

# Caracterización del territorio para la instalación de VRSU: metodología aplicada a las aguas subterráneas

*Territory characterization for the landfills setting: applied methodology to groundwater*

J. Termiño (\*), A. J. Pividal (\*\*), F. Villarroya (\*\*), M.T. Gómez (\*) y J. de D. Centeno (\*\*)

(\*) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá. 28871 Madrid

(\*\*) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

## ABSTRACT

*A simple and low cost method for the evaluation of the groundwater affection by a landfill setting is presented. Possible groundwater affection is characterized by three parameters, namely: infiltration, non saturated zone degradation and potential ground water use. These parameters are defined by diagnostic elements, and by means of some abaci the groundwater affection is characterized. Parameters are weighting in relation of their relative importance.*

**Key words:** Landfill, groundwater pollution, land use planning, environment.

*Geogaceta*, 20 (6) (1996), 1315-1317  
ISSN:0213683X

## Introducción

Los autores están desarrollando una metodología destinada a caracterizar la capacidad del territorio para acoger vertederos de residuos sólidos urbanos (VRSU) en función de la afección (en forma de impacto) a diversos recursos estudiados: paisaje (Pividal *et al.*, 1996), agua superficial y agua subterránea. La metodología no tiene en cuenta posibles medidas correctoras, pues éstas no deben imponerse antes de determinar su necesidad real, y se basa en las siguientes imposiciones de partida:

- Debe ofrecer una adecuada precisión para que la caracterización de afecciones no tenga errores significativos.

- Tiene que ser sencilla, económica, rápida y asequible para ser realizada por cualquier empresa, consultoría, organismo público o profesional libre.

- Ha de explicitar por sí misma el grado de afección inducido en cada porción de territorio estudiado. A la vez debe ofrecer una visión de conjunto de la afección previsible.

- Tiene que ser estandarizada, para minimizar las apreciaciones subjetivas en la valoración, pero a la vez ha de ser flexible para permitir sopesar la importancia de las afecciones en función de los condicionamientos locales.

- Debe ser clara y explícita, para facilitar la toma de decisiones y su comprensión por la opinión pública.

En este artículo se presenta, de manera sintética, el método ideado para caracterizar las afecciones previsibles (en for-

ma de impacto) al agua subterránea. Está basado en la experiencia personal de los autores y en numerosas publicaciones sobre la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Silka y Swearingen, 1978; Le Grand, 1980; Walsh *et al.*, 1981; Aller *et al.*, 1987; Termiño *et al.*, 1989; Termiño *et al.*, 1990; Parsons y Jolly, 1994; Vrba y Zaporozec, 1994; Gómez *et al.*, 1995, básicamente).

## Descripción del método

El método tiende a satisfacer los criterios de partida anteriormente citados. Para su desarrollo se siguieron los siguientes pasos, (Fig. 1):

1.- Seleccionar los parámetros más importantes implicados en la posible afección al agua subterránea por la instalación de un VRSU. Se han seleccionado tres: infiltración de lixiviados en el terreno, degradación de los lixiviados en la zona no saturada (ZNS) y usos potenciales del agua subterránea.

2.- Determinar los elementos clave

que condicionan, en mayor medida, cada uno de los tres parámetros. A partir del estudio de la bibliografía anteriormente citada se seleccionaron los siguientes: infiltración, litología de la ZNS, profundidad del nivel freático, permeabilidad de la zona saturada, espesor saturado y calidad del agua.

3.- Valorar de 0 a 4 la afección de la posible instalación del VRSU para cada uno de los tres parámetros considerados, en función de las características de los elementos clave. Los criterios y valoraciones se describen en los siguientes apartados de esta publicación.

4.- Orientar sobre la afección global al agua subterránea mediante ponderación con pesos asignados a cada uno de los tres parámetros, en función de su importancia relativa. Quedaría representado gráficamente en un «mapa final».

Se han definido intervalos amplios para la valoración, de tal manera que el método permite asumir un cierto grado de error en la caracterización de los elementos clave. Cuando el conocimiento de al-

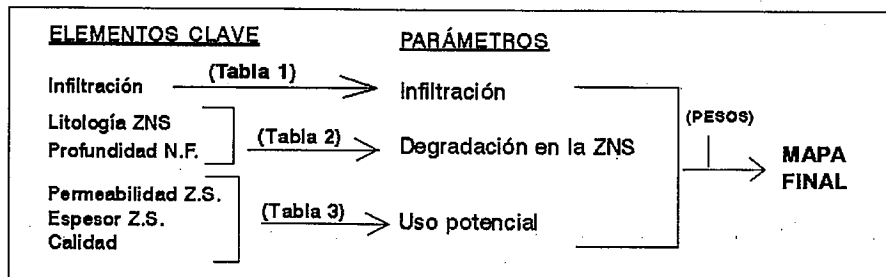


Fig. 1.- Esquema de método propuesto.

