

***VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR
ACTIVIDADES URBANÍSTICAS EN LA
COMUNIDAD VALENCIANA***

SERIE: *PUBLICACIONES DE DIVULGACIÓN TÉCNICA*

COLECCIÓN: "*CARTOGRAFÍA TEMÁTICA*" Número 2

***VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR
ACTIVIDADES URBANÍSTICAS EN LA
COMUNIDAD VALENCIANA***



GENERALITAT VALENCIANA

**CONSELLERIA D'OBRES PÚBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS
DIRECCIÓ GENERAL D'URBANISME I ORDENACIÓ TERRITORIAL**

VALENCIA 1998

EVREN

Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por actividades urbanísticas en la Comunidad Valenciana / trabajo realizado por EVREN (Evaluación de Recursos Naturales S.A.) en el marco del convenio entre la Universitat Politècnica de València y la Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. -- Valencia : COPUT, 1998. -- 70 p. + 1 cd-rom + 1 plan. pleg. ; 30 cm. -- (Publicaciones de Divulgación Técnica. Colección "Cartografía Temática" ; 2)

ISBN: 84-482-1621-0

1. Recursos hidráulicos-contaminación - Valencia (Comunidad Autónoma)
2. Urbanismo

I. Universitat Politècnica de València. II. Valencia (Comunidad Autónoma). Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports III. Serie 628.19:711(460.31)

711



GENERALITAT
VALENCIANA

CONSELLERIA D'OBRES PÚBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS
CONSELLERIA D'OBRES PÚBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS

Edición: Copyright © Generalitat Valenciana
Conselleria d'Obres Públiques Urbanisme i Transports

Autores: Evaluación de Recursos Naturales, SA (EVREN)

Diseño y maquetación: Servicio de Información Territorial y Divulgación
Dirección General de Urbanismo y Ordenación Territorial

Impresión: Gráficas Vernetta, SA

ISBN: 84-482-1621-0

Depósito legal:

PRESENTACIÓN

La Comunidad Valenciana es una de las regiones españolas en las que el agua es un recurso limitado, lo que recomienda la necesidad de adoptar medidas tendentes a garantizar su preservación, tanto en volumen como en calidad.

El medio geológico ofrece cierto grado de protección a la contaminación de los acuíferos, debido a sus propias características intrínsecas atenuadoras de la carga contaminante. En la medida en que conozcamos que zonas de nuestra comunidad son más o menos vulnerables a este tipo de contaminación, podremos conseguir una distribución más racional de los usos urbanísticos. De este modo, una vez identificados los riesgos potenciales, se podrán diferenciar que áreas no son las más adecuadas para la implantación de actividades contaminantes, y cuales son susceptibles de admitirlas por contar el medio con suficiente capacidad para autodepurar determinado tipo de contaminación.

En este contexto, la Generalitat Valenciana, en el marco de un convenio suscrito entre la Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes y la Universidad Politécnica de Valencia, encargó la realización de una *cartografía sobre la vulnerabilidad de las aguas subterráneas por actividades urbanísticas en la Comunidad Valenciana*, la cual se presenta en esta publicación. En ella se contempla la división de nuestro territorio en zonas homogéneas caracterizadas por el grado de protección que ofrece el medio a la transmisión y difusión de los agentes contaminantes hacia las aguas subterráneas.

De esta manera, a partir de ahora, las personas y organismos intervinientes en los procesos de la planificación urbanística van a contar con una nueva herramienta de trabajo en la que basarse al tener que proponer o decidir la implantación de nuevos usos urbanísticos en el territorio.

LUIS FERNANDO CARTAGENA TRAVESEDO
Conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes.

INDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO	5
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 REALIZACIONES ESPAÑOLAS	7
2. UTILIDAD DE LA CARTOGRAFÍA	9
3. RESEÑA SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA	13
4. METODOLOGÍA	17
4.1 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	19
4.2 FUENTES DOCUMENTALES UTILIZADAS	20
4.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	21
4.4 JUSTIFICACIÓN DE LAS CLASES DE SENSIBILIDAD Y DE LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD SELECCIONADAS	24
5. RESULTADOS OBTENIDOS	29
6. BIBLIOGRAFÍA	35
ANEJO 1. DOCUMENTACIÓN HIDROGEOLÓGICA UTILIZADA	39
ANEJO 2. MÉTODOS DE REHSE Y BOLSENKÖTER DE EVALUACIÓN DEL PODER DEPURADOR DE MEDIOS POROSOS Y FISURADOS	45
ANEJO 3. RELACIÓN DE AREAS CUYA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS ES ALTA O MUY ALTA	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

La Comunidad Valenciana es una de las regiones españolas en las que el agua constituye un factor limitante del desarrollo social y económico, y en la que la fase subterránea del ciclo hidrológico alcanza una mayor importancia cuantitativa, con unos recursos renovables cuantificados en 2.000 Hm³/año; de hecho, las aguas subterráneas abastecen al 62% de las demandas para usos urbanos y el 80% de las de usos industriales. Con ellas se riegan más de 116.000 hectáreas de cultivo; y, en régimen mixto con la aguas superficiales, se abastecen otras 54.000 hectáreas. Para abastecer a estas demandas se utilizan anualmente 1.500 Hm³ de agua que equivalen a un caudal continuo de 48 m³ por segundo.

Ante estas circunstancias, cualquier acción que contribuya a preservar la riqueza representada por los recursos hídricos subterráneos tiene plena justificación; por ello, la Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Generalitat Valenciana ha decidido incorporar en los procesos de toma de decisiones que afectan a los usos del territorio las variables relacionadas con la calidad y la disponibilidad de los recursos hídricos.

En consecuencia, la cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por actividades urbanísticas es el resultado de una iniciativa de la Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, a través de su Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Este trabajo se realiza en el marco de un convenio de colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia por la Empresa EVREN, Evaluación de Recursos Naturales, S.A. bajo la dirección y supervisión del Servicio de Ordenación del Territorio. La escala elegida ha sido la 1:50.000, y comprende las 71 hojas que constituyen la totalidad del territorio de la Comunidad Valenciana.

1.2 ANTECEDENTES

El término "vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas" fue introducido a finales de la década de los años sesenta por el hidrogeólogo francés MARGAT y el concepto se basa (MARGAT, J., 1968) en la tesis de que el medio geológico y la cubierta edafológica proporcionan un cierto grado de protección a las aguas subterráneas frente a contaminantes de origen tanto natural, como derivados de actividades humanas.

No obstante, a pesar de las casi tres décadas de utilización y aplicación del término vulnerabilidad, no existe una definición generalmente reconocida y aceptada del término. La Asociación Internacional de Hidrogeólogos (VRBA, J., and ZAPOROZEC, A., 1994) emplea y reco-

mienda el empleo del término vulnerabilidad como una propiedad intrínseca de un sistema hidrogeológico que depende de la sensibilidad del sistema a impactos de origen natural y humano.

La finalidad última de los mapas de vulnerabilidad es la división del territorio en áreas de diferente aptitud potencial para un propósito o uso específico, es decir, son mapas orientados a usos u objetivos concretos.

Las primeras realizaciones tuvieron lugar en Europa, a mediados de los años sesenta, y se desarrollaron con carácter extensivo en los años setenta en los países europeos (principalmente en Francia, Alemania y Checoslovaquia) y en Estados Unidos, si bien se trataba inicialmente de grandes coberturas territoriales a pequeña escala, en general de cobertura nacional.

La siguiente generación de mapas de vulnerabilidad se abordó con el fin de dar cobertura a las escalas medias a grandes que requieren las visiones regionales y comarcales. Así, desde principios de los ochenta se ha publicado en todo el mundo un considerable número de mapas de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a la contaminación de diversas fuentes.

Algunos de los mejores y más representativos ejemplos de la primera generación de mapas de vulnerabilidad son los recogidos en un documento de síntesis realizado por VRANA (1984), que incluye ejemplos franceses, checoslovacos, polacos, rusos, búlgaros, alemanes y españoles (IGME, 1976 y 1979).

Quizá la mejor síntesis sobre el estado de la cuestión sea la proporcionada por VRBA y ZAPOROZEC (1994), en una publicación de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, que resume las principales realizaciones en la materia, sus objetivos, resultados, aptitudes y limitaciones de aplicación de este tipo de cartografía.

A grandes rasgos, los antecedentes más significativos de este tipo de cartografía quedan recogidos en los siguientes párrafos.

El mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos en Francia, a escala 1:1.000.000, elaborado por ALBINET (1970) puede ser considerado la primera aportación con la denominación "mapa de vulnerabilidad". Basado en criterios de composición litológica de rocas y depósitos, define seis categorías primarias y nueve secundarias de acuerdo con el riesgo potencial creciente de contaminación. Tiene un carácter orientativo previsor, a escala nacional, de localización de las regiones más sensibles del país al riesgo potencial de contaminación derivado de acciones humanas.

La siguiente fase en este tipo de cartografía estuvo orientada a cubrir el territorio nacional, desde las zonas más sensibles a las menos vulnerables, pero a escalas de medias a grandes, con objeto de preservar las aguas subterráneas de abastecimiento público de la contaminación producida por cualquier causa. Entre éstos cabe resaltar, por su consistencia y carácter sistemático, los mapas de vulnerabilidad realizados en Francia por el Bureau de Recherches Geologiques et Minières (BRGH), a escalas 1:50.000 y 1:100.000 a partir de 1973 a razón de cuatro hojas por año.

En Checoslovaquia se inicia en 1970 un programa de cartografía en serie de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas del país a escala 1:200.000 (OLMER y REZÀC, 1974). Desde entonces y hasta mediados de los ochenta tiene lugar un prolífico desarrollo de este tipo de cartografía a escala nacional y regional, siendo esta temática objeto de celebración de varios congresos: uno en Holanda en 1987 sobre metodologías y avances en la aplicación práctica de éstas y otro en 1989, celebrado en Alemania sobre clasificación y metodologías temáticas de elaboración de mapas de vulnerabilidad.

La mayor parte de estos mapas de vulnerabilidad están basados en criterios litológicos y edafológicos de las zonas no saturadas, así como en criterios hidrogeológicos de las características del flujo en las zonas saturadas de los acuíferos. Suelen tener un carácter orientativo para prevenir la ubicación de actividades contaminantes concretas y están enfocados para informar los procesos de toma de decisiones que afectan a niveles de planeamiento. La siguiente generación de mapas de vulnerabilidad, que se inicia en la segunda mitad de los ochenta, está orientada a escalas más detalladas, propias del ámbito local, no solo enriquecidas con el mayor detalle cartográfico, sino también, y lo que es más importante, a través de la incorporación de mucha mayor información hidrogeológica sintética en cada una de las categorías de vulnerabilidad. Supone el paso de la cartografía cualitativa de interpretación e integración de mapas temáticos, a la cartografía semicuantitativa de escala detallada que integra además información cuantitativa medible de variables hidrogeológicas significativas (p. ej. espesor de zona no saturada, variaciones de la superficie piezométrica, recarga neta, parámetros cualitativos del agua, parámetros hidráulicos, etc.) que permiten subdividir el territorio en recintos más pequeños de características de vulnerabilidad más concretas.

