li> <li>Arenas, areniscas, gravas y conglomerados con frecuentes cambios laterales de facies, pertenecientes al Mioceno transgresivo de Base, e integrados en el acuífero "Conglomerados del borde de Sierra Morena".</li> <li>Calcarenitas de Carmona, pertenecientes al Mioceno superior (Saheliense), y arenas y gravas del Plioceno continental.</li> <li>Terrazas fluviales y aluvial reciente del río Guadalquivir formado por gravas, arenas, limos y arcillas de alta permeabilidad por porosidad.</li> <li>Acuífero detrítico del área de El Coronil-El Arahai-La Puebla de Cazalla-Marchena, y acuífero Sevilla-Carmona, formado por calcarenitas del Mioceno superior (Saheliense).</li> <li>Niveles carbonatados jurásicos que afloran en las inmediaciones de Estepa.</li> </ul>

# MAPA DE VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS FRENTE A LA CONTAMINACIÓN EN ANDALUCÍA



**LEYENDA**

**CATEGORIAS DE VULNERABILIDAD**

- Zonas de Vulnerabilidad baja
- Zonas de Vulnerabilidad media
- Zonas de Vulnerabilidad alta

de sustancias ajenas a la composición natural del agua, o bien presentes en la misma pero en concentraciones muy bajas. Dichas sustancias pueden llegar a incorporarse a los acuíferos por diversas vías, que comprenden desde los vertidos incontrolados, accidentales o mal diseñados, hasta ciertas prácticas directamente ligadas a procesos productivos, tales como la fertilización agrícola o la aplicación de productos fitosanitarios a las cosechas.

Asimismo, ciertas actividades pueden incluir la puesta en contacto de aguas naturales de calidad satisfactoria con otras de características menos favorables que provocan, en ocasiones, un grave perjuicio a las primeras. Es el caso, por ejemplo, de la sobreexplotación de los acuíferos costeros responsable de los procesos de intrusión marina, que llega a hacer inviable cualquier tipo de aprovechamiento del agua subterránea.

Los focos potenciales de contaminación suelen clasificarse en función de su origen, distinguiendo básicamente tres grupos: agrarios, urbanos e industriales. Para conocer en qué medida su existencia supone una amenaza concreta para la calidad de las aguas subterráneas, sería necesario realizar una evaluación individualizada y exhaustiva de cada uno de ellos, tarea que excede los objetivos del presente documento. No obstante, es posible

#### VALORACIÓN DE LOS FOCOS DE CONTAMINACIÓN DE ORIGEN AGRARIO, URBANO E INDUSTRIAL

Área hidrogeológica	Agrícola			Ganadera	Urbana		Industrial
	Sup. cult. (ha)	N (t/año)	N (t/año/ha)	Pob. equiv. (hab)	RSU (t/año)	RLU (hm <sup>2</sup> /año)	Potencia instalada (kw/año)
A	112550	25270	0,22	389180	27980	7,6	7140
B	72300	18430	0,25	217810	57730	23,5	48900
C	7260	1320	0,18	56900	4220	1,9	1603
D	28610	5610	0,20	158590	17720	6,1	10000
E	82180	15130	0,18	410876	63620	37,9	84400
F	122360	31310	0,26	418430	69040	18,2	59700
G	37760	10560	0,28	95260	16700	6,8	6070
H	79720	14670	0,18	1074780	17810	5,1	41670
I	313350	51180	0,16	1387990	373860	136,6	472460
J	87900	16860	0,19	296670	36930	14,6	33500
K	100480	17370	0,17	518760	105340	29,7	185960
L	30510	4260	0,12	431750	38440	4,3	2985
M	49785	5150	0,10	464620	105175	28,3	53605
N	35345	3180	0,10	106200	48075	32,0	35095
O	62546	5162	0,08	184076	16051	7,5	21357
P	46609	2027	0,04	49995	23658	11,1	57256
Q	28811	3283	0,11	301647	191375	93,1	197045
R	12634	1578	0,12	117403	60688	29,5	21262
S	5402	620	0,11	281229	29690	14,0	255986
T	92750	12670	0,14	1153610	58250	28,2	135690
U	43390	5600	0,13	779470	152080	63,1	24760
X	6748	895	0,13	23829	3062	3,3	3049
Y	67382	5995	0,09	263746	12302	5,0	4076
Z	37264	4214	0,11	494023	27790	11	5419
TOTAL	1563646	262344	0,17	9676844	1557587	618	1768988

realizar ciertas estimaciones que proporcionen una aproximación razonable a la situación de riesgo real respecto a cada uno de los grupos citados. En tal sentido, el cuadro refleja, para cada área hidrogeológica, un conjunto de parámetros que informan acerca de dicha situación de riesgo, estimados para cada uno de los grupos de focos de contaminación arriba citados.