Fug. 1.- Proposed method scheme.

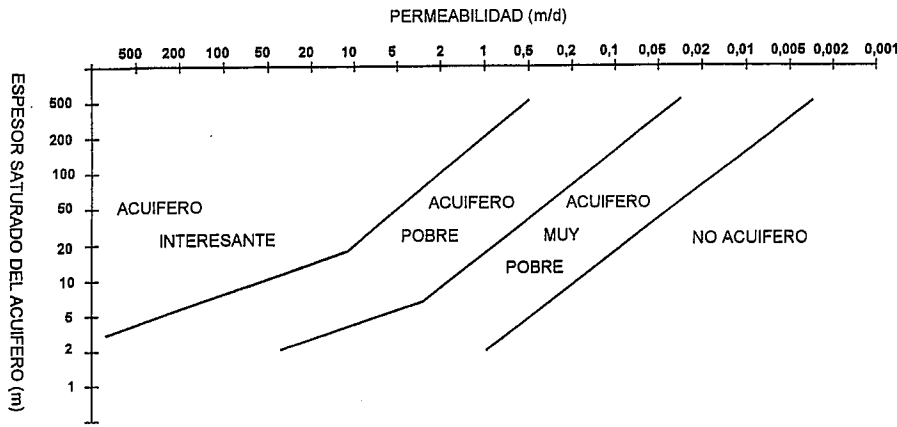


Fig. 2.- Caracterización orientativa de los acuíferos.

Fig. 2.- Aquifers guide characterization.

guno de ellos no es suficientemente adecuado, deberán realizarse trabajos para mejorarlo, ya que si no, se arrastrará una incertidumbre en los resultados que se deriven de él. La fiabilidad de los resultados es función directa del grado de precisión de los datos de partida y de la escala de trabajo utilizada.

**Infiltración:** Con la infiltración se pretende caracterizar la cantidad de lixiviados que percolarán desde el VRSU hacia el nivel freático. El riesgo de contaminación es directamente proporcional a la cantidad de lixiviados infiltrados.

Los intervalos establecidos y la valoración de impactos asignados se muestran en la Tabla 1. Están basados en las propuestas por el método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

No se establecen elementos clave, para permitir que en cada caso se utilice el método más adecuado según las características de la zona y los datos y medios de que se dispone.

**Degradación de los lixiviados en la zona no saturada:** La ZNS tiene una gran importancia a la hora de preservar la calidad del agua subterránea y así lo considerarán todos los trabajos consultados. La mayor parte de la eficiencia depuradora de la ZNS tiene lugar en el suelo edáfico (Aller *et al.*, 1987; Vrba y Zaporozec, 1994), pero ésta será anulada o reducida al construir el VRSU. Por lo tanto se han

INFILTRACIÓN (mm)	IMPACTO
> 250	4
175 - 250	3
100 - 175	2
50 - 100	1
< 50	0

Tabla I.- Valoración del parámetro "infiltración de lixiviados".

Table I.- Assesment of the "leaching infiltration" parameters.

establecido sólo dos elementos clave: las características litológicas de la ZNS, y la profundidad del nivel freático.

La valoración de afecciones se muestra en la Tabla 2, inspirada en Walsh *et al.* (1981) y modificada considerando también las valoraciones asignadas por otros autores, especialmente Le Grand (1980) y Aller *et al.* (1987).

La tabla muestra en su parte superior una entrada para orientar en la caracterización litológica de la ZNS. La otra entrada de la tabla agrupa el espesor de la ZNS en cuatro intervalos. En caso de conocerse las oscilaciones estacionales del nivel freático, deberá utilizarse el espesor de la ZNS correspondiente a la época en que el nivel está más alto.