Entre estas metodologías cabe señalar el método DRASTIC (ALLER et al., 1987) desarrollado en Estados Unidos con buen nivel de generalización y aceptación o el método SINTACS (CIVITA 1990) aplicado en Italia, igualmente con buena aceptación.

El procedimiento operativo es semejante en ambos métodos, pues parte de las técnicas de cartografía geocientífica: definición de unidades homogéneas con significación cartográfica (ya sea, por cartografía directa o por superposición de mapas temáticos de las variables significativas), asignación de pesos y valores a los parámetros hidrogeológicos, y evaluación de la vulnerabilidad de acuerdo con un sistema de valoración previamente establecido.

Es precisamente el sistema DRASTIC el que han ensayado en 1994 la Dirección General de Obras Hidráulicas y el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) en la cuenca del Guadalquivir a escala 1:500.000.

1.3 REALIZACIONES ESPAÑOLAS

A nivel español las experiencias en mapas de vulnerabilidad comienzan en 1976 con la publicación por el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.) del "Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos" a escala 1:1.000.000, considerado como un primer esquema orientativo a escala nacional.

Desde 1979 el I.G.M.E. viene realizando las hojas a escala 1:50.000 del "Mapa de Orientación al Vertido de Residuos Sólidos" del que se han publicado 34 mapas en el territorio valenciano que comprenden aproximadamente el 50% de la Comunidad Valenciana.

El enfoque de estos mapas está orientado exclusivamente al vertido de residuos sólidos urbanos por lo que las restricciones territoriales que señala deben ser interpretadas únicamente a estos efectos.

A nivel regional, el Servicio Geológico de Navarra (CASTILLA et al. 1982), en el marco de los trabajos del Proyecto Hidrogeológico de Navarra, realizó una cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas a escala 1:200.000.

En Cataluña, con vistas a la planificación regional, COROMINAS y la DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA TERRITORIAL, elaboraron en 1982 una cartografía de parámetros geológicos que condicionan el uso del territorio en Cataluña, a escala 1:200.000, en la que se incluía un mapa de vulnerabilidad (los datos de esta cartografía fueron informatizados para facilitar su utilización, mejora y actualización).

A nivel más reducido y a escala 1:10.000 (COROMINAS, 1982) también se realizó una cartografía de este tipo en dos zonas piloto de la comarca catalana del Vallés Oriental y por último, SUBIRANA, J.M. y CASAS PONSATI, A. (1984) elaboraron una cartografía de vulnerabilidad del Valle Bajo del Llobregat (Barcelona) a escala 1:10.000 para evaluar el impacto en las aguas subterráneas de las actividades extractivas de áridos.

Dentro de la Comunidad Valenciana la primera referencia a cartografías de vulnerabilidad de las aguas subterráneas y superficiales se encuentra en la realizada por la Diputación Provincial de Valencia a escala 1:50.000 con motivo de la elaboración del Plan Director para la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos e Industriales de la provincia de Valencia (sintetizado en NIETO, M y SANCHEZ, T; 1985).

Posteriormente se han incluido cartografías de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en los Mapas Geocientíficos de la provincia de Valencia (Diputación Provincial de Valencia, Universidad de Valencia y Universidad de Cantabria, 1986); Mapa Geocientífico de la provincia de Alicante (Agencia del Medio Ambiente, Consellería de Administración Pública de la Generalitat Valenciana, 1987) y Mapa Geocientífico de la Provincia de Castellón (Agencia del Medio Ambiente. Conselleria de Medio Ambiente, de la Generalitat Valenciana, 1989).

La cartografía de vulnerabilidad de estos mapas se realiza a escala 1:200.000 estableciéndose cuatro categorías de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en base a la litología de los terrenos y a una estimación de su permeabilidad.

Más recientemente, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, y el Instituto Tecnológico Geominero de España han aplicado los métodos DRASTIC y GOD al territorio de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir, en el marco de un proyecto de cooperación financiado por la Comunidad Europea. La escala de trabajo utilizada fue de 1:500.000 (MOPTMA-COMISION EUROPEA,1994).

2. UTILIDAD DE LA CARTOGRAFÍA

La cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por actividades urbanísticas es una cartografía sintética integradora de información hidrogeológica variada, convenientemente traducida para su comprensión por no especialistas, que tiene por finalidad informar sobre la distribución de la sensibilidad del territorio a la contaminación potencial derivada de los usos urbanísticos.

Este tipo de cartografía está orientada a los efectos de gestión, regulación y ordenación del territorio; en particular tiene por finalidad orientar en los procesos de toma de decisiones que afectan a los usos del suelo, tanto públicos como privados.

En concreto, las utilidades más significativas son las siguientes:

- a) Representa una ayuda eficaz para los poderes públicos y para los agentes interventores en los usos del territorio en la identificación de los riesgos potenciales para las aguas subterráneas derivadas de sus acciones: identificación de áreas susceptibles de contaminar las aguas subterráneas, de áreas adecuadas para la ubicación de actividades con elevado poder de contaminación y de áreas en las que el poder depurador del medio hidrogeológico tiene suficiente capacidad para autodepurar determinado tipo de contaminación.
- b) Constituye un documento informativo de utilidad para planificadores, gestores y autoridades en materia de ordenación territorial, planeamiento urbanístico y gestión de recursos hídricos. Así mismo, es útil como documento informativo con carácter general para todo el público interesado en aspectos territoriales y de recursos hídricos, o con carácter educativo en enseñanzas medias y superiores.
- c) Puede contribuir en un análisis integrado junto a otras variables territoriales y medioambientales a la elaboración de cartografías de riesgos naturales y geocientíficas, orientadoras del potencial del medio natural y de los recursos naturales, así como de las aptitudes y limitaciones para los distintos usos.

Las limitaciones más importantes derivan de la escala de elaboración, que es representativa para la orientación de riesgos a esta escala regional, pero no a escalas más detalladas, que requieren niveles de definición cartográfica más precisos y mayor detalle en la asignación de valores a las variables que contribuyen a las categorías de riesgo.

Por último y como es preciso señalar en este tipo de documentos cartográficos, la información proporcionada tiene carácter orientativo y es fruto de la integración de diversas variables, lo que implica una cierta pérdida de información en el proceso de homogeneización, así como dosis de interpretación y extrapolación significativas de los autores en el proceso de elaboración, al carecerse de información homogénea extensiva a todos y cada uno de los puntos del territorio valenciano de las distintas variables significativas integradas.

No es, en consecuencia, información utilizable a escalas mayores de la representada, ni puede sustituir a los estudios de detalle necesarios a las escalas propias de los proyectos constructivos o de implantación de actividades concretas.

***3. RESEÑA SOBRE LAS AGUAS
SUBTERRÁNEAS EN LA
COMUNIDAD VALENCIANA***

La Valenciana es la comunidad autónoma española donde mayor importancia cuantitativa adquiere la fase subterránea del ciclo hidrológico y donde más intensamente se explotan las aguas subterráneas, de ahí el interés de la presente cartografía en lo que puede contribuir a su protección y preservación en volumen y calidad.

La mayor parte del territorio valenciano pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Júcar, que es a su vez la cuenca que mayor explotación cuantitativa de aguas subterráneas presenta. La importancia del papel de las aguas subterráneas en la cuenca del Júcar queda puesta de manifiesto en los parámetros comparativos del cuadro adjunto.

CUENCA	Nº. Unidades Hidrogeológicas	SUP. (Km ²)	ALIMENTACIÓN (hm ³ /año)*	BOMBEO (hm ³ /año)	RELACIÓN B/N (%)**
01 NORTE	24	7.008	2.975	51	2
02 DUERO	21	53.623	1.875	373	20
03 TAJO	12	15.961	1.645	164	10
04 GUADIANA	12	11.960	754	771	102
05 GUADALQUIVIR	64	15.362	2.315	450	19
06 SUR	47	4.037	1.160	424	36
07 SEGURA **	31	9.436	548	466	40
08 JUCAR	52	24.782	3.505	1.440	41
09 EBRO	45	16.770	2.923	209	7
10 PIRINEO ORIENTAL	30	6.463	1.036	447	43
11 BALEARES	35	3.618	585	283	48
TOTAL	369	166.384	19.663	4.972	25

* Alimentación por integración de precipitaciones, cauces y retornos de regadío.

** Porcentaje representativo de los bombeos sobre la alimentación.

Cuadro 1. Explotación y recursos de las unidades hidrogeológicas de la España peninsular e islas Baleares (DGOH-ITGE 1988)

El 60% de la superficie de la Comunidad esta ocupado por afloramientos muy permeables y solo el 15% por materiales con permeabilidades extraordinariamente bajas.

Se estima que la infiltración directa del agua de lluvia hasta las capas profundas del subsuelo alcanza un valor medio de unos 1.600 hm³/año y que la recarga adicional inducida por riego puede llegar a los 400 hm³/año.

El aprovechamiento de aguas subterráneas por bombeo asciende a unos 1.500 hm³/año lo que equivale a un caudal continuo de 48 m³/seg.

El grueso de los aprovechamientos referidos se localiza en las Planas de Valencia y Castellón (200 hm³/año), Xeresa-Gandia-Dénia, en el Campo de Llíria (hasta la traza de la acequia de Moncada), en la Plana de Vinaròs-Peñíscola y en el conjunto de los acuíferos alicantinos (superior a 250 hm³/año).

Con estas extracciones se riegan unas 116.000 hectáreas de manera directa y otras 54.000 en régimen mixto (aguas superficiales y subterráneas); se atienden el 62% de las necesidades de abastecimiento urbano (excepto área metropolitana de Valencia y núcleos costeros alicantinos al sur de El Campello) con un volumen próximo a los 225 hm³/año.

El bombeo para usos industriales separados de las redes urbanas se evalúa cercano a 60 hm³/año y tiene lugar principalmente en la Plana de Valencia (35 hm³/año) en la de Castellón (10 hm³/año) y en la de Sagunto (5 hm³/año).

La intensa explotación de los acuíferos plantea las siguientes categorías de problemas:

a) Sobreexplotación de acuíferos:

- Generalizada en toda la provincia de Alicante (excepto los que drenan por las fuentes del Bullens, del Algar y de Polop).
- Planas costeras de Oropesa del Mar-Torreblanca, mitad sur de la Plana de Castellón y Plana de Sagunto, sector de Ondara-Dénia en Plana de Gandia-Dénia.
- Sector del Campo de Lliria-Carcaixent hasta traza de la acequia de Moncada.

b) Afecciones a ríos y manantiales:

- En la provincia de Alicante se ha conseguido la regulación de buena parte de las descargas naturales, produciéndose el agotamiento de algunos manantiales localizados muy significativos, no así de las emergencias que alimentan a las zonas húmedas.
- Las explotaciones de campos de pozos y de captaciones aisladas de gran rendimiento han producido mermas importantes en los manantiales de la Llosa, Quart, San Vicente, Pous Clars, Molinar y Algar.
- En el río Vinalopó las extracciones de agua subterránea han producido afecciones al caudal del río.
- Tienen también importancia las afecciones entre acuíferos, en particular las que afectan a los flujos de un acuífero por la incidencia de la explotación en otro, con merma de las posibilidades del segundo, tal es el caso de:
 - Borde Suroeste de la Plana de Castellón.
 - Contorno interior de la Plana de Sagunto.
 - Descarga a Plana de Valencia desde Lliria-Burjassot.
 - Borde calizo que rodea al Valle del río Girona.

c) Degradación de la calidad.

