

Aplicación del método DRASTIC para la cartografía de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero carbonatado de Torremolinos (Sierra de Mijas, provincia de Málaga)

Application of the DRASTIC method for the vulnerability mapping of the Torremolinos carbonate aquifer (Sierra de Mijas, province of Málaga)

J.M. Vías (*), M.J. Perles (*), B. Andreo (**), F. Carrasco (**)

(*) Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Málaga, 29071 Málaga.

(**) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga, 29071 Málaga.

ABSTRACT

The paper shows the results of the application of the DRASTIC method for contamination vulnerability assessment in the fissured carbonate aquifer of Torremolinos. The final mapping of the overlay cover using GIS (Arc/info y Arc/view) are also presented as well as the main problems occurred.

Key words: vulnerability mapping, DRASTIC method, carbonate aquifer.

Geogaceta, 27 (1999), 179-182

ISSN: 0213683X

Introducción

El presente artículo pretende dar a conocer los primeros resultados obtenidos sobre la cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos carbonatados, en el marco de una investigación conjunta que se está llevando a cabo entre los Departamentos de Geología y de Geografía de la Universidad de Málaga. La investigación consiste, primeramente, en aplicar distintos métodos de evaluación y cartografía de la vulnerabilidad en un acuífero piloto y, posteriormente, aplicar los métodos más adecuados a otros sistemas carbonatados de la Cordillera Bética.

En este trabajo preliminar, el método de cartografía utilizado ha sido DRASTIC (Aller et al., 1987) y el acuífero piloto que se ha elegido para hacer la cartografía de vulnerabilidad ha sido el sistema de Torremolinos (Fig. 1). Las razones son: porque se dispone de la información necesaria para aplicar el método y porque en este sistema se llevan a cabo actividades antrópicas (urbanizaciones, autovía, carreteras, vertederos de residuos sólidos, cementerio) que pueden deteriorar la calidad natural de las aguas, lo cual pone de manifiesto la necesidad de disponer de mapas de vulnerabilidad a la contaminación.

Características generales del acuífero

El acuífero de Torremolinos ocupa una superficie aproximada de 46 km² y está situado al suroeste de la ciudad de Málaga, en la parte noreste de la Sierra de Mijas, concretamente entre las localidades de Torremolinos, Alhaurín de la Torre y Arroyo de la Miel (Fig. 1). En esta región, el clima es de tipo mediterráneo, con una precipitación media anual de 632 mm y una temperatura media anual de 18'3°.

El relieve es abrupto y, consecuentemente, la pendiente es elevada, superior al 20% en gran parte del sistema. Las mayores alturas y las pendientes más pronunciadas se encuentran en el sector centro-occidental, donde el suelo aparece cubierto por la vegetación natural y de reforestación que se desarrolla en la sierra. En los sectores septentrional y oriental, hay lugares donde el suelo se utiliza para actividades antrópicas: edificaciones en las laderas de la sierra, extracción de áridos en canteras e incluso actividad agrícola en los bordes del acuífero.

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio forma parte de la unidad de Blanca, perteneciente al complejo Alpujarride de la Cordillera Bética (Andreo y Sanz de Galdeano, 1994). La serie estratigráfica de dicha unidad está formada por dos conjuntos litológicos que aparecen representados en el mapa de

la figura 1: uno inferior constituido por metapelitas del Paleozoico y otro superior formado por mármoles triásicos. Dentro de los mármoles, a su vez, es posible distinguir dos tramos, de 300 m de espesor cada uno: mármoles blancos dolomíticos del Trías inferior y mármoles azules calizos, con intercalaciones discontinuas de metapelitas, del Trías superior. Discordantes sobre los materiales anteriores, en los bordes de la sierra, hay margas de edad Plioceno y brechas cuaternarias.

Los materiales alpujarrides presentan una estructura geológica formada por pliegues isoclinales de dirección ESE-ONO, con vergencias variables según los sectores. Los pliegues han sido truncados por fracturas más modernas, cuyas direcciones predominantes son NNE-SSO y NNO-SSE (Andreo et al., 1997).