**Usos potenciales del agua subterránea:** Este parámetro pretende caracterizar la posible afección de los lixiviados al agua subterránea que existe en cada punto del territorio estudiado a partir de tres elementos clave (Tabla 3):

- permeabilidad de la zona saturada (K)
- espesor saturado (b)
- calidad del agua subterránea

La valoración consta de tres pasos, y no considera a los acuíferos confinados, ya que se asume que la litología confinante los protege de la contaminación. En primer lugar se cataloga el sustrato en función de los caudales explotables (considerando unos costes rentables en condiciones habituales), a partir de la Fig. 2, o bien de los siguientes criterios:

- **no acuífero:** no existe posibilidad razonable de captar caudales para satisfacer pequeñas demandas locales ( $q_{esp} < 0.02$  l/s/m ó  $T < 2$  m<sup>2</sup>/d)

- **acuífero muy pobre:** es posible obtener caudales que satisfagan pequeñas demandas locales ( $Q < 1$  l/s en acuíferos poco potentes;  $q_{esp} = 0.02$  a  $0.2$  l/s/m ó  $T = 20$  m<sup>2</sup>/d, en acuíferos potentes)

- **acuífero pobre:** los caudales que se pueden obtener son moderados ( $Q = 1$  a  $30$  l/s en acuíferos poco potentes;  $q_{esp} = 0.2$  a  $2.5$  l/s/m ó  $T = 20$  a  $250$  m<sup>2</sup>/d, en

acuíferos potentes)

- **acuífero interesante:** pueden captar-se caudales elevados ( $Q > 30$  l/s en acuíferos poco potentes;  $q_{esp} > 2.5$  l/s/m ó  $T > 250$  m<sup>2</sup>/d, en acuíferos potentes)

En segundo lugar se caracteriza la calidad del agua subterránea en cuatro categorías:

- Tipo A. Agua potable-tolerable.
- Tipo B. Impotable, pero adecuada para riego.
- Tipo C. Impotable, y de dudosa calidad para riego.
- Tipo D. Impotable e inadecuada para riego.

Finalmente se realiza una grosera aproximación al grado de dilución y a la posible extensión del enclave de contaminación, según la relación  $K/b$ . La afección será presumiblemente importante cuando dicha relación sea mayor de  $10^{-1}$ , mientras que será pequeña si es inferior a  $10^{-3}$ .

**Mapa final:** Los resultados obtenidos se integrarán en un mapa final que sintetice y oriente sobre la afección esperada en el agua subterránea. Para realizar dicha integración se adjudicará un peso a cada uno de los tres parámetros valorados anteriormente, según su importancia en la caracterización global de la afección. El valor final asignado a cada punto del territorio estudiado será la suma de multiplicar el valor obtenido en cada parámetro ( $V_x$ ) por su peso ( $P_x$ ):

$$(V_{inf} \cdot P_{inf}) + (V_{Z.N.S} \cdot P_{Z.N.S}) + (V_{usos} \cdot P_{usos})$$

El tratamiento estadístico aplicado a una encuesta realizada entre expertos de universidades, empresas y organismos públicos, ha concluido que, con carácter general, los pesos a asignar en la ponderación serán:

- infiltración = 4
- degradación en la Z.N.S. = 3
- usos potenciales = 2

El valor final obtenido (entre 0 y 36) orienta sobre el grado previsible de afección:

AFECCION	VALOR FINAL
Muy baja	≤ 7
Baja	8 a 14
Moderada	15 a 21
Alta	22 a 28
Muy alta	≥ 29

Cuando existan circunstancias locales que aconsejen modificar los pesos anteriormente citados (por ejemplo, porque exista un acuífero libre de elevado interés estratégico que deba protegerse a toda costa), deberá realizarse una encuesta entre expertos conocedores de la problemática hidrogeológica de la zona estudiada. Con los resultados de dicha encuesta se obtendrán unos pesos de ponderación adecuados a la realidad local y se establecerá la consiguiente tabla para caracterizar la afección final.

LITOLÓGICA	CONSOLIDADAS	MUY FISURADAS O CAVERNOSAS	* CALIZAS, DOLOMIAS *EVAPORITAS VOLCANICAS RECIENTES	* ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS (EXCEPTO VOLCANICAS RECIENTES) PIZARRAS	* PIZARRAS			
		POCO FISURADAS O SIN FISURAR		* VOLCANICAS RECIENTES * CALIZAS Y ARENISCAS POCO CEMENTADAS	* ARENISCAS MODERADAMENTE CEMENTADAS	*ARENISCAS CEMENTAD.	* LIMOLITAS	* IGNEAS Y METAMORF. (EXCEPTO VOLCANICAS RECIENTES)
		NO CONSOLIDADAS Y POROSAS	* GRAVAS * ARENAS GRUESAS-MEDIAS	* ARENAS FINAS - MUY FINAS LIMPIAS	* ARENAS CON <15% DE ARCILLAS	* ARENAS CON 15 A 50 % DE ARCILLA	* ARCILLA CON < 50 % DE ARENA	* ARCILLA * MARGA