Esta degradación tiene lugar de diversas formas:

- Intrusión marina en los acuíferos costeros de Plana Vinaròs-Peñíscola (Benicarló), Plana de Castellón (Moncofa), Plana de Sagunto, Plana de Gandia-Dénia (sector Ondara-Dénia y Jávea).
- Intrusión de aguas salobres en la interfaz de los acuíferos con las sales de los diapiros triásicos: acuíferos alicantinos compartidos con la Comunidad Murciana y algún punto interior de Alicante.
- Aplicación de fertilizantes y reciclado por bombeo del excedente del agua de riego, lo que incrementa el contenido en nitratos y sulfatos del agua almacenada en los acuíferos. Esta circunstancia se da en todas las zonas regadas con aguas excedentes de riegos previos, con una intensidad tal que hipoteca la utilización del agua subterránea para usos domésticos en determinadas zonas de las planas costeras.

4. METODOLOGÍA

4.1 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

El concepto de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas está ligado a una cualidad del medio geológico que las contiene, que ofrece un cierto grado de protección a la contaminación de las aguas debido a sus características hidráulicas intrínsecas (porosidad, permeabilidad, espesor, capacidad de cambio, etc.), atenuadoras de la carga contaminante original.

La cartografía de vulnerabilidad consiste, por tanto, en la división del territorio en unidades homogéneas, definidas en base a una serie de parámetros cuantitativos y cualitativos, caracterizadas por el diferente grado de protección que ofrecen a la transmisión y difusión de agentes contaminantes hacia las aguas subterráneas.

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a la contaminación derivada de cualquier agente contaminante en una porción del territorio depende de tres factores fundamentales:

- a) Características físico-químicas-biológicas de los agentes potencialmente contaminantes.
- b) Poder depurador del suelo y de la zona no saturada.
- c) Poder depurador de la zona saturada del acuífero.

El poder depurador de un medio geológico, tanto en las zonas no saturadas como saturadas, depende de una serie de procesos físicos (filtración, absorción, etc), químicos (hidrólisis, reacciones redox, etc.) y biológicos (desnitrificación, fermentación, etc.) que tienen lugar en el terreno, cuyo desarrollo viene condicionado por las características granulométricas, mineralógicas y edafológicas del medio.

La contaminación de los acuíferos puede ser de carácter físico, químico y biológico.

Ejemplo de contaminación física es el aumento de temperatura del acuífero por inyección de aguas de refrigeración. La determinación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a este tipo de contaminantes requiere de modelizaciones matemáticas y de profundos conocimientos sobre la dinámica de los acuíferos por lo que la mejor forma de prevenirla es evitar los agentes causantes, si bien no es un problema que revista gravedad en los acuíferos de la Comunidad Valenciana.

Como contaminación química de los acuíferos cabe citar el incremento del contenido en nitratos en las aguas subterráneas y la contaminación por hidrocarburos. Este tipo de contaminación puede ser difusa o puntual, en cualquiera de los casos la determinación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a la misma requiere costosos estudios de detalle sobre la mineralogía, edafología, hidrodinámica e hidroquímica, por lo que la mejor prevención frente a la misma es tomar medidas correctoras para evitar la contaminación, en particular, la derivada de focos puntuales de contaminantes tóxicos y peligrosos de actividades industriales, o dirigir estas actividades a sectores del territorio invulnerable por carencia de aguas subterráneas o por muy difícil movilidad de éstas.

La contaminación microbiológica derivada de los sistemas de saneamiento urbano y rurales puede afectar a las aguas subterráneas, existiendo procedimientos de fácil aplicabilidad y fiables para la determinación de la vulnerabilidad. Este tipo de valoración es el que, por otra parte, mayor interés reviste a efectos urbanísticos y de ordenación territorial.

4.2 FUENTES DOCUMENTALES UTILIZADAS

Para la realización de la presente cartografía se han consultado 651 referencias documentales distribuidas temáticamente de la siguiente manera:

- Estudios de investigación hidrogeológica básica de carácter regional..... 70
- Estudios de investigación hidrogeológica para abastecimiento a poblaciones..... 109
- Estudios sobre calidad de las aguas subterráneas de carácter regional y local..... 86
- Proyectos y estudios para el establecimiento de redes de control de la cantidad y calidad de las aguas subterráneas..... 45
- Estudios sobre gestión y explotación racional de las aguas subterráneas..... 5
- Informes sobre resultados de campañas de control de calidad y piezometría..... 91
- Informes sobre resultados de campañas de prospección geofísica..... 30
- Proyectos e informes finales sobre sondeos perforados para abastecimiento urbano o agrícola..... 104
- Cartografía hidrogeológica publicada a escala 1:50.000 y 1:200.000 sobre la Comunidad Valenciana..... 5
- Mapas de orientación al vertido de residuos sólidos urbanos..... 36

Estos trabajos han sido realizados por la División de Recursos Hidráulicos de la Conselleria d'Obres Publiques, Urbanisme i Transports, Confederación Hidrográfica del Júcar, Instituto Tecnológico y Geominero de España (I.T.G.E.), Dirección General de Obras Hidráulicas, Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació, Diputaciones Provinciales de Alicante, Castellón y Valencia, Ayuntamientos y entidades privadas. En el anejo nº 1 se efectúa una relación de las más destacadas, agrupadas en función de los organismos promotores.

En relación con la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas de la Comunidad Valenciana, las citadas referencias se han agrupado en base a:

- Características hidrogeológicas:
 - Litología.
 - Límites de la unidad y su naturaleza (cerrado-abierto, permeable o impermeable).
 - Caudales medios.
 - Tipo de acuífero (libre, confinado o semiconfinado).

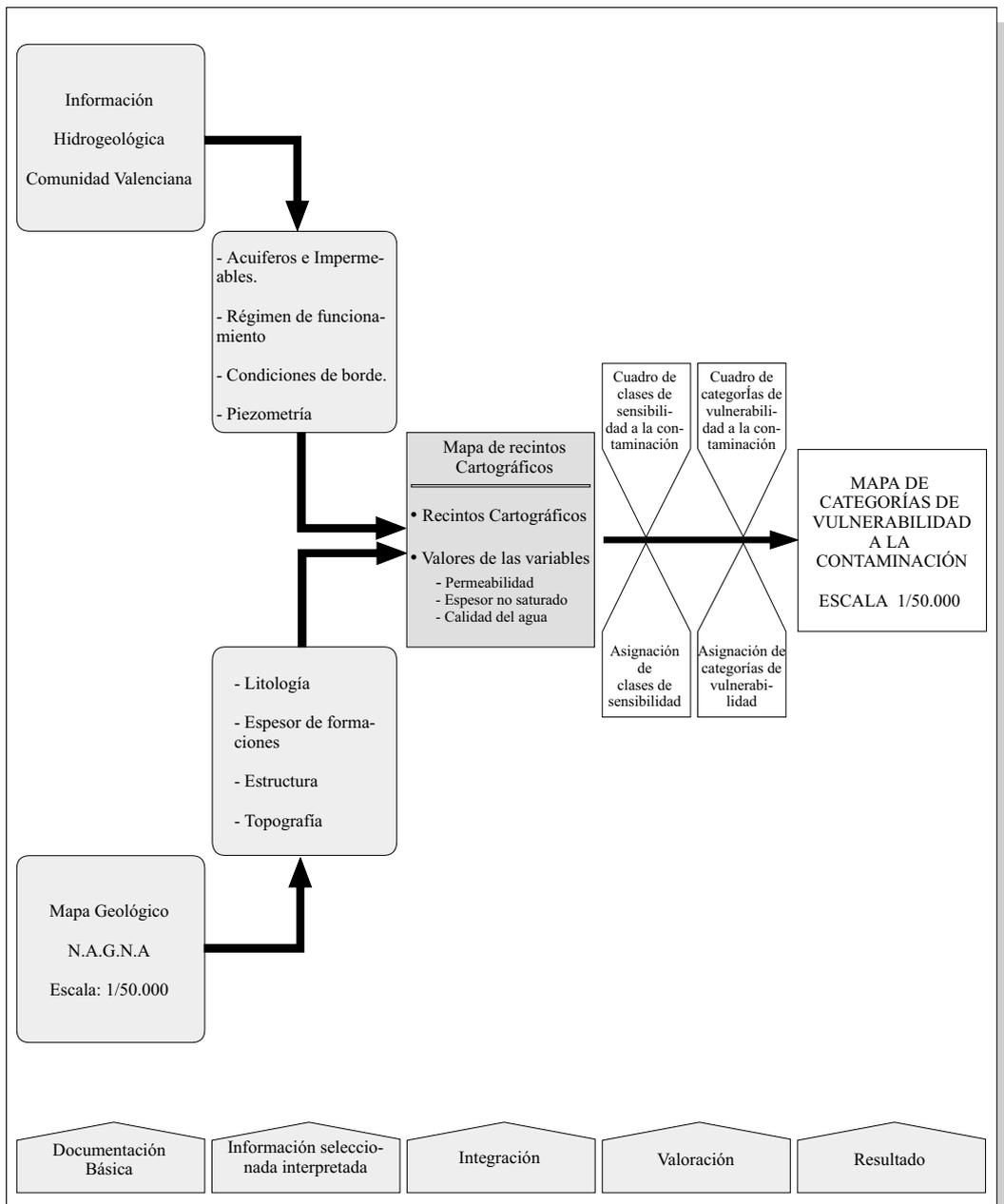
- Espesor medio.
 - Parámetros hidráulicos (permeabilidad, porosidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento).
- Calidad:
 - Facies química predominante.
 - Clasificación para abastecimiento urbano (según R.D. 1138/1990, de 14 de septiembre).
 - Clasificación para riego (según U.S.L.S.).
 - Parámetros químicos (iones mayoritarios y Residuo Seco).
 - Funcionamiento hidráulico:
 - Entradas.
 - Salidas.
 - Piezometría (con datos actualizados en la Comunidad Valenciana hasta 1990).

4.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La metodología empleada tiene por finalidad caracterizar el territorio en unidades homogéneas, desagregadas en base a una serie de parámetros cuantitativos y cualitativos, y caracterizadas por el diferente grado de protección que ofrecen a las aguas subterráneas.

