

# Aplicación del método DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Oued Laou (Marruecos)

*Assessment of the vulnerability to contamination of the Oued Laou aquifer (Morocco) using DRASTIC method*

A. Salhi <sup>(1,3)</sup>, J. Stitou El Messari <sup>(1)</sup>, A. Mahfoud <sup>(2)</sup>, M. Himi <sup>(3)</sup>, A. Casas <sup>(3)</sup>, A. Pulido-Bosch <sup>(4)</sup>, J.C. Cerón <sup>(5)</sup> y M. Draoui <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Département de Géologie, Faculté de Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc (salhi01@yahoo.fr)

<sup>(2)</sup> Agence du Bassin Hydraulique de Loukkous, C.P. 616, Tétouan, Maroc

<sup>(3)</sup> Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona

<sup>(4)</sup> Departamento de Hidrogeología y Química Analítica, Universidad de Almería

<sup>(5)</sup> Departamento de Geodinámica y Paleontología, Facultad de Ciencias Experimentales, Campus de «El Carmen», U. de Huelva

## ABSTRACT

*The Oued Laou alluvial aquifer is one of the most important groundwater bodies in the northwest of Morocco. However, during the last few years this aquifer has been threatened by several pollution sources that have increasingly proliferated in the area due to the lack of any environmental protection plan, especially those concerning water resources. The main contribution of the present study is the preparation of a vulnerability map that had not previously been established for the Oued Laou aquifer. It represents a base document which the water resource managers could use as a helpful tool for decision-making processes.*

**Key words:** detrital aquifer, vulnerability, contamination, DRASTIC index.

*Geogaceta*, 41 (2007), 191-194  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El acuífero aluvial litoral de Oued Laou está situado en el norte de Marruecos - en el Rif septentrional - en la región de Tetuán. El sector estudiado (figura 1) está limitado por el mar Mediterráneo (límite oriental), las localidades de Arhnouri y Ourak (límite septentrional), el Khoms (límite occidental) y Beni Mansour (límite meridional). El acuífero objeto de este estudio tiene una superficie aproximada de 18 km<sup>2</sup> y su cuenca drena una superficie aproximada de 930 km<sup>2</sup>.

Desde punto de vista litológico, de acuerdo con los resultados de una campaña geofísica y los datos de sondeos mecánicos, el acuífero está constituido por margas del Plioceno Inferior que forman el substrato impermeable. Por encima, encontramos conglomerados, gravas y arenas cuaternarias con algunos tramos arcillosos discontinuos sobre los cuales reposan terrazas limosas. Los cambios de espesor muy frecuentes provocan repetidas variaciones laterales de facies, muy bruscas algunas veces.

El mapa de techo del substrato (Fig. 2) pone en evidencia la existen-

cia de una depresión orientada SW-NE que aumenta en dirección noreste. Esta depresión alcanza en el centro una profundidad de 110 metros. La profundidad del basamento impermeable disminuye, más o menos regularmente, hacia ambos bordes donde aflora. Esta ascensión es más rápida en las direcciones Norte y Sureste; hacia el Norte, el substrato se muestra en superficie en forma de colinas que pueden alcanzar 100 metros de altitud, mientras que hacia el sudeste el relleno plio-cuaternario está en contacto directo con el basamento paleozoico.

El límite superior del acuífero coincide generalmente con la topografía de la llanura, excepto en algunas zonas donde afloran arcillas y limos, que le confieren localmente el carácter de semiconfinado.

El grosor de las formaciones acuíferas puede superar 110 metros cerca de la desembocadura. Lógicamente, este gran espesor coincide con las mayores profundidades del substrato impermeable. En el extremo opuesto aguas arriba y en la zona central del acuífero los espesores varían entre 30 y 50 metros (Rkiouak, 1997).

## Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación

El término vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero se aplica para representar las características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser afectados adversamente por una carga contaminante que produzca cambios químicos, físicos o biológicos que superen los límites máximos establecidos en las normativas que regulan la potabilidad del agua.