#### Focos de contaminación de origen agrario

Las actividades agrarias pueden dar lugar a dos tipos de fuentes de contaminación: puntuales y difusas. Entre las primeras figuran fundamentalmente las explotaciones ganaderas de tipo intensivo, que generan residuos animales con una elevada carga orgánica; las de carácter difuso corresponden a las prácticas agrícolas de fertilización y de aplicación de productos fitosanitarios.

Los abonos, principalmente los de tipo mineral, así como los pesticidas, herbicidas y demás productos fitosanitarios, generan sustancias que pueden percolar hasta el acuífero mediante un proceso que resulta notablemente favorecido por la infiltración de los excedentes de riego. Además, si éste se realiza con las aguas subterráneas subyacentes, puede producirse un efecto acumulativo sobre los contaminantes conservativos. La presencia en el agua de estas sustancias se califica como indeseable, puesto que resultan nocivas para la salud, circunstancia que en ocasiones ha obligado a desestimar el aprovechamiento para usos urbanos de algunos acuíferos.

En el cuadro se refleja la carga contaminante que generan las actividades agrícola y ganadera en cada una de las áreas hidrogeológicas expresada, en el primer caso, en toneladas de nitrógeno/año, y en términos de población equivalente en el segundo. Se incluye también una estimación de la superficie cultivada, así como el coeficiente de aplicación de nitrógeno por hectárea.

Las áreas hidrogeológicas I y F (provincias de Córdoba, Sevilla y Jaén) registran los valores más elevados de aplicación anual de nitrógeno, mientras que la relación nitrógeno/ha. cultivada más alta aparece en las áreas G (acuíferos de la Sierra Sur de Córdoba) y B (acuíferos de la Sierra Sur de Jaén). Respecto a la ganadería, los valores más elevados de población equivalente corresponden, en orden decreciente, a las áreas I, T (Cádiz) y H (Córdoba y Sevilla).

#### Focos de contaminación de origen urbano

Comprende los residuos sólidos y líquidos generados en los núcleos de población. Los residuos sólidos se generan a partir de las actividades urbanas de producción y consumo: restos orgánicos, papel y cartón, plástico, vidrio, textiles, madera, enseres domésticos... Los residuos líquidos están formados por las aguas procedentes de usos domésticos (limpieza y cocina) y sanitarios, limpieza viaria... Ambas categorías pueden incluir también los residuos generados por las industrias situadas dentro del casco urbano o en sus proximidades, que vierten al alcantarillado y/o hacen uso de los servicios de recogida de basuras domésticas.

La producción de residuos sólidos urbanos en Andalucía asciende a 2200000 t/año, de los que aproximadamente el 31,1% se vierten de forma incontrolada, situación que afecta principalmente a las provincias de Granada y Jaén. Por otra parte, según indica el Plan Nacional de

Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales, sólo el 51,7% de la población de Andalucía está conectada a estaciones depuradoras de aguas residuales. Estos datos son significativos a efectos de describir el marco general de riesgo para las aguas subterráneas.

En el cuadro se incluye la producción anual de residuos urbanos (sólidos y líquidos) para el conjunto de poblaciones asentadas en cada una de las áreas hidrogeológicas consideradas. Naturalmente, los valores más elevados aparecen asociados a las unidades donde se concentra el mayor número de habitantes. En concreto, las cifras más elevadas de producción de residuos, tanto sólidos como líquidos, aparecen asociadas a las áreas hidrogeológicas I, Q y U, en las que se encuentran las ciudades de Sevilla, Málaga y Cádiz, respectivamente.

#### Focos de contaminación de origen industrial

La gama de sectores industriales existentes en Andalucía es amplísima: refino de petróleo, minería, siderurgia, industria química, papelera, naval, textil y de automoción, producción de energía eléctrica, almazaras, alcohólicas, azucareras, etc. son sólo algunos ejemplos. Ello supone una variedad igualmente amplia de posibles fuentes de contaminación. El cuadro adjunto refleja los valores de potencia instalada para cada una de las áreas hidrogeológicas, que proporcionan una orientación acerca del grado de desarrollo industrial en cada una de ellas. Los valores más elevados corresponden, en orden decreciente, a las áreas hidrogeológicas I, S, Q y K, relacionadas respectivamente con las áreas industriales de Sevilla, Cádiz, Málaga y Huelva.

En el caso concreto de los residuos tóxicos y peligrosos, según datos de la Junta de Andalucía su producción alcanzó en el año 1993 una cifra del orden de 136000 t. Más del 70% de esta producción se concentra en los siguientes sectores: metalurgia (20,3%), servicios comerciales (17,7%), industria química (16,9%) e industria paraquímica (16,9%). El 76,8% del total de RTP's se produce en las provincias más industrializadas: Huelva, Cádiz y Sevilla.



Detalle del área de surgencia de los manantiales de Mingo en la provincia de Jaén, donde puede observarse la existencia de residuos sólidos arrastrados por las últimas tormentas ocurridas en la zona (Primavera de 1996). (12)