El método aplicado considera tres variables significativas contributivas a la cualificación de la vulnerabilidad para las aguas subterráneas:

- a) La permeabilidad o conductividad hidráulica del medio, que representa la facilidad con que un medio poroso o fisurado puede ser atravesado por un fluido en una unidad de tiempo.
- b) El espesor de la zona no saturada, deducido según la información topográfica y la piezométrica disponible. Esta variable es un buen indicador del poder depurador del suelo y del medio geológico, tanto en condiciones de saturación como de no saturación, frente a la contaminación de tipo microbiológico. Los trabajos empíricos de REHSE (1977) establecen el espesor mínimo necesario en cada tipo de granulometría de suelo a recorrer por un contaminante microbiológico para lograr su completa depuración. BOLSENKÖTER (1984) amplía el método para medios fisurados. Por consiguiente, la clasificación del espesor saturado en rangos de vulnerabilidad para las aguas subterráneas en función del material geológico presente por aplicación de estos métodos es un buen discriminador de la capacidad depuradora del medio. Los citados trabajos se sintetizan en el Anejo nº 2 de este informe.
- c) La calidad actual del agua subterránea, referida a la aptitud para el consumo humano (potabilidad, excepcionabilidad o no potabilidad) y para otros usos (en función de la salinidad). Si bien se entiende generalmente por vulnerabilidad la consecuencia de determinadas propiedades intrínsecas del medio y la calidad del agua no es una de éstas, se ha incluido esta variable por la necesidad de obtener un resultado pragmático, que combine las propiedades físicas del medio y un posicionamiento sobre la repercusión de una posible contaminación sobre el valor de uso actual del recurso agua.



Procedimiento metodológico de la cartografía de vulnerabilidad

Estas tres variables permiten discriminar la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas con la suficiente resolución para orientar la adecuación de los usos urbanísticos genéricos. Por otra parte, pueden ser extrapoladas con suficiente grado de aproximación, a la escala cartográfica de representación, al conjunto del territorio valenciano a partir de la información hidrogeológica fragmentaria disponible.

El método operativo de elaboración cartográfica se ha efectuado por cartografía directa de unidades homogéneas, según un procedimiento por aproximaciones sucesivas en la integración de información.

CLASES DE SENSIBILIDAD	PERMEABILIDAD (cm/seg)**	ESPESOR NO SATURADO		CALIDAD DEL AGUA*
		Medio detrítico (m)	Medio Fisurado (m)	
4. MUY ALTA	> 1	<3	<10	NO SE CONSIDERA
3. ALTA	10 ⁻¹ - 1	3-5	10-50	POTABLE
2. MEDIA	10 ⁻² - 10 ⁻¹	5-15	50-100	EXCEPCIONABLE
1. BAJA	10 ⁻⁵ - 10 ⁻²	15-35	100-200	SALOBRE
0. MUY BAJA	< 10 ⁻⁵	>35	> 200	SALINA

* Las definiciones de POTABLE y EXCEPCIONABLE se corresponden con las establecidas en la vigente Reglamentación Técnico Sanitaria. La calidad salobre supone un total de sólidos disueltos (TDS) de 3 a 15 g/l y la calidad SALINA se reserva para TDS mayor de 15 g/l.

** La escala de permeabilidad utilizada es la de Hazen.

Cuadro 2. Clases de sensibilidad a la contaminación de las aguas

CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	PERMEABILIDAD	ESPESOR NO SATURADO	CALIDAD DEL AGUA
V. MUY ALTA	4, 3, 2	4	0, 1, 2, 3
IV. ALTA	3	1,2,3	3
III. MEDIA	1	3	2,3
	2	0,1,2	2,3
	3	0	2,3
	3	1,2,3	2
II. BAJA	1	0,1	0,1,2,3
	2	0,1,2,3	0,1
	3	0	0,1
	3	0	2, 3
I. MUY BAJA	0	0,1	0,1,2,3



Referidas exclusivamente a acuíferos confinados profundos

Cuadro 3. Definición de las categorías de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas

Como documento cartográfico de base se ha utilizado el Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 (por razones operativas se han utilizado los contornos digitales disponibles por la C.O.P.U.T. del Mapa Litológico a escala 1:50.000 de la Comunidad Valenciana, que se ha realizado sobre el soporte del Mapa Geológico Nacional). Sobre éste se definen los recintos básicos primarios en función de consideraciones litológicas, estructurales y topográficas. La interpretación de la columna litológica en términos de permeabilidad permite asignar los rangos definidos para esta variable en el cuadro nº 2.

Los recintos básicos definidos deben ser hidrogeológicamente significativos y homogéneos, por lo que se cotejan con la información hidrogeológica disponible, incluida en el Anejo 1, modificándose en su caso. Este análisis tiene la finalidad complementaria de asignar a cada recinto la cota del nivel piezométrico medida o estimada y la calidad del agua subterránea. La diferencia entre la cota topográfica y la del nivel piezométrico es el espesor no saturado buscado.

La asignación de los rangos de ambas variables, espesor no saturado y calidad del agua, establecidos en el cuadro nº 2, completa la información necesaria en cada recinto para la valoración de la vulnerabilidad.

El cuadro nº 2, es una partición de los espectros de variación de las tres variables consideradas en cinco clases de sensibilidad, ordenadas en el mismo sentido, de peores a mejores circunstancias frente a una eventual amenaza de contaminación.

Por último se ha definido el cuadro nº 3 de categorías de vulnerabilidad, que constituye una partición en cinco grupos de vulnerabilidad, en función de las combinaciones consideradas adecuadas para los fines de la cartografía de los rangos de cada variable: permeabilidad, espesor no saturado y calidad del agua.

4.4 JUSTIFICACIÓN DE LAS CLASES DE SENSIBILIDAD Y DE LAS CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD SELECCIONADAS

El primer paso en la valoración de la vulnerabilidad a la contaminación potencial de las distintas unidades cartográficas con significación hidrogeológica es la jerarquización de las variables de riesgo consideradas en clases ordenadas en función de la sensibilidad a la contaminación.

Con tal finalidad se ha seleccionado una escala de distribución en cinco categorías ordenadas en el mismo sentido, de peores a mejores circunstancias frente a una eventual amenaza de contaminación, escala suficiente para dar una buena visión de conjunto de la distribución de las variables, intuitiva y homogénea con las restantes cartografías temáticas elaboradas por la Dirección General.

Los valores asignados a las tres variables en cada una de las clases se incluyen en el cuadro nº 2 y tienen su justificación en los siguientes criterios:

a) Clase de sensibilidad muy alta

Se da para valores de permeabilidad muy elevados correspondientes a formaciones que tienen un comportamiento acuífero excelente, para espesor de zona no saturada inferior a 10 m en materiales calcáreos fisurados y karstificados, e inferiores a 3 m en materiales detríticos, con independencia de la calidad del agua subterránea.

Esta clase de sensibilidad se establece para las porciones del territorio en las que las aguas subterráneas carecen de protección eficaz derivada de las características del medio litológico.

b) Clase de sensibilidad alta

Se ha establecido para formaciones acuíferas de elevada permeabilidad, o bien de escaso poder autodepurador del medio, o que contienen aguas subterráneas en condiciones de potabilidad para usos urbanos.

c) Clase de sensibilidad media

Indica acuíferos de pobre rendimiento o en los que el tiempo de tránsito de los contaminantes es prolongado, lo que favorece los mecanismos de dilución, dispersión y retención, que atenúan la concentración de la carga contaminante. Incluye también zonas del territorio en las que el espesor de la zona no saturada es suficiente para garantizar una depuración casi completa de la contaminación microbiológica. Respecto a la calidad del agua se consideran incluidas en esta clase las formaciones acuíferas con aguas excepcionables para el abastecimiento público, que exceden en el contenido en nitratos los 50 mg/l o en sulfatos los 200 mg/l.

d) Clase de sensibilidad baja

Se incluyen en esta categoría las porciones del territorio representadas por acuitardos, es decir, materiales de baja permeabilidad que presentan dificultades de transmisión del agua, en los que los tiempos de residencia son muy elevados, o el espesor saturado es suficiente para garantizar una completa depuración de la contaminación microbiológica, o que contienen aguas salobres con salinidades de 3 a 15 g/l de sólidos disueltos.

e) Clase de sensibilidad muy baja

Se extiende sobre porciones del territorio prácticamente invulnerables en las que, o bien el material geológico es extraordinariamente poco permeable, o bien existe espesor no saturado suficiente para preservar cualquier impacto sobre las aguas subterráneas derivado de contaminación microbiológica, o las aguas subterráneas presentan una contaminación natural responsable de salinidades mayores de 15 g/l de sólidos disueltos, inadecuados para cualquier uso.

El **grado de vulnerabilidad** a la contaminación se define por combinación de las clases de sensibilidad de las variables significativas propuestas (permeabilidad, espesor no saturado y calidad de las aguas). Esta asignación es discrecional y se ha realizado en función de los objetivos de la cartografía, resultando la combinación de categorías de vulnerabilidad sintetizada en el cuadro nº 3, en el que la categoría correspondiente viene definida por la concurrencia simultánea de los valores de cada variable en la fila correspondiente.

El significado de las distintas categorías es el siguiente:

CATEGORIA I. Vulnerabilidad muy baja

Tiene por finalidad distinguir las porciones del territorio prácticamente invulnerables para las aguas subterráneas por inexistencia de acuíferos, dominadas por materiales de muy baja permeabilidad, en los que si existe algún nivel de agua subterránea, es de carácter muy localizado y su calidad es inadecuada para cualquier uso.

En la práctica supone el ámbito territorial de las formaciones impermeables triásicas que individualizan las unidades hidrogeológicas de interés regional, en las que existen los mayores niveles de seguridad para el confinamiento de sustancias contaminantes.

Desde el punto de vista urbanístico estos terrenos son los que menores limitaciones de implantación presentan por riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, aunque por su naturaleza fundamentalmente arcillosa pueden ocasionar problemas geotécnicos de implantación.

Habida cuenta del elevado poder confinante de estos materiales, las porciones del territorio representadas en esta categoría de vulnerabilidad son las más adecuadas para acoger los equipamientos estratégicos de tratamiento de residuos sólidos urbanos y peligrosos, en particular los vertederos controlados.

CATEGORÍA II. Vulnerabilidad baja

Esta categoría se establece con el objetivo de integrar las porciones del territorio que presentan un grado de protección muy elevado para las aguas subterráneas, en particular, para las de calidad apta para cualquier uso, así como a las que presentan escaso interés hidrogeológico por mala calidad de las aguas o por baja permeabilidad.

En el caso de acoger aguas subterráneas aptas para usos urbanos y agrícolas, o bien se trata de acuíferos confinados bajo un nivel confinante de varios centenares de metros de espesor, o bien el agua esta contenida en una acuitardo de muy difícil o imposible explotación.

En la práctica se extiende sobre formaciones detríticas finas y margosas cenozoicas y mesozoicas que protegen acuíferos mesozoicos calcáreos a los que confinan, o sobre las formaciones cenozoicas que rellenan fosas tectónicas con intrusión de materiales plásticos triásicos, que carecen de acuíferos de interés, aunque pueden albergar algún nivel acuífero de entidad local.

Los terrenos incluidos en esta categoría presentan escasas limitaciones desde el punto de vista de contaminación de las aguas subterráneas para la implantación de usos urbanísticos. Con excepción de los equipamientos estratégicos de eliminación de residuos sólidos que requieren estudios de detalle específicos, los restantes usos globales pueden tener acogida en esta categoría de terrenos. Por su grado de protección para las aguas subterráneas presentan vocación de acogida preferente para los usos industriales, siempre que garanticen la inocuidad de sus actividades mediante las medidas correctoras de impermeabilización, tratamiento y control de vertidos.

