

# Cartografía comparativa de la vulnerabilidad del acuífero costero de Ghis-Nekor (Marruecos)

## Comparative cartography of the Ghis-Nekor coastal aquifer vulnerability (Morocco)

A. Salhi<sup>(1,2)</sup>, J. Stitou El Messari<sup>(2)</sup>, S. Benabdelouahab<sup>(1,2)</sup>, M. El Gettafi<sup>(3)</sup>, Y. Díaz<sup>(1)</sup>, M. Himi<sup>(1)</sup> y A. Casas<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona. salhi@ub.edu

<sup>(2)</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Univ. Abdelmalek Essaadi, Tetuán, Marruecos

<sup>(3)</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Univ. Mohammed I, Oujda, Marruecos

### ABSTRACT

The coastal plain of Ghis-Nekor, located in the North of Morocco, contains an alluvial Plio-Quaternary aquifer formed by sandy gravel crossed by many discontinuous argillaceous levels. The application of the DRASTIC and AVI methods for the assessment of the groundwater vulnerability show comparable results especially on the coastal area. The differences revealed otherwise maybe done to the diversity of the parameters considered by DRASTIC and/or to the distinct classifications of the two methods.

**Key words:** Vulnerability, Ghis-Nekor aquifer, DRASTIC, AVI

Geogaceta, 44 (2008), 167-170  
ISSN: 0213683X

### Introducción

Para la correcta gestión ambiental de los recursos hídricos, de forma segura y coherente con el desarrollo sostenible, es necesario protegerlos de la contaminación. De particular relevancia es la protección de los recursos hídricos subterráneos, porque una vez contaminados el proceso de descontaminación es muy largo y costoso, cuando no imposible.

La elaboración de mapas de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos responde a la necesidad de disponer de documentos objetivos que ayuden a mejora de la gestión del suelo, puesto que son los mapas que nos permiten tener una idea de la susceptibilidad de los sistemas acuíferos verso la incorporación de elementos contaminantes desde la superficie. Según Vrba y Zaporozec (1994) la vulnerabilidad de las aguas subterráneas se considera una propiedad intrínseca que depende de su sensibilidad a los impactos tanto humanos como naturales.

### Contexto geológico

La cuenca de los ríos Ghis y Nekor es una de las principales sub-cuencas de la cadena montañosa del Rif ubicada en la costa Mediterránea al Norte de Marruecos, y está situada a una docena de kilómetros al Sureste de la ciudad costera de Al Hoceima (Fig. 1). La llanura co-

responde a un valle intramontañoso, ocupado por un relleno aluvial heterogéneo constituido de arenas, gravas y conglomerados desde el Plio-Cuaternario al Cuaternario. Está rodeada generalmente por flyschs arenosos y esquistosos, a menudo impermeables, excepto en el no-

roeste, donde aparecen las formaciones carbonatadas de la Dorsal Calcárea del macizo de Bokoya y al noreste afloran las vulcanitas plio-cuaternarias. El borde oriental se presenta como un piedemonte constituido por una yuxtaposición de conos de deyección, entre