Según Foster e Hirata (1988) la vulnerabilidad es principalmente función de:

- a) la capacidad de la zona saturada para limitar hidráulicamente la penetración de contaminantes;
- b) la capacidad de atenuación de los niveles situados sobre la zona saturada del acuífero, como resultado de su retención física y reacción química con los contaminantes.

En los últimos años han proliferado los intentos de establecer métodos cuantitativos para evaluar la vulnerabilidad. La mayoría de las propuestas se orientan hacia la elaboración de un índice de vulnerabilidad del acuífero a través de métodos multicriterio, cuyo

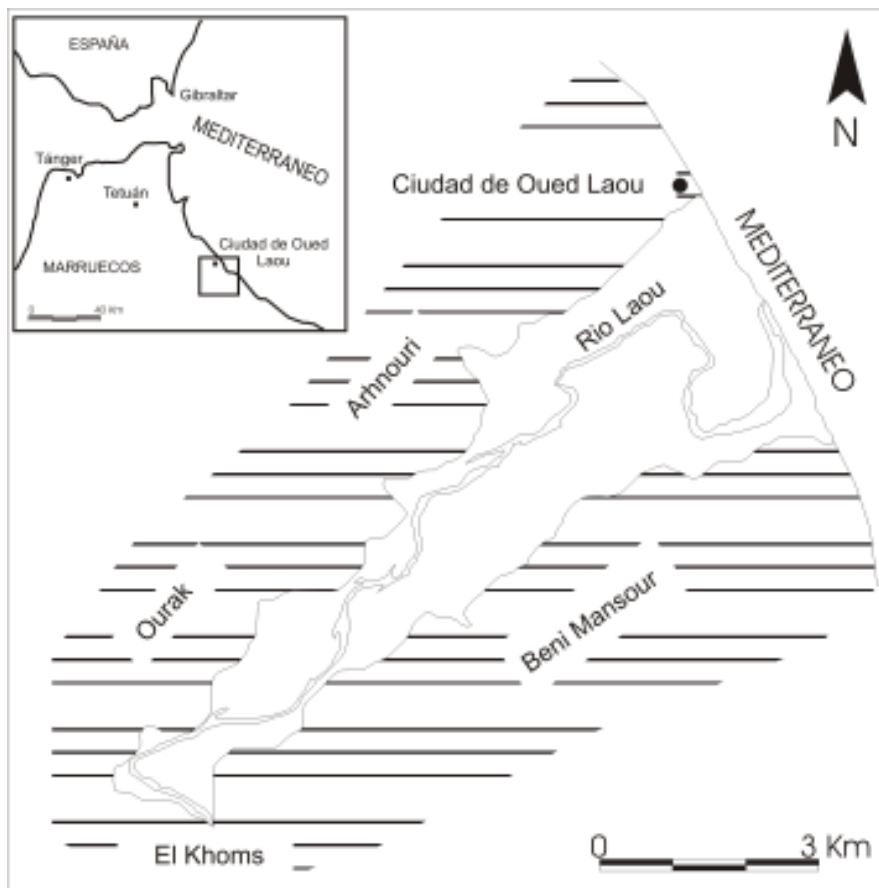


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio

Fig. 1.- Location of the study area

fin es obtener modelos extrapolables a distintas situaciones medioambientales. Estas metodologías suelen presentar, no obstante, una serie de dificultades.

Existen muchas técnicas para desarrollar una cartografía de la vulnerabilidad de acuíferos. La más conocida, y utilizada en este trabajo, es la denominada DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). DRASTIC es el acrónimo de un índice que involucra siete parámetros o factores:

- ♦ D (depth to water): profundidad del nivel del agua;
- ♦ R (net recharge): recarga neta;
- ♦ A (aquifer media): formación geológica que constituye el acuífero;
- ♦ S (soil media): cubierta edáfica bajo la superficie del terreno;
- ♦ T (topography): pendiente del terreno;
- ♦ I (impact of vadose zone): tipo de material geológico de la zona no saturada;
- ♦ C (hydraulic conductivity): conductividad hidráulica del acuífero.