El acuífero de Torremolinos queda limitado al norte, este y oeste por fallas que ponen en contacto los mármoles con los materiales de baja permeabilidad del substrato paleozoico y/o del Plioceno, mientras que en el borde meridional está limitado por las metapelitas que constituyen un núcleo anticlinal. El flujo subterráneo regional sigue prácticamente las directrices estructurales, pues se produce desde el oeste, donde se encuentran las cotas piezométricas más altas (del orden de 150 m s.n.m.), hacia el este, donde se

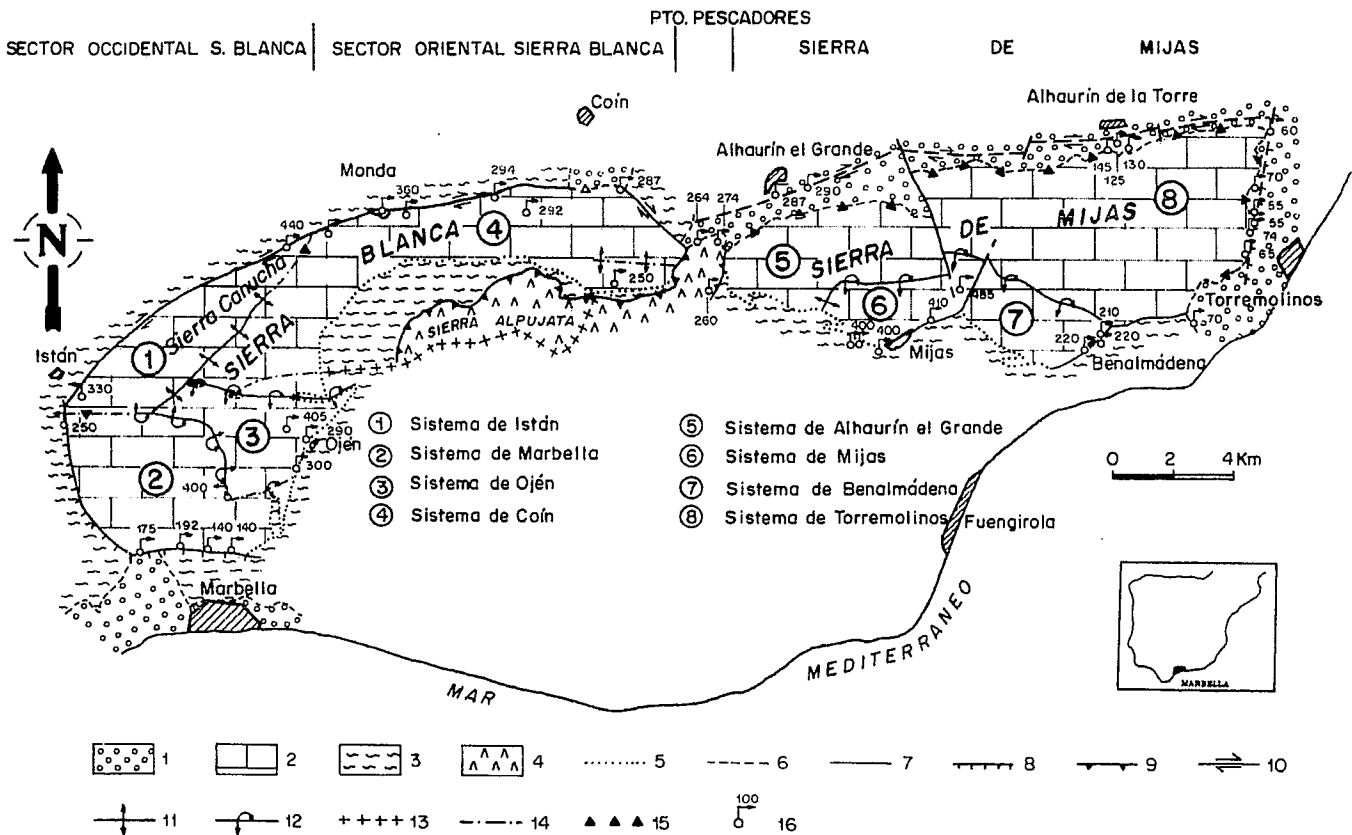


Figura 1. – Situación geográfica del área de estudio. Mapa y cortes hidrogeológicos del sistema de Torremolinos. Legenda: 1 = sedimentos plio-cuaternarios, 2 = mármoles, 3 = materiales de baja permeabilidad (gneises, migmatitas y arcillas), 4 = contacto discordante, 5 = contacto tectónico, 6 = falla de desgarre, 7 = falla normal, 8 = anticlinal tumbado, 9 = manantial, 10 = sondeo, 11 = nivel piezométrico, 12 = arroyo, 13 = posible transferencia de recursos.