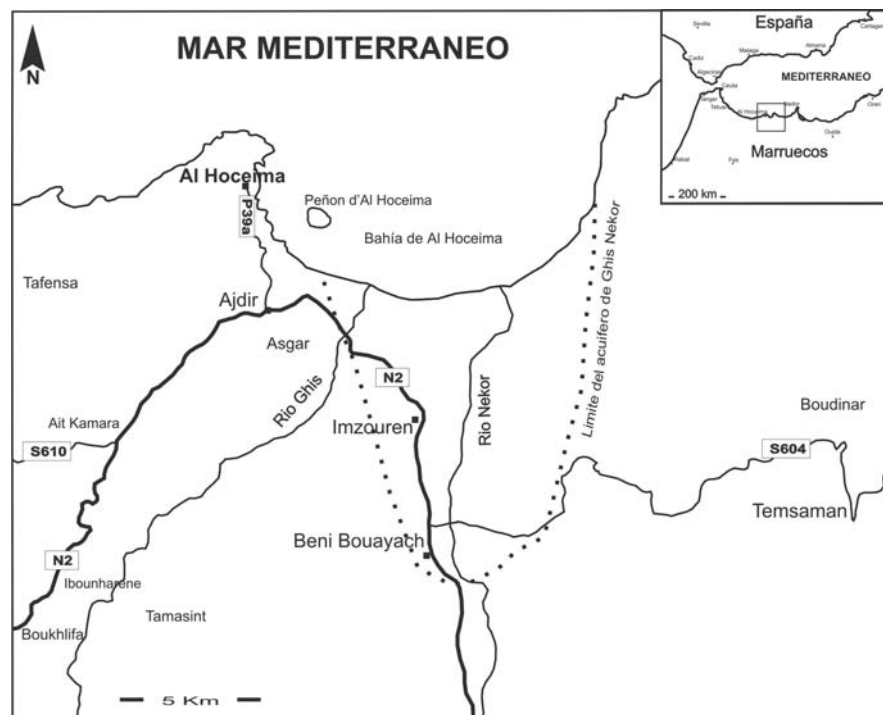


Fig. 1.- Localización geográfica de la llanura de Ghis-Nekor

Fig. 1.- Location of the study area

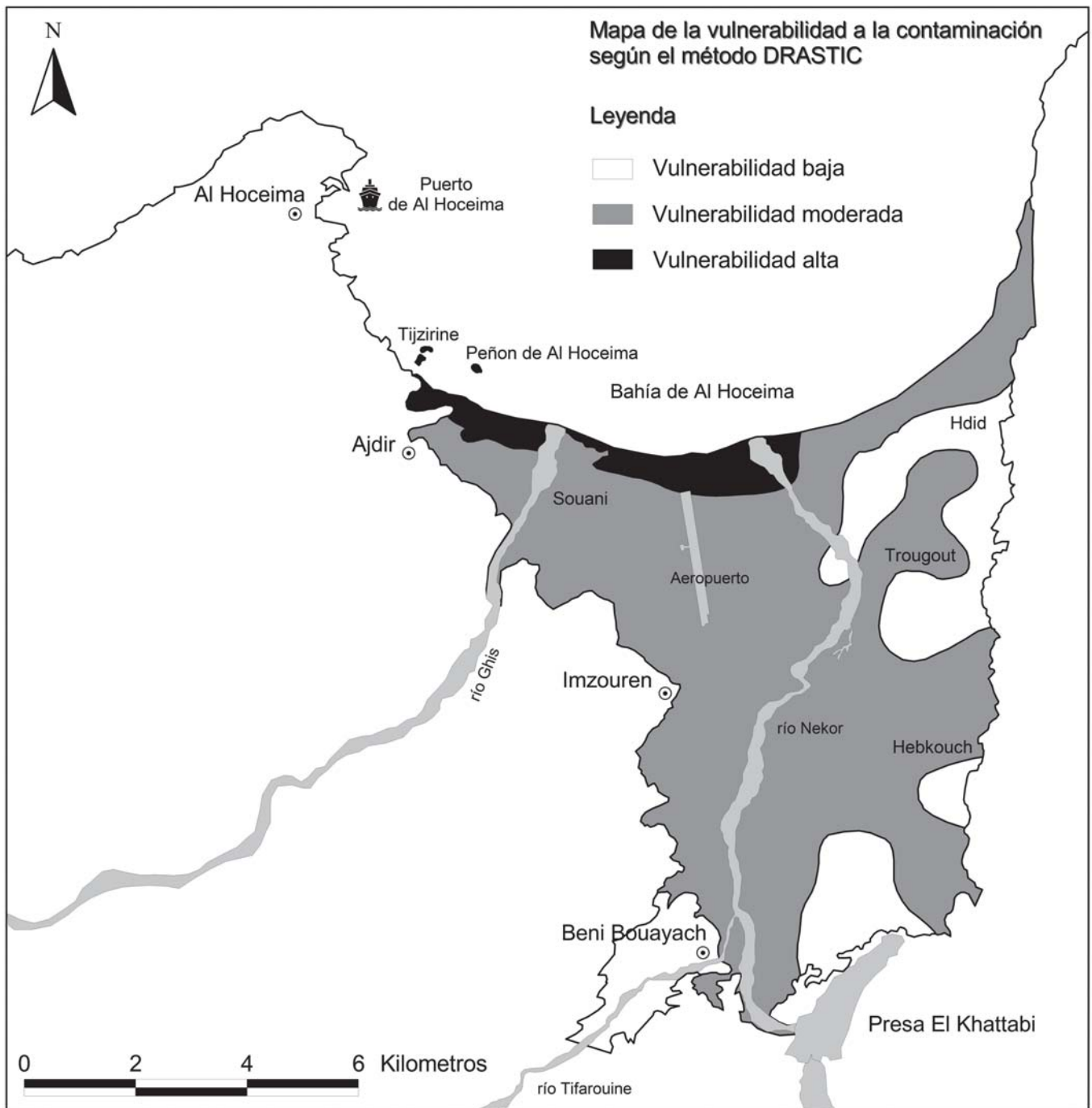


Fig. 2.- Mapa de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Ghis-Nekor según el método DRASTIC

Fig. 2.- Map of the vulnerability to contamination after DRASTIC method

los cuales el más importante se sitúa al sureste en la zona de Anzarh donde vierten los ríos Amekrane y Tirhounam.

Los cortes hidrogeológicos del acuífero de Ghis-Nekor demuestran que se trata de un acuífero mono-capa con varios niveles arcillosos y limosos discontinuos intercalados, contrariamente a lo propuesto en trabajos anteriores que interpretaban la presencia de una sola capa arcilloso-limosa impermeable, que subdivida el relleno aluvial de la llanura en dos acuíferos superpuestos.

### Metodología

El término «vulnerabilidad» fue introducido a principios de los años 70 en Francia por Albinet y Margat (1970). Al comienzo, las implicaciones de dicho concepto iban vinculadas con la susceptibilidad relativa de los acuíferos a la contaminación, aunque el término no tenía ninguna definición determinada. Posteriormente, Foster (1987) propuso que es necesario y lógico definir la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos a

partir de las características intrínsecas de las formaciones que constituyen la zona saturada, los cuales determinan la sensibilidad a que los acuíferos sean afectados por cargas contaminantes desde la superficie. En el presente estudio se comparan los resultados de aplicar dos métodos distintos de la vulnerabilidad a la cuenca de Ghis-Nekor.