Las plantas de tratamiento de residuos pueden tener cabida en esta categoría de terrenos, con las medidas correctoras oportunas de prevención y control, tratamiento y eliminación de lixiviados.

CATEGORÍA III. Vulnerabilidad media

Esta categoría tiene por finalidad agrupar las porciones del territorio en las que existen aguas subterráneas con calidad potable o excepcional para el consumo humano (y apta para cualquier otro uso) que carecen de protección natural efectiva contra la contaminación físico-química por la ausencia de formaciones geológicas de baja per-

meabilidad interpuestas, si bien existe un grado de protección suficiente frente a la contaminación de tipo microbiológico por espesor o condiciones de permeabilidad adecuadas en la zona no saturada para garantizar la completa autodepuración.

Se extiende en la Comunidad Valenciana sobre las principales unidades hidrogeológicas regionales e integra las zonas montañosas de alimentación y tránsito, con aguas de excelente calidad, que cuentan con la protección suficiente frente a la contaminación microbiológica, y las porciones de llanuras litorales que albergan acuíferos detríticos con aguas excepcionables para el consumo humano, en las que el espesor y naturaleza de la zona no saturada aseguran una protección eficaz frente a la contaminación microbiológica.

La adecuación urbanística de esta categoría de terrenos es compatible con los usos residenciales intensivos y extensivos desde el punto de vista de contaminación de las aguas subterráneas, presentando limitaciones para los usos industriales intensivos por el riesgo de contaminación físico-química de elevada carga que comportan, aunque pueden ser compatibles usos industriales aislados o industria urbana.

Cualquier actividad o uso debe tener resuelto el tratamiento controlado de sus residuos y las actividades industriales deben contar con medidas de impermeabilización de sus zonas de procesos y almacenamiento, además de los sistemas de tratamiento controlado de vertidos cuando no estén integradas en sistemas municipales de saneamiento.

CATEGORÍA IV. Vulnerabilidad alta

Se establece esta categoría para representar las zonas del territorio valenciano en las que existen acuíferos de gran productividad con aguas de excelente calidad y espesor de zona no saturada insuficiente para garantizar la autodepuración de contaminantes microbiológicos.

Estas zonas se desarrollan fundamentalmente sobre los acuíferos calcáreos por fisuración y karstificación de borde de las planas litorales y sobre acuíferos kársticos de interior con drenaje natural por manantiales y con espesor reducido de la zona no saturada.

Por el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas que comportan estas zonas son desaconsejables los usos urbanísticos industriales y residenciales intensivos, así como la protección por interés agrícola intensivo, que facilita las labores de transformación agrícola, generadoras de contaminación extensiva por nitratos lixiviados de los procesos de abonado.

Los usos residenciales extensivos pueden ser tolerados siempre que el saneamiento y la depuración efectiva de las aguas queden garantizados.

CATEGORÍA V. Vulnerabilidad muy alta

Se ha segregado esta categoría de la anterior con objeto de señalar las zonas del territorio especialmente sensibles para las aguas subterráneas por carecer de protección natural, debido al reducido o nulo espesor de zona no saturada, con independencia de la calidad natural del agua subterránea, siempre que se den unas mínimas condiciones de permeabilidad que permitan el flujo.

La aplicación de esta categoría al territorio valenciano abarca las zonas de descarga o emergencia de aguas subterráneas, tanto manantiales como zonas húmedas, incluso aquellas en las que la contribución hídrica de la componente subterránea es mínima, pero que tienen valor medioambiental.

La protección efectiva de estos recursos requiere la delimitación mediante estudios hidrogeológicos de detalle de los respectivos perímetros de protección, en los que deben regularse las actividades con criterios restrictivos y habilitarse las medidas de control pertinentes.

Con carácter general es recomendable contemplar una franja de protección mínima de 100 metros en el entorno de estas unidades cartográficas, en la que no se admitan usos urbanísticos con potencial contaminante, salvo que un estudio de viabilidad ambiental garantice su inocuidad.

Dada la imposibilidad de representar esta franja con la nitidez adecuada a la escala cartográfica se ha prescindido de su representación, reseñándose en la presente memoria y en la leyenda explicativa de esta categoría de vulnerabilidad.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

El resultado de la cartografía de vulnerabilidad realizada se muestra de modo sintético en el plano adjunto a esta memoria, y tiene su representación y alcance detallado en las 71 hojas 1:50.000 que cubren la totalidad del territorio de la Comunidad Valenciana. La distribución superficial de las categorías de vulnerabilidad a nivel provincial y para toda la Comunidad Valenciana se muestra en el cuadro siguiente:

CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	ALICANTE S (Km ²)	CASTELLÓN S (Km ²)	VALENCIA S (Km ²)	TOTALES S (Km ²)
(I) Muy Baja	255	88	380	723
(II) Baja	2618	2531	2787	7936
(III) Media	2597	3498	5158	11253
(IV) Alta	384	546	2389	3318
(V) Muy Alta	57	27	81	165
TOTALES	5911	6689	10776	23376

Cuadro 4. Distribución superficial de las categorías de vulnerabilidad en la Comunidad Valenciana

A nivel de toda la Comunidad el 37% del territorio está afectado del vulnerabilidad baja (34%) o muy baja (3%); el 48% por vulnerabilidad media y el 15% por vulnerabilidad alta (14%) o muy alta (1%).

Los resultados más significativos de la cartografía pueden resumirse en la división del territorio de la Comunidad Valenciana en cinco categorías de vulnerabilidad con el siguiente alcance:

Categoría V, muy alta. Se extiende sobre las zonas húmedas con descarga de acuíferos y las áreas de descarga de manantiales, que presentan los mayores niveles de sensibilidad frente a la contaminación; son zonas desaconsejables para usos urbanísticos de cualquier tipo. Incluye una franja de protección exterior al límite cartográfico de 100 m. de amplitud.

Ocupan el 1% del territorio de toda la Comunidad Valenciana; el 1% en Alicante, < 1% en Castellón y 1% en Valencia.

Categoría IV, alta. Integra porciones del territorio con aguas de calidad apta para abastecimiento urbano; se trata de afloramientos muy permeables sin protección natural efectiva

en los que el nivel piezométrico se encuentra próximo a la superficie. Constituyen las principales fuentes de abastecimiento de los usos urbanos actuales.

Estas zonas son inadecuadas para los usos urbanísticos intensivos, pudiendo tener cabida los usos residenciales extensivos de baja densidad, siempre que se garantice el saneamiento y depuración de las aguas residuales.

A nivel de la Comunidad Valenciana ocupan el 14% del territorio, en Alicante el 6%, en Castellón el 8% y en Valencia el 22%

En el anejo nº 4 se describen las áreas y sus correspondientes estructuras hidrogeológicas en las que la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas es alta o muy alta.

Categoría III, media. Identifica aquellos sectores en los que la calidad de las aguas es excepcional para consumo humano y apta para cualquier otro uso, en las que los acuíferos carecen de protección natural efectiva frente a la contaminación físico-química, si bien poseen un grado de protección suficiente frente a la contaminación de tipo microbiológico.

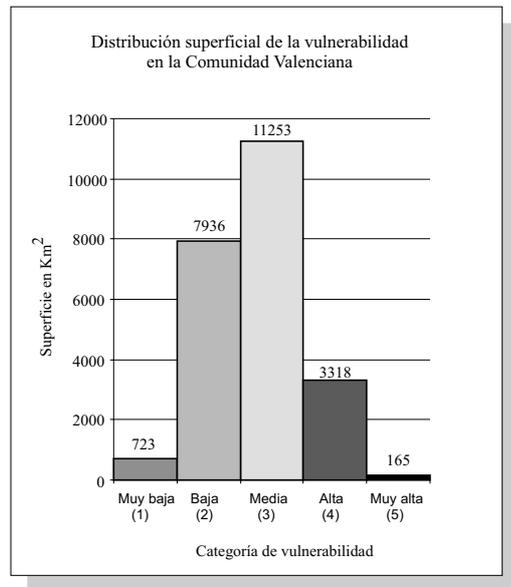
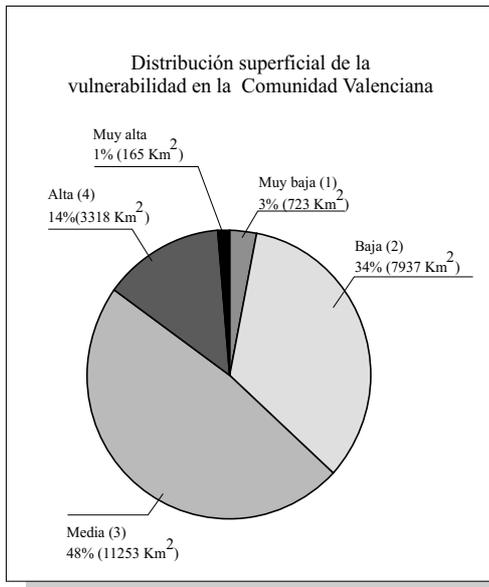
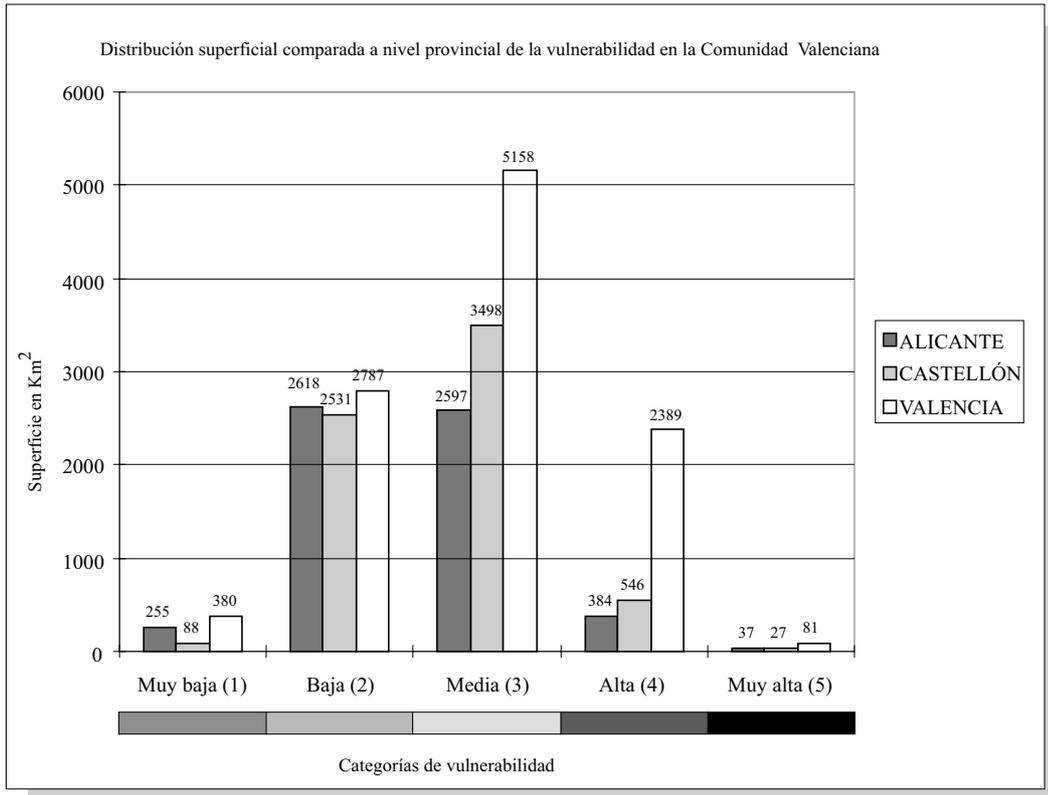
La adecuación urbanística de estos terrenos es compatible con los usos residenciales intensivos y extensivos, debiéndose condicionar los usos industriales intensivos y la industria aislada o urbana a la realización de estudios de detalle que demuestren la no afección a las aguas subterráneas y definan las medidas correctoras a adoptar.