		10	1	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
PERMEABILIDAD (m/dla) →							
ESPESOR DE LA Z.N.S. ↓							
> 30 m	3	3	2	1	0	0	
11 a 30 m	4	3	2	1	0	0	
3 a 10 m	4	4	3	2	1	0	
< 3 m	4	4	4	3	2	2	

Tabla II.- Valoración del parámetro "degradación en la zona no saturada".

Table II.- Assesment of the "non saturated zone degradation" parameters.

Consideraciones finales

El método propuesto es aplicable a la realización de estudios previos y de planificación del territorio (escala de trabajo > 1/50.000), a la localización de alternativas de emplazamientos de VRSU en ámbitos municipales (escala de trabajo < 1/50.000), e incluso para estimar el grado de idoneidad de la ubicación de vertederos activos o clausurados.

Los parámetros y elementos clave utilizados son suficientemente representativos para estimar el impacto previsible. La validez del método está justificada por la adecuación de los criterios y valoraciones a los usos por otros métodos ampliamente aceptados.

La fiabilidad de los resultados estará en relación directa con la calidad y precisión de los datos utilizados, así como con la adecuación de la escala de trabajo utilizada a los objetivos perseguidos. El método es útil para estimar las principales afecciones previsibles al agua subterránea y, a partir de los resultados obtenidos, poder diseñar los estudios de detalle y las medidas correctoras necesarias.

El método es abierto para poder cuantificar los elementos clave por diferentes vías en función de los datos disponibles en cada caso y también para poder utilizar los pesos de ponderación final que se consideren objetivamente más adecuados en cada zona; pero no permite modificar las tablas de valoración de los tres parámetros considerados (Tablas 1, 2 y 3).

CALIDAD DEL AGUA	A			B			C		D
	≥10 <sup>1</sup>	≥10 <sup>1</sup> - 10 <sup>3</sup>	≤10 <sup>3</sup>	≥10 <sup>1</sup>	≥10 <sup>1</sup> - 10 <sup>3</sup>	≤10 <sup>3</sup>	≥10 <sup>1</sup>	≤10 <sup>1</sup>	
BUENO	4	3	2	3	2	1	1	0	0
POBRE	3	3	2	2	2	1	0	0	0
MUY POBRE	2	2	2	1	1	1	0	0	0
NO ACUIFERO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla III.- Valoración del parámetro "usos potenciales del agua".

Table III.- Assesment of the "potencial use water" parameters.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto financiado por la Universidad Complutense de Madrid, Proyecto PRE 161/93-4769. Parte del contenido de este artículo pertenece a la tesis doctoral en realización por parte de la segunda firmante.

Referencias

Aller, R.; Bennett, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.I.; Hackett, G. (1987) «DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings». USEPA, Ada, OK, EPA/600/2-87-035, 445 pp.  
 Gómez, M.T, Bustamante, I., Gómez Artoña, C. (1995): *Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. 629-636. Creta. Grecia.  
 Legrand, H.E. (1980) «A Standardized System for Evaluating Waste-Disposal

Sites». National Water Well Association, 42 pp.  
 Parsons, R.P. y Jolly, J.L. (1994): *Water Down Under*, 94 Adelaide, Australia, 303-308.  
 Pividal, A.J.; Centeno, J de D.; Villarroya, F. y Temino, J. (1996): *VI Congr. Geol. Amb. y O. T.*, vol. 3, pag. 551.  
 Silka, L.R. y Swearingen, T.L. (1978): *A Manual for Evaluating Contamination Potential of Surface Impoundments*. Report USEPA EPA 7/03/, 86 pp.  
 Temino, J.; Adarve, M.J.; y Rebollo, L.F. (1989): *Rev. Geol. Henares*, nº 3, 37-44.  
 Temino, J.; Adarve, M.J. y Rebollo, L.F. (1990) *Geolis, Vol IV*, 108-125.  
 Vrba, J. y Zaporozec, A. (Editores) (1994) *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. IAH Vol, 16, 131 pp.  
 Walsh, J.J.; Gillespie, D.P.; Schauf, F.J. y Silka, L.R. (1981), *Groundwater*, Vol. 19, nº 1, pp 81-87.