### Método DRASTIC

Es el método más conocido y, probablemente, el más usado. Fue desarrollado

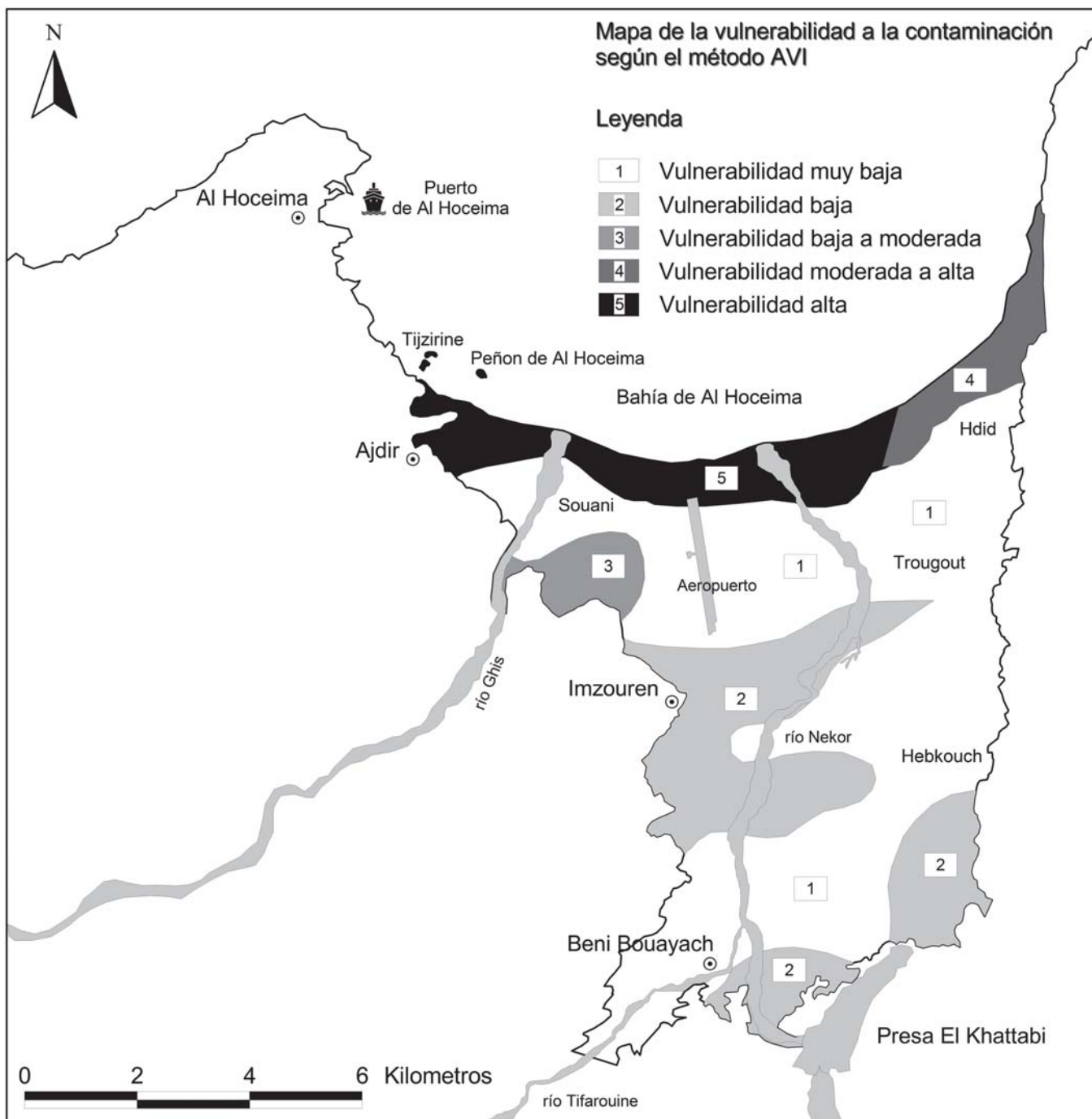


Fig. 3.- Mapa de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Ghis-Nekor según el método AVI

Fig. 3.- Map of the vulnerability to contamination after AVI method

por Aller et al. (1987) para la US EPA y se basa en la cuantificación de la vulnerabilidad relativa a partir de la suma ponderada de las siguientes variables: profundidad del agua subterránea (5), recarga neta (4), naturaleza de los materiales acuíferos (3), tipo del suelo (2), la pendiente o el aspecto de la topografía (1), impacto o efecto de la zona vadosa (5) y la conductividad hidráulica (3), donde los valores entre paréntesis representan los pesos.

La metodología calcula un índice de vulnerabilidad multiplicando el

peso y la puntuación (que puede estimarse a partir de tablas propuestas por el autor) de cada parámetro y luego sumando los 7 resultados. El rango de variación del índice DRASTIC oscila entre 23 y 230, aunque en la práctica varía entre 50 y 200.

$$Índice_{DRASTIC} = \sum Peso_i \times Puntuación_i$$

**Método AVI**

El método AVI (*Aquifer Vulnerability Index*) es uno de los métodos más sencios

llos y rápidos para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Solamente se utiliza la conductividad hidráulica y el grosor de las capas de las diferentes formaciones que se encuentran sobre el nivel freático. Fue establecido por Van Stempvoort et al. (1993) y se asocia a un parámetro denominado resistencia hidráulica «c» al flujo vertical del agua para atravesar los diferentes materiales situados sobre el acuífero. La resistencia hidráulica «c» se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$c = \sum_{i=1}^n \left( \frac{b_i}{k_i} \right)$$

donde  $b_i$  es el grosor de cada capa de la zona no saturada y  $k_i$  es la conductividad hidráulica de cada una.

La resistencia hidráulica total «c» es una indicación del tiempo aproximado que empleará un flujo vertical que atraviesa la zona no saturada por unidad de gradiente de carga. Lógicamente, cuanto mayor es la resistencia hidráulica, menor será la vulnerabilidad.