Representan el 48% del territorio de la Comunidad Valenciana, el 44% en Alicante, el 52% en Castellón y el 48% en Valencia.

Categoría II, baja. Areas con protección natural efectiva a la contaminación de las aguas subterráneas, en particular para las de calidad adecuada para abastecimiento urbano; se trata de sectores aptos para cualquier uso urbanístico, y recomendables para los usos industriales intensivos, así como para las instalaciones de tratamiento de residuos con las debidas medidas correctoras.

Ocupan el 34% del territorio de la Comunidad Valenciana, el 44% en Alicante, el 38% en Castellón y el 26% en Valencia.

Categoría I, muy baja. Se trata de zonas sin acuíferos de interés y de muy baja permeabilidad. Cuando contienen algún nivel hídrico las aguas son, en general, de calidad inadecuadas para cualquier uso. Estos sectores son aptos para cualquier uso urbanístico, si bien puede actuar como factores condicionantes la baja accesibilidad a los recursos hídricos y problemas geotécnicos. Por el contrario presentan las condiciones idóneas para el vertido controlado de residuos y, para la implantación de los centros de tratamiento. Ocupan el 3% del Territorio de la Comunidad Valenciana, el 4% en Alicante, el 1% en Castellón y el 4% en Valencia.



6. BIBLIOGRAFÍA

- ALBINET, M. *Carte de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine de la France à 1/1.000.000 (Map of France of the ground water vulnerability to contamination, scale 1:1.000.000)*. Orléans, France : Publ. DATAR-BRGM, 1970.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J.; y HACKETT, G. 1987. *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potencial using hydrogeologic settings*. U.S. Environmental Protection Agency, Ada, OK, EPA/600/2-87-036, 455 p.
- CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A. *Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto Hidrogeológico*. Pamplona.: Diputac. Foral de Navarra, Dir. de Obras Públicas. Serv. Geológico, 1982, 230 pp.
- CIVITA, M. "La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (Assessment of aquifer vulnerability to contamination)". Proc. *1st Conv. Naz. Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Techologie e Obiettivi*, Marano sul Panaro, 1990, v. 3, p. 39-86.
- CIVITA, M. 1990b. *Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei/Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps (in Italian and English)*. Bologna: Pitagora Editrice, 1990, G.N.D.C.I.-C.N.R. Pubbl. n° 27613 p.
- C.H.J.-I.T.G.E. (1989): *Estudio metodológico para la definición de los perímetros de protección de captaciones para abastecimiento urbano*. Convenio de colaboración y asistencia técnica.
- CONSELLERIA D'ADMINISTRACIÓ PÚBLICA-AMA (1987): *Mapa Geocientífico de la provincia de Alicante*.
- CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT - AMA (1989): *Mapa Geocientífico de la provincia de Castellón*.
- COROMINAS, J. (1982): *Els factors com ajuda a la planificació territorial i gestió del medi ambient al Vallés Oriental*. Tèsi Doctoral. Barcelona: Dep. Prosp. Geol y Geof. Fac. Geología Univ. de Barcelona, jul.82. 551 p., 15 1am., ann., plan., pleg.,
- COROMINAS, J. y DIR. GRAL. POLIT. TERRIT. (1982) *Geología y Planificació Territorial (Parámetros geológicos que condicionen la utilització del territori a Catalunya)*. Barcelona: Dep. Pol. Terr y Ob. Publ. Generalitat de Catalunya, 1982. 220 p.
- DGOH - IGME (1988): *Estudio de delimitación de las Unidades Hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares- Cuenca 07: Segura y Cuenca 08: Júcar*.
- DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA, UNIVERSIDAD DE VALENCIA y UNIVERSIDAD DE CANTABRIA- (1986): *Mapa Geocientífico de la provincia de Valencia*
- IGME (1976): *Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos de la España Peninsular, Baleares y Canarias. Primer esquema cualitativo*. 20 ed. Mem. explic., mapa esc. 1:1.000.000. Madrid : Serv. Publ. Mir Industria, 1976

- IGME (1979-1981): *Mapas de orientación al vertido de residuos sólidos urbanos*. Hojas esc. 1:50.000 pleg., mem. explic. Madrid.: Serv. Publ. Min. Industria, 1979-1981
- IGME (1986): *Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso calidad y perspectivas de utilización*. Colección Informe. Madrid, 1979-1981
- MARGAT, J. (1968): *Vulnèrabilitè des nappes d'eau souterrine à la pollution (Ground water vulnerability to contamination)*. Bases de la cartographie, (Doc.) Orléans, France: BRGM, 68 SGL 198 HYD, 1968
- MOPTMA-COMISION EUROPEA, (1994). *Inventario de recursos de agua subterránea en España. 20 Fase: Vulnerabilidad de acuíferos. Cuenca del Guadalquivir*. Contrato n1 B4-3040/92/8347. Diciembre 1994.
- NIETO, M. y SANCHEZ T.: *El Plan Director para la gestión de los residuos sólidos urbanos e industriales de la provincia de Valencia. Su adecuación al Plan Trienal de Inversiones*. Valencia . Diputación Provincial de Valencia, 1985. Pp. 199, plano I
- OLMER, M. y REZÀC, B. (1974). «Methodical principles of maps for protection of groundwater in Bohemia and Moravia, scale 1:200.000». EN *Intl. Assoc. Hydrogeologists, Memoires, Tome X, Congres de Montpellier, I. Communications*, p. 105-107.
- SUBIRANA, J.M. (1983): *Estudio de la contaminación de les aigües subterrànies del Baix Llobregat*. Tesi de Llicenciatura. Barcelona: Dep. Prosp. Geol. i Geof. Fac. Geología. Univ. de Barcelona, 1983. 168 p., 28 mapas pleg.
- SUBIRANA, J.M. y CASAS, A. (1983): «Estudio global de la contaminación de las aguas subterráneas del valle bajo de Llobregat (Barcelona)». EN *V Asamblea Nac. de Geol y Geofísica*. Madrid, nov. 83.
- SUBIRANA J.M. y CASAS, A. (1984): «Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del Valle Bajo del Llobregat (Barcelona). Método de trabajo y estudio de la evolución de las extracciones de áridos». EN *I Congreso Español de Geología* , Tomo I págs 795-809.
- VRBA , J. y ZAPOROZEC, A. Edts. (1994): *Guide book on mapping groundwater vulnerability*. [S.L] : Edt. Heise, 1994. 131 pp. International contributions to hidrogeology, vol. 16
- VRÁNA, M. 1984a. «Methodology for construction of groundwater protection maps. (Lecture for UNESCO/UNEP Project PLCE-3/29, Moscow, Sept. 1981)» published in *Hydrogeological Principles of Groundwater Protection*, E.A. Kozlovsky, Editor in Chief, Moscow : UNESCO/UNEP, 1984, vol. 1, p. 147-149.
- VRÁNA, M. 1984b. «Novinky v mapování pro ochranu podzemní vody [News in mapping for ground-water protection]». Proc. *VIIIth National Hydrogeological Conference «Puklinové a puklinovo-krasové vody a problémy ich ochrany»* (V. Hanzel, ed.), Bratislava, Czechoslovakia, Geol. ústav D. Štúra, 1984, p. 379-383.

ANEJO N° 1
DOCUMENTACIÓN HIDROGEOLÓGICA
CONSULTADA

Para la realización de la presente cartografía se han consultado 651 referencias documentales distribuidas temáticamente de la siguiente manera:

- Estudios de investigación hidrogeológica básica de carácter regional70
- Estudios de investigación hidrogeológica para abastecimiento a poblaciones.....109
- Estudios sobre calidad de las aguas subterráneas de carácter regional y local..... 86
- Proyectos y estudios para el establecimiento de redes de control de la cantidad y calidad de las aguas subterráneas..... 45
- Estudios sobre gestión y explotación racional de las aguas subterráneas.....75
- Informes sobre resultados de campañas de control de calidad y piezometría..... 91
- Informes sobre resultados de campañas de prospección geofísica..... 30
- Proyectos e informes finales sobre sondeos perforados para abastecimiento urbano o agrícola.....104
- Cartografía hidrogeológica publicada a escala 1:50.000 y 1:200.000 sobre la Comunidad Valenciana.....5
- Mapas de orientación al vertido de residuos sólidos urbanos.....36

Estos trabajos han sido realizados por la Divisió de Recursos Hidráulico de la Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports, Confederación Hidrográfica del Júcar, Instituto Tecnológico y Geominero de España (ITGE), Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació, diputaciones Provinciales de Alicante, Castellón y Valencia, ayuntamientos y entidades privadas.

Entre los trabajos realizados por la Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports destacan los siguientes:

- Estudio hidrogeológico de la cuenca alta del río Turia y de los acuíferos con ella relacionados (1983).
- Recursos y demandas actuales en la unidad de gestión hidrológica, Alto Turia y de sus posibilidades de regulación integral aprovechando los embalses subterráneos (1983).
- Estudio de identificación de las descargas al mar del acuífero del Maestrazgo en la zona litoral entre Alcocebre y Peñíscola (1990).
- Estudio de investigación de las descargas de aguas subterráneas al mar por la Sierra de Irta (Castellón) (1992).

- Esquema de ordenación del territorio en la Comunidad Valenciana. Informe sectorial del agua (1992).
- Proyecto básico de actuaciones para el nuevo sistema de abastecimiento de agua en las comarcas de l'Horta, la Ribera y la Plana (1993).
- Plan de acción territorial de abastecimientos de agua para usos urbanos en la comarca de la Plana de Castellón (1994).
- Reflexiones acerca de la política hidráulica en la Comunidad Valenciana (1995).