Figure 1. – Location of the study area. Hydrogeological map and cross-sections of the Torremolinos aquifer. Legend: 1 = plio-quaternary sediments, 2 = marbles, 3 = metapelites, 4 = unconformity, 5 = fault, 6 = strike-slip fault, 7 = normal fault, 8 = reversed anticline, 9 = anticline, 10 = well, 11 = piezometric level, 12 = stream, 13 = possible transference of resources

encuentran los principales puntos de descarga natural (los manantiales de Torremolinos, a la cota 55 m.s.n.m.). El sistema presenta un comportamiento hidrogeológico propio de acuífero fisurado o de flujo difuso (Andreo, 1997; Andreo y Carrasco, 1999), con valores medios de permeabilidad comprendidos entre 10 y 100 m/día. En este acuífero se lleva a cabo una importante explotación del agua subterránea, fundamentalmente para abastecimiento urbano; las extracciones se cifran en 20 hm³/año mientras que los recursos medios anuales son del orden de 12 hm³/año.

Metodología

El método *DRASTIC* (Aller et al., 1987), que se utiliza para realizar cartografía de vulnerabilidad a la contaminación en acuíferos, forma parte de los denominados métodos de sistemas

paramétricos, se aplica independientemente del contaminante potencial y permite trabajar con unidades espaciales homogéneas. El método considera siete parámetros o variables cuyas iniciales (en inglés) dan nombre al método: profundidad al nivel piezométrico (D), recarga (R), material acuífero (A), tipo de suelo (S), topografía o pendiente (T), impacto de la zona no saturada según su litología (I), conductividad hidráulica (C). Cada una de estas variables está dividida en una serie de intervalos, a los cuales se le asigna una puntuación que varía entre 1 y 10, siendo el valor 10 el de máxima vulnerabilidad. En la tabla 1 se presentan las puntuaciones de cada parámetro para el sistema de Torremolinos. La puntuación correspondiente a cada variable se multiplica por un factor de ponderación comprendido entre 1 y 5, en función de la importancia relativa de cada parámetro en el conjunto. A mayor importancia del

parámetro, mayor factor de ponderación.

La vulnerabilidad, para cada unidad espacial homogénea, viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{Índice DRASTIC} = 5 \cdot D + 4 \cdot R + 3 \cdot A + 2 \cdot S + 1 \cdot T + 5 \cdot I + 3 \cdot C$$

El valor resultante tiene dos características principales: es un valor discreto y, por tanto, no se pueden interpolar valores de vulnerabilidad entre dos zonas con distinto índice y, segundo, es un valor meramente comparativo por lo que no cuantifica la vulnerabilidad a la contaminación (Aller et al., 1987).

En materia de cartografía de vulnerabilidad se trabaja con variables no coincidentes espacialmente que se expresan como unidades espaciales analíticas, por lo que la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se hace prácticamente indispensable. El SIG es un sistema de gestión de bases de datos georreferenciadas que permite el manejo

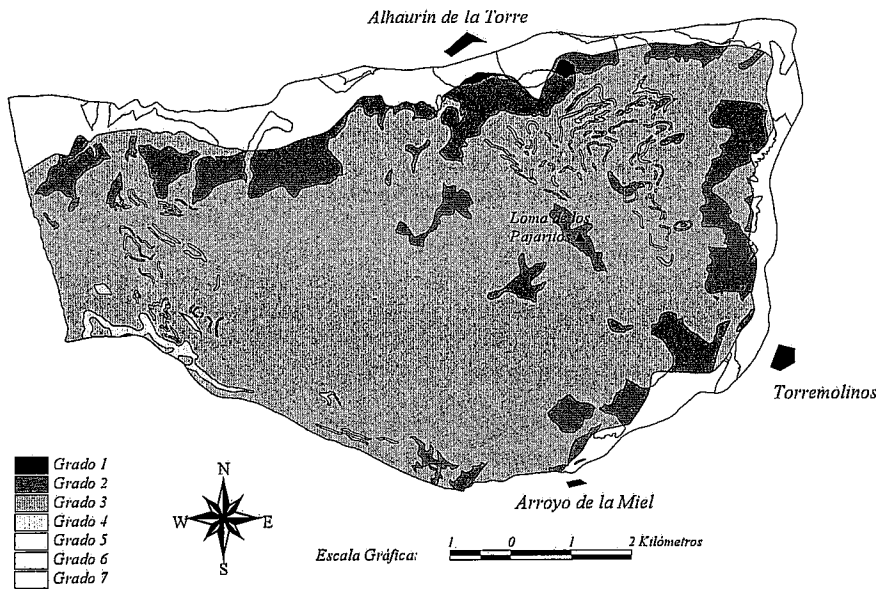


Figura 2. - Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del sistema acuífero de Torremolinos.