Para construir el mapa de vulnerabilidad se utiliza el «log c» para cada punto y luego se interpolan los valores del «log c» para todo el acuífero. Esto da como resultado una zonificación de resistencias hidráulicas, las cuales están directamente relacionadas con la vulnerabilidad.

### Resultados y discusión

Respecto al método DRASTIC, la combinación de los siete parámetros ha permitido trazar el mapa de vulnerabilidad del acuífero de Ghis-Nekor (Fig. 2) donde se han diferenciado tres categorías: baja, media y alta vulnerabilidad. Las zonas de baja vulnerabilidad ocupan menos de una cuarta parte de la superficie de la llanura. Se localizan en cuatro franjas situadas en los bordes sur y este, alrededor de las localidades de Beni Bouayach, Hebkouch y Trougout y cerca de la presa Al Khattabi. La profundidad del nivel freático, la litología de la zona no saturada y del suelo son los factores principales que contribuyen en el aumento de la vulnerabilidad. Como consecuencia, la zona costera se caracteriza por una vulnerabilidad alta dado que la zona no saturada es menos gruesa y más permeable.

Por otra parte, en base de los datos disponibles sobre la naturaleza del subsuelo y a su grosor, aplicando la meto-

dología AVI, se elaboró para el área de estudio una escala de vulnerabilidad, en la cual se identificaron cinco niveles de acuerdo a la susceptibilidad de contaminación, cuyos rangos varían de muy bajo a muy alto (Fig. 3). Las zonas de baja y muy baja vulnerabilidad ocupan el 80% de la superficie de la llanura situándose en el Centro y el Sur de la misma, en cambio las altas vulnerabilidades (15%) constituyen una franja de un kilómetro en la costa. Las zonas de vulnerabilidad media se localizan en la costa oriental.

La importancia del espesor y de la permeabilidad de la zona no saturada se considera conjuntamente en los mapas establecidos por los dos métodos (sobre todo en la costa). Tal vez, la influencia de otros factores (pendiente, recarga, litología de la zona saturada) modifica la repartición espacial de la vulnerabilidad. DRASTIC se destaca por la multiplicación de los parámetros, la interacción entre ellos y el peso atribuido a cada uno según su influencia en la vulnerabilidad intrínseca. Entre los dos métodos, es el que proporciona mejor resultados y mayor precisión.

### Conclusión

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero de Ghis-Nekor por los métodos DRASTIC y AVI, sobre todo en la extensión y localización de las varias categorías. Sin embargo, los dos mapas de vulnerabilidad señalan, con una zonación bastante parecida, que el sector costero occidental y central mantiene una vulnerabilidad alta mientras que la costa oriental tiene una vulnerabilidad media.

Las diferencias son debidas a que el método AVI considera la conductividad hidráulica como variable primordial de

manera que la zonificación de la vulnerabilidad depende exclusivamente de este parámetro. Al contrario, el mapa DRASTIC resulta de la interacción entre varios factores que afectan la zonación final. El otro elemento que juega un papel importante en la zonación es que cada método tiene una clasificación distinta de los rangos de vulnerabilidad. La falta de definición de clases para el índice DRASTIC constituye el mayor inconveniente de este método.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto CGL-2004-05963-C04-01, Plan Nacional I+D+I del Ministerio de Educación y Ciencia. La movilidad se ha favorecido gracias al apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). Asimismo, Adil Salhi, Mohammed El Gettafi y Sara Benabdelouahab son becarios del mismo organismo.

### Referencias

- Albinet, M. y Margat, J. (1970). *Bulletin BRGM*, 2<sup>e</sup> séries 3, 13-22.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J. y Hackett, G. (1987). *DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting*. US EPA, Report 600/2-87/035.
- Foster, S. S. D. (1987). En: *TNO Committee on Hydrological Research Proceedings and Information*, 38, 69-86.
- Van Stempvoort, D., Evert, L. y Wassenaar, L. (1993). *Canadian Water Research Journal*, 18, 25-37.
- Vrba, J. y Zaporozec, A. (1994). En: *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions to Hydrogeology*. Ed. Heise, 16, 131 pp.