De los trabajos realizados por la Confederación Hidrográfica del Júcar cabe resaltar las siguientes referencias:

- Estudio integral de las cuencas de los ríos Gorgos y Girona y del posible incremento de sus disponibilidades mediante métodos de corrección y recarga (1990).
- Informe metodológico para la redacción de perímetros de protección a captaciones según la vigente Ley de Aguas (su aplicación al caso de Almazora, Castellón) (1990).
- Estudio de previsión y posibilidades de regulación de los recursos procedentes de la recarga incontrolada generada por los embalses de Tous y Escalona (1990).
- Estudio de normas de explotación de la Unidad Hidrogeológica 08.10: Plana de Vinaròs-Peñíscola (1991).
- Estudio de normas de explotación de la Unidad Hidrogeológica 08.11: Plana de Oropesa del mar-Torreblanca (1991).
- Estudio de normas de explotación de la Unidad Hidrogeológica 08.38: Plana de Gandia-Dénia (1993).
- Plan estratégico de actuaciones urgentes frente a la situación de sequía de los años 1994-1995 (1994-1995).
- Proyecto de instalación, mantenimiento y operación de redes oficiales de control de aguas subterráneas: piezometría, hidrometría y calidad. Cuenca del Júcar (1995).

Entre los trabajos realizados por el Instituto tecnológico Geominero de España caben resaltar las siguientes referencias:

- Investigación hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del río Júcar Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (1977).
- Investigación hidrogeológica de la cuenca alta de los ríos Júcar y Segura (1979).
- Proyecto de investigación hidrogeológica para abastecimiento a poblaciones de la provincia de Valencia y Alicante (1981).
- Estudio hidrogeológico de las cuencas costeras alicantinas (1981).
- Las aguas subterráneas en la provincia de Alicante y mapa hidrogeológico a escala 1:200.000.
- Estudios hidrogeológicos en Albacete, Alicante y Murcia (1986).

- Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización (1986).
- Atlas hidrogeológico de la provincia de Castellón (1988).
- Estudio del proceso de contaminación en el acuífero costero de Gandia-Dénia por efecto de la intrusión del agua del mar (1990).
- Proyecto de investigación hidrogeológica para la gestión de la Unidad de Castell de la Solana-Solana de la Llosa (1991).

De las referencias consultadas de la Dirección General de Obras Hidráulicas y del Servicio Geológico del MOPTMA destacan las siguientes:

- Estudio de delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características 08. Cuenca del Júcar (1988).
- Estudio de los recursos hidráulicos totales de la zona comprendida entre los ríos Ebro y Mijares (1970).
- Estudio de recopilación y síntesis de los recursos hidráulicos totales de las cuencas bajas de los ríos Júcar, Turia y Palancia (1974).
- Estudio de recopilación y síntesis de los recursos hidráulicos de las cuencas alta y media de los ríos Vinalopó y Verde (1977).
- Informe sobre los recursos hídricos de la zona litoral comprendida entre las cuencas de los ríos Serpis y Algar (1982).
- Estudio de aprovechamiento de los recursos hídricos del ríos Mijares y de la Plana de Castellón (1982).
- Estudio sobre las posibilidades de recarga artificial en la Plana de Oropesa del Mar-Torreblanca (1983).
- Estudio de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca baja del río Palancia y los Valles (1986).
- Estudio previo sobre las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas en los embalses españoles en terrenos calcáreos. Inventario de embalses españoles en terrenos calcáreos. Cuenca del Júcar (1974).
- Trabajos de reconocimiento hidrogeológico en la Cuenca Alta del río Vinalopó. (1992).
- Delimitación y síntesis de características de las unidades hidrogeológicas intercuenas (1993).
- Informe sobre los sondeos de investigación realizados en la Mancha Oriental (sector Albacete-Carcelén-Alcalá del Júcar) (1993).
- Establecimiento y explotación de redes oficiales de consumo de aguas subterráneas (Cuenas intercomunitarias) (1992).

Entre los trabajos realizados por EVREN no incluidos en las referencias anteriores destacan los siguientes:

- Gestión del medio ambiente de los recursos de agua de abastecimiento público, en el término municipal de Gandia (contrato de asistencia técnica) (1988).
- Informe sobre la situación de los abastecimientos de agua a los municipios de la Comunidad Valenciana (1988).
- Actualización hidrogeológica del acuífero de Crevillente (Alicante) (1989).
- Estudio de explotación actual y posibilidades de actuación en materia de gestión de los recursos y de las reservas hídricas del acuífero de Crevillente (Alicante) (1989).
- Posibilidades de actuación en materia de recursos hidráulicos para la mejora y optimización del abastecimiento a la comarca de la Marina Baixa (Alicante) (1989).
- El medio geológico y los recursos hídricos subterráneos en la ciudad de Valencia (1990).
- Proyecto de saneamiento integral del Perellonet (Valencia) (1990).
- Estudio diagnóstico sobre el uso de pozos de aguas subterráneas para abastecimiento doméstico, industrial u otras actividades (1990).
- Informe final sobre los trabajos efectuados para la sustitución y mejora del actual abastecimiento urbano a Gandia (1991).
- Estudio hidrológico con prospección geofísica en la zona del Valle de Ayora (Valencia) (1991).
- Estudio de actuaciones integradas de corrección hidrológica-forestal y de recarga de acuíferos en los terminos municipales de Ibi y Tibi (1994).
- Control geológico e hidrogeológico de los sondeos de la Diputación Provincial de Castellón (1994).
- Programa actuaciones para la solución del abastecimiento de aguas a Gilet en situación de emergencia (1994).
- Curso de calidad, tratamiento y depuración de aguas potables y residuales. Conferencia 26: E.I.A. de una planta de tratamiento (1994).
- Actuaciones de emergencia en el acuífero de Peña-Martí para garantizar el abastecimiento de agua al consorcio durante el año 1995 en situación de sequía. Informe preliminar (1995).
- Plan estratégico para la implantación de la fase de alcantarillado y cánon de saneamiento a los vertidos procedentes de aguas subterráneas. Programa de trabajo (1995).
- Asistencia técnica al plan estratégico de actuaciones urgentes frente a la situación de sequía del año 1994 (1995).

ANEJO N° 2

***MÉTODOS DE REHSE Y BOLSENKÖTER
DE EVALUACIÓN DEL PODER DEPURADOR DE
MEDIOS POROSOS Y FISURADOS***

2.1 MÉTODO DE REHSE

Rehse (1977) ha propuesto un método empírico para calcular el poder depurador de un suelo durante el transporte de una sustancia contaminante, primero por circulación vertical desde la superficie hasta el acuífero, a través de la zona no saturada, y después por circulación de esta sustancia dentro del propio acuífero, en sentido horizontal.

Este autor, ha definido los espesores de suelo necesarios, en condiciones de no saturación, para conseguir una depuración natural del efluente contaminante. Asimismo y para cuatro categorías de constituyentes de la zona saturada determina una longitud de trayecto en metros que será función de la velocidad efectiva del flujo subterráneo, necesaria para completar la depuración (tabla 1).

En las tablas 2 y 3 se dan los valores de los parámetros físicos e hidrodinámicos que sirven para el cálculo de los espesores H y de las distancias L .

Para el suelo y la zona no saturada (zona de recubrimiento) se da un índice de depuración I_r que se define como sigue:

$$I_r = I / H$$

donde H es el espesor tomado en un plano vertical del material considerado en la zona no saturada.

Para la zona saturada (acuífero), el índice de depuración I_a viene dado por:

$$I_a = I / L$$

donde L es la longitud del trayecto horizontal en la capa desde la vertical del punto de vertido hasta la captación.

a) Recubrimiento (suelo + zona no saturada)

M	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	H	I _r = 1/H
1	Humus, 5-10% humus, 5-10% arcillas	1,2	0,8
2	Arcilla sin grietas de desecación limoarcillosas. Arena muy arcillosa	2	0,5
3	<i>Silt</i> arcilloso a <i>silt</i>	2,5	0,4
4	<i>Silt</i> , arena siltosa, arena poco siltosa y poco arcillosa	3-4,5	0,33-0,22
5	Arena de fina a media	6	0,17
6	Arena de media a gruesa	10	0,1
7	Arena gruesa	15	0,07
8	Grava siltosa rica en arena y arcilla	8	0,13
9	Grava poco siltosa, mucha arena	12	0,08
10	Grava fina a media rico en arena	25	0,04
11	Grava media a gruesa con poca arena	35	0,03
12	Guijarros	50	0,02

M: n° de la clasificación granulométrica.

H: espesor de la capa de suelo necesaria para la depuración (en metros).

I_r: Índice de depuración en la zona de recubrimiento.

Tabla 1. Poder depurador del suelo según REHSE (1977)

b) En el acuífero

El poder depurador total de los terrenos vendrá dado por el poder depurador de la zona no saturada más el poder depurador de la zona saturada.

$$M_x = M_a + M_r$$

M_x = poder depurador sobre la totalidad del transporte.

M_r = poder depurador del trayecto vertical

M_a = poder depurador del trayecto horizontal.

La depuración será completa o total si:

$$M_x \geq 1$$

M	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	L	I _a = 1/L
9	Grava poco siltosa, con mucha arena	a) 100	0,01
		b) 150	0,007
		c) 170	0,006
		d) 200	0,005
10	Grava fina a media rica en arena	a) 150	0,07
		b) 200	0,005
		c) 220	0,0045
		d) 250	0,004
11	Grava media a gruesa con poca arena	a) 200	0,05
		b) 250	0,004
		c) 270	0,0037
		d) 300	0,0033
12	Gravas, guijarros	a) 300	0,0033
		b) 340	0,0029
		c) 360	0,008
		d) 400	0,0025

L: distancia horizontal necesaria para la depuración (m).

a: velocidad < 3 m/día.

b: velocidad comprendida entre 3 y 20 m/día.

c: velocidad comprendida entre 20 y 50 m/día.

d: velocidad > 50 m/día.

I_a: Índice de depuración en el acuífero.

Tabla 1 (continuación). Poder depurador del suelo según REHSE (1977)

a) Depuración en la zona de recubrimiento

Para el trayecto vertical, si la zona no saturada está constituida por n materiales distintos:

$$M_r = \sum_{i=1}^{i=n} h_i I_{ri}$$

siendo h_i las alturas de las diferentes categorías encontradas y I_{ri} sus índices correspondientes (tablas 2 y 3).

Si $M_r \geq 1$ la depuración en la zona no saturada es completa.

Si $M_r < 1$ la descontaminación en las capas superiores no es total y el agua contaminada alcanzaría la zona saturada.

b) Depuración en el acuífero

Supongamos ahora que $M_x = 1$ (depuración completa del acuífero antes de alcanzar una captación), entonces el poder depurador de la zona saturada será:

$$M_a = I - M_r$$

La distancia l que como mínimo es necesario recorrer para alcanzar una depuración total será:

$$L = \frac{M_a}{I_a}$$

Siendo I_a el índice correspondiente al material acuífero.