Figure 2.- Contamination vulnerability map of Torremolinos aquifer.

de un gran volumen de información espacial, sin perder sus características iniciales al superponer las distintas capas de información (Burrough, 1988). En el presente estudio se han utilizado los SIGs Arc/info y Arc/view. El primero de ellos por sus cualidades para el análisis espacial de las capas de información y el segundo por su agilidad en cuanto a visualización y presentación de resultados.

Los distintos pasos metodológicos seguidos en el presente trabajo han sido:

Recopilación de la información necesaria para la obtención de los diferentes parámetros aplicados por *DRASTIC*.

El parámetro D se obtuvo mediante la diferencia de los datos de altitud del mapa topográfico de Andalucía a escala 1:10.000 (isolíneas de altitud de 50m) y del mapa de isopiezas (equidistancia de 10m) elaborado a partir de la información de niveles piezométricos de los distintos sondeos del sistema. Para la determinación del parámetro R se utilizaron los datos de pluviometría sobre el acuífero (mapa de isoyetas de 10 mm) multiplicados por el coeficiente de infiltración. Los parámetros A e I se obtienen a partir de cartografía geológica a escala 1:25.000 hecha por Andreo y Sanz de Galdeano

(1994). La variable S procede del mapa de suelos del proyecto LUCDEME a escala 1:100.000. El parámetro T se obtiene del mapa topográfico de Andalucía a escala 1:10.000. Por último, el parámetro C se estima a partir de los datos de transmisividad obtenidos en ensayos de bombeo.

El principal problema a la hora de obtener la información ha sido la falta de puntos de muestreo para elaborar el mapa o capa del parámetro C, lo cual impedía hacer una cartografía de isolíneas, y se optó por otorgar a cada litología del acuífero (parámetro A) un valor de conductividad hidráulica acorde con los valores de transmisividad disponibles. Los mapas de isopiezas y de isoyetas que se han manejado para obtener los parámetros D y R, respectivamente, presentan el problema de que los puntos de muestreo se encuentran hacia los bordes del sistema y ha sido necesario generar estaciones en la parte central del acuífero mediante la aplicación de gradientes (piezométrico y de precipitaciones según la altitud). Por lo que respecta al tipo de suelo (S), el problema ha radicado en no disponer de una cartografía de detalle.

Digitalización de los datos espaciales por interpolación de coordenadas X e Y (mediante tableta digitalizadora o base de datos con coordenadas X e Y) y el manejo de software de diseño asistido por ordenador Surfer y Autocad. Las base de datos alfanuméricas se han desarrollado en la hoja de cálculo de Excel.

La transferencia de datos espaciales desde Autocad y Surfer a Arc/info, se ha realizado a través de archivos de intercambio (dxf) y los datos alfanuméricos mediante archivos con formato dbf.

Análisis espacial de las distintas coberturas. La superposición de las distintas capas, en la que se localiza la información espacial y alfanumérica se ha realizado mediante la intersección de las mismas. Esto ha permitido individualizar 7679 unidades espaciales en el área de estudio, de acuerdo con los parámetros manejados.

Para la obtención de la cartografía final de vulnerabilidad a la contaminación, primero se ha calculado el índice *DRASTIC* para cada unidad espacial y se han establecido intervalos según la media y la desviación estándar de los distintos valores del índice. Posteriormente, se han eliminado las fronteras entre las unidades espaciales de igual índice, generándose unidades homogéneas de vulnerabilidad a la contaminación. Por último, se ha optimizado la presentación de la cartografía, mediante el SIG Arc/view, donde

V	F								
D	5	I	0-5	5-15	15-30	30-50	50-75	75-100	+100
		P	10	9	7	5	3	2	1
R	4	I	+10	7-10	4-7	2-4	0-2		
		P	9	8	5	3	1		
A	3	I	Mármoles blancos	Mármoles azules					
		P	8	7					
S	2	I	Leptosoles	Regosoles	Antrosoles	Calcisoles			
		P	10	9	6	3			
T	1	I	0-2	2-6	6-12	12-18	+18		
		P	10	9	5	3	1		
I	5	I	Mármoles blancos	Mármoles azules	Niveles de metapelitas	Metapetlitas	Margas		
		P	9	8	5	4	1		
C	3	I	Mármoles blancos	Mármoles azules					
		P	6	4					

Tabla 1.- Parámetros del método *DRASTIC* para el sistema de Torremolinos. Leyenda: V = parámetro, F = factor de ponderación, I = intervalos, P = puntuación.

Table 1.- *DRASTIC's* parameters in Torremolinos system. Legend: V = parameters, F = weights, I = ranges, P = ratings.

se ha introducido la información como archivos de intercambio de Arc/info, e00.

Mapa de vulnerabilidad. Discusión de los resultados y conclusiones

La cartografía vulnerabilidad obtenida para el área de estudio (Fig. 2) está condicionada, principalmente, por la litología. Así, los valores de vulnerabilidad más bajos corresponden a los materiales no carbonatados, las margas del Plioceno y los niveles metapelíticos intercalados en los mármoles cuya importancia es escasa. Los valores más elevados se obtienen en los mármoles, aunque hay poca variación de los grados de vulnerabilidad.

Dentro del afloramiento de mármoles la distinción de grados de vulnerabilidad está marcada por la topografía y la profundidad del nivel piezométrico. Hacia los bordes de la sierra, donde la topografía es menos acusada y la profundidad del nivel piezométrico es menor, la vulnerabilidad aumenta. Merece destacarse que, en algunos de estos sectores más vulnerables, situados cerca de las localidades de Alhaurín de la Torre y Arroyo de la Miel, se desarrollan actividades potencialmente contaminantes.

En cualquier caso, todos los valores calculados corresponden a un grado bajo y medio de vulnerabilidad de los tres (bajo, medio y alto) que posibilita el método *DRASTIC*. Según esto, el acuífero de Torremolinos, presenta una vulnerabili-

dad máxima de grado medio, lo cual podría estar en consonancia con el hecho de que no se hayan detectado indicios de contaminación a pesar de la importante actividad antrópica que se desarrolla sobre él, desde hace más de dos décadas. No obstante, el hecho de que no se alcancen valores elevados de vulnerabilidad, contrasta con el conocimiento hidrogeológico que se tiene del acuífero, particularmente de los valores de permeabilidad y transmisividad disponibles. En cualquier caso, no cabe pensar que el acuífero sea capaz de soportar todo tipo de actuaciones sobre él, porque es bien sabido que cuanto más tarda en contaminarse un acuífero más difícil es desconectarlo.

La relativa homogeneidad de los valores de vulnerabilidad en los mármoles y la no distinción de zonas potencialmente muy vulnerables como canteras (donde la profundidad del nivel piezométrico y la pendiente presentan valores bajos), podrían ser debidas a las limitaciones del método. En el acuífero de Torremolinos, el parámetro T (topografía o pendiente), que va multiplicado por un factor de ponderación bajo, influye más en la distribución espacial de la vulnerabilidad que otros parámetros con mayor factor de ponderación como R (recarga) y A (litología del acuífero). Esto se debe a que el parámetro T presenta una variabilidad espacial mayor que R y A. El método *DRASTIC* parece más adecuado para

cartografiar grandes superficies (centenares y miles de km²), donde los parámetros presentan variaciones espaciales están muy marcadas, especialmente aquellos que tienen un mayor factor de ponderación.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de la Acción Europea COST 620 y ha sido subvencionado por los Grupos de Investigación RNM 0126, de la Junta de Andalucía y por el proyecto PB98-1397 de la DGES. Se agradece la ayuda prestada por B. Galacho, A. Berlanga e I. Vadillo.

Referencias

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.H. and Hackett, G. (1987): US Environmental Protection Agency, 622 p.
- Andreo, B. (1997): *Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas*. Universidad de Málaga-CHS, 489 p.
- Andreo, B. y Carrasco, F. (1999): *Applied Geochemistry*, 14: 283-299.
- Andreo, B. y Sanz de Galdeano, C. (1994): *Annales Tectonicae*, 8(1): 23-35.
- Andreo, B., Carrasco, F. y Sanz de Galdeano, C. (1997): *Environmental Geology*, 30 (3/4): 163-173.
- Burrough (1988): *Principles of GIS for Land Resources Assesment*, Oxford University Press, 202 p.