Si no existiera recubrimiento, toda la depuración debería de realizarse a través del material acuífero. Para que sea completa debe de ser $M_a = 1$ y:

$$L = \frac{l}{I_a}$$

(1) N° de Roca	(2) Roca	(3) Espesor (m)	(4) Permeabilidad kf saturada o semisaturada (m/s)	(5) Porosidad útil saturada %	(6) Porosidad útil no saturada %	(7) Superficie específica m ²	(8) Velocidad real (m/d)	(9) Tiempo de recorrido (días)	(10) Capacidad de retención (%)	(11) Volumen útil m ³	(12) Retención m ³	(13) Superficie total de los granos (m ²)
M												
1		1,2	5x10 ⁷	0,05	-	1x10 ⁶ .5.10 ⁷	0,86	1,4	> 10	(0,06)	- 0,12	1,2x10 ⁶ .6x10 ⁷
2	Roca con	2,0	1x10 ⁸	0,035	-	4x10 ⁸	0,025	80,0	- 50	(0,07)	- 1,0	8x10 ⁸
3	Propiedades	2,5	1x10 ⁷	0,065	-	4x10 ⁵	0,16	15,6	- 20	(0,14)	0,5	1x10 ⁶
4 ₁	De absorción	3,0	5x10 ⁷	0,08	-	225.600	0,54	5,6	- 32	0,24	- 1,0	676.800
4 ₂		3,8	1x10 ⁶	0,10	-	25.000	0,86	4,4	- 27	0,38	- 1,0	95.000
4 ₃		4,5	5x10 ⁶	0,10	0,08	19.000	4,32	1,0	- 24	0,45	- 1,1	85.500
5	Roca	6,0	5x10 ⁷	0,105	0,08	13.400	$\frac{0,54}{8,23}$	$\frac{8,3}{0,7}$	- 3	0,63	0,2	80.400
6	Arenosa	10,0	1x10 ⁶	0,135	0,1	7.600	$\frac{1,08}{19,2}$	$\frac{5,6}{0,5}$	- 2,5	1,35	0,3	76.000
7		15,0	3x10 ⁵	0,16	0,12	4.000	$\frac{2,59}{27,0}$	$\frac{4,0}{0,6}$	- 2,3	2,4	0,4	60.000
			5x10 ⁶				$\frac{3,6}{0,72}$	$\frac{11,1}{0,06}$	- 15	0,48	1,2	72.000
8		8,0	5x10 ⁷	0,06	-	9.000	0,72	11,1	- 2	1,8	- 0,2	21.600
9	Gravas	12,0	3,5x10 ⁴	0,15	0,12	1.800	201,6	0,06	- 2	4,8	- 0,5	14.500
10		25,0	3,5x10 ⁶	0,18	0,15	580	$\frac{2,52}{480,0}$	4,8	- 2	4,5		
			1x10 ³					0,05				
11	Gravas	35,0	1x10 ²	0,20	0,15	200	4.320,0	11,7min	- 1,5	7,0	0,5	7.000
12	Gujarros	50,0	1x10 ⁴	0,25	-	60	$\frac{57,6}{6m/h}$	$\frac{14,6h}{8,3h}$	- 1,2	12,5	0,6	3.000

Columnas:

(3) Espesor indicado en la tabla 4

(7) Superficie específica de los granos

(11) Producto de las columnas (3) y (5)

(12) Producto de las columnas (3) y (10)

(4) k: valor superior o valor único - en condición saturada.

(8 y 9) El valor subrayado es aquel que prevalece. Corresponde a la saturación parcial para los materiales permeables.

(13) Producto de las columnas (3) y (7).

Tabla 2. Algunos parámetros para las rocas de la zona no saturada (Extraído de Rehse, 1977).

(1) N° de Roca	(2) Roca	(3) Permeabilidad Kf (m/s)	(4) Velocidad real Va (m/d)	(5) Distancia límite (m)	(6) Tiempo de recorrido (m)	(7) Volumenes infiltrados (m ³)	(8) Superficie específica (m ² /m ³)	(9) Superficie total de los granos (m ²)
9	Grava silteosa arenosa	3, 5x10 ³	A	< 3	100	33,3	100	180 x 10 ³
			B	3 12	150	12,5	150	270 x 10 ³
			C	20 35	170	4,9	170	306 x 10 ³
			D	50	200	4,0	200	360 x 10 ³
10	Grava arenosa	3, 5x10 ²	A	< 5	150	30,0	150	87 x 10 ³
			B	5 12	200	16,7	200	116 x 10 ³
			C	20 35	220	6,3	220	128 x 10 ³
			D	50 75	250	3,3	250	145 x 10 ³
11	Grava	1,0x10 ²	A	< 5'	200	40,0	200	40 x 10 ³
			B	5 12	250	20,8	250	50 x 10 ³
			C	20 35	270	7,7	270	54 x 10 ³
			D	50 75	300	3,0	300	60 x 10 ³
12	Guijarros	2,5	A	< 5	300	60,0	300	18 x 10 ³
			B	5 12	340	28,3	340	20 x 10 ³
			C	20 35	360	10,3	360	22 x 10 ³
			D	50 100	400	4,0	400	24 x 10 ³

Columnas:

- (1) N° de Material.
- (3) Valor de kf (permeabilidad) en condición saturada.
- (4) Intervalos de velocidades reales: el valor medio es utilizado en los cálculos, por ejemplo en la columna 6. Depende del gradiente.
- (5) Distancia límite requerida según el caso.
- (6) Tiempos de recorrido calculado a partir de (4) y (5).
- (7) Producto de 1 m² de sección y de la distancia.
- (8) Superficie específica de los granos.

Tabla 3. Algunos parámetros para las rocas de la zona saturada (acuífero) (Extraído de Rehse, 1977)

2.2 MÉTODO DE BOLSENKÖTER PARA MEDIOS FISURADOS

Bolsenköter (1984) ha completado el método de Rehse proponiendo un método similar para los medios fisurados y karstificados.

Puesto que el poder depurador de las rocas en medios fisurados es menor que el de las rocas en medios porosos Bolsenköter aumenta al doble las distancias necesarias para conseguir una depuración total. En este caso el índice de depuración I_a del acuífero será:

$$I_a = 0.5/H$$

En la tabla 4 se dan los valores de H y de I_a para siete tipos de acuíferos fisurados

C	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	H (m)	$I_a = 0,5/H$
1	Margas	10	0,05
2	Arenisca con capas arcillosas. Arcillas micoesquistos y filitas	20	0,025
3	Basaltos y rocas volcánicas	30	0,017
4	Grauwaca, arcosas, areniscas arcillosas-sietosas	50	0,01
5	Granito, Miorito-granodiorito, diorita, sionita	70	0,007
6	Cuarcitas, areniscas con silex	100	0,005
7	Caliza	200	0,0025

Tabla 4. Poder depurador de las rocas en medios fisurados (BOLSENKÖTER)

ANEJO N° 3

***RELACIÓN DE ÁREAS CUYA
VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN
DE LAS AGUAS ES ALTA O MUY ALTA***

Entre las áreas de alta y muy alta vulnerabilidad en la cartografía realizada, destacan las siguientes estructuras hidrogeológicas:

- Afloramiento de calizas del Jurásico inferior de la Sierra de Irta, que constituyen, el área de alimentación de los manantiales de Alcoceber, Torre Badum y Prat de Peñíscola.
- En el interior de la provincia de Castellón son de especial interés los afloramientos calizos de edad Gargasiense y Cretácico Superior, que actúan como colectores de la precipitación y drenan a través de pequeños manantiales que abastecen a numerosos municipios (Morella, Culla, Cortes de Arenoso, etc.).
- Afloramientos permeables del Jurásico inferior-medio que drenan al tramo intermedio de la Cuenca del río Mijares, directamente o a través de los manantiales de la Escaleruela, Babor y Mar Royo.
- Materiales calizo-dolomíticos del Muschelkalk del acuífero de Onda, drenantes al curso medio del río Mijares y a la Plana de Castellón; este sector de contacto, acuífero de Onda-Plana de Castellón, es especialmente vulnerable.
- Afloramientos calizo-dolomíticos del Lías inferior del extremo más suroccidental de los Montes Universales drenantes del río Ebrón, afluente del Turia.
- Afloramientos calizo-dolomíticos del Lías inferior del acuífero de la Olmeda (en Rincón de Ademuz) drenantes al río Turia por los manantiales de Santa Cruz de Moya.
- Afloramientos calizos del Lías inferior en la Sierra del Toro y Alpuente drenantes a los ríos Tuejar y Turia.
- Afloramientos calizo-dolomíticos del Lías-Dogger del acuífero de Jérica drenantes por los manantiales de Los Ojos del Prado, San Miguel, Fuensanta y Santa Ursula, vertientes al río Hurón y por los manantiales del área de Navajas.
- Afloramientos de calizas del Muschelkalk del Medio Palancia y sobre todo el contacto de estos materiales con el sector meridional de la Plana de Castellón y la Plana de Sagunto en donde se localizan las descargas de S. José, Quart, La Llosa y Almenara.
- Afloramientos calizos del Lías-Dogger del acuífero de la Sierra de Enmedio pertenecientes a la U.H. 08.18: Las Serranías, que drenan al río Turia a la altura de Gestalgar.
- Cubeta de Lliria-Casinos, especialmente en el área de drenaje localizada en el Manantial de San Vicente y en el contacto con la Plana de Valencia.
- Área de contacto del macizo del Caroch con Plana de Valencia.
- También en el Caroch, área de alimentación ligada a las descargas de los manantiales de Anna, Navarrés y Los Santos.

- Afloramientos de calizas cretácicas y jurásicas de la Sierra de las Agujas en contacto con la Plana de Valencia.
- Afloramientos calizos del Jurásico inferior y del Cretácico superior de la U.H. 08.29: Mancha Oriental drenantes al Júcar y afluentes, en el Valle de Ayora.
- Afloramientos calizos del Jurásico inferior y Cretácico superior de la Sierra de Oliva.
- Acuífero de Marchuquera-Falconera en la U.H. 08.32: Sierra Grossa, por su implicación en el abastecimiento a Gandia.
- Afloramientos calizo-dolomíticos del Cretácico superior de la Sierra Grossa en el área de Fontanars (Implicación en los abastecimientos a Fontanars dels Alforins y la Font de la Figuera).
- Afloramientos calizo-dolomíticos del Cretácico superior de la Sierra de la Solana en la U.H. 08.37: Alicante-Mustalla (por su implicación en el abastecimiento Alicante) y área de descarga (Sierra de Mustalla) de esta unidad en el Marjal de Oliva-Pego en la Plana de Gandia-Dénia.
- Area de descarga del acuífero de Pinar de Camus en el detrítico de Muro de Alcoy dentro de la U.H. 08.40: Sierra de Mariola.
- Area de descarga de la U.H. 08.39: Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, localizada en el sector de Tormos, Rafol de Almunia y Sagra y vertiente al río Girona.
- Afloramientos calizos del Cretácico superior del acuífero de Castell de la Solana-Solana de la Llosa por su implicación en los abastecimientos a Dénia, Jávea, Pedreguer y Gata de Gorgos. (U.H. 08.47: Peñón-Montgó-Bernia-Benissa).
- Afloramientos calizos del Cretácico superior ligados al área de alimentación de los manantiales del Algar en la U.H. 08.46: Serrella-Aixorta-Algar.
- Afloramientos del Turoniense calizo del acuífero de Polop-La Nucia (del que se abastecen los municipios referidos) en la U.H. 08.45: Sierra de Aitana.
- Afloramientos de calizas del Cretácico superior ligadas al área de Orxeta.