El sistema permite determinar un valor numérico para cada sitio

hidrogeológico por medio de un modelo aditivo (de la sumatoria de los valores asignados a cada parámetro). Cada uno de los siete factores recibe un peso ponderado. Hay un peso especial para zonas agrícolas. La vulnerabilidad puede evaluarse a partir de la ecuación:

$$Dr Dw + Rr Rw + Ar Aw + Sr Sw + Tr Tw + Ir Iw + Cr Cw = \text{contaminación potencial}$$

Donde r es el índice y w es la ponderación.

La ponderación asignada a cada variable se realiza mediante un consenso de expertos y no permite, salvo en situaciones de contaminación por pesticidas, ningún tipo de variación, al contrario de lo que ocurre con los rangos o clases que sí dejan abierta esta posibilidad en función del conocimiento del área de estudio. Los valores de ponderación utilizados se muestran en la tabla 1. Cada parámetro está dividido en rangos a los cuales se les asigna una puntuación (en una escala del 1 al 10). El valor de la puntuación de una variable está determinado por la capacidad de atenuar la contaminación que tiene dicha variable, principalmente a través de procesos de sorción y eliminación de bacterias,

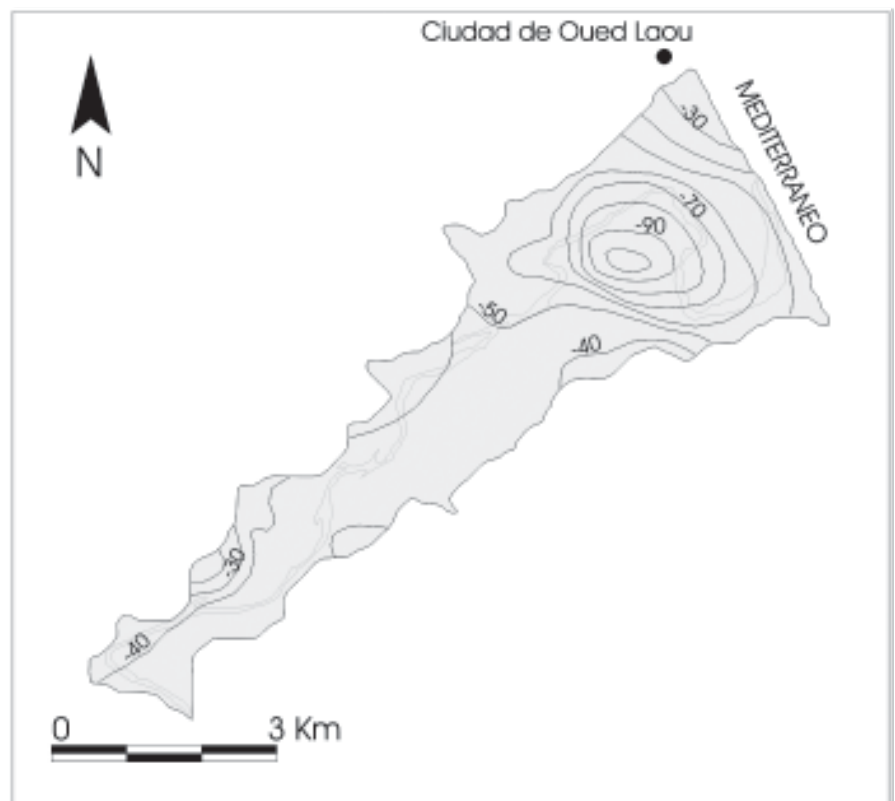


Fig. 2.- Mapa de profundidad del substrato impermeable del acuífero de Oued Laou

Fig. 2. - Map showing the depth to the impervious substratum of the Oued Laou aquifer

Variable	Factor de ponderación
Profundidad	5
Recarga	4
Zona saturada	3
Suelo	2
Pendiente	1
Zona no saturada	5
Conductividad hidráulica	3

Tabla I.- Ponderación de la variables en el método DRASTIC

Table I.- Assigned weights for each DRASTIC parameter

biodegradación de compuestos orgánicos naturales y sintéticos. El resultado es un índice numérico que varía entre un

valor mínimo de 23 y un valor máximo de 226. Sin embargo, como todo índice global no cuantifica de forma absoluta, sino que es una herramienta que establece las variaciones espaciales en cuanto a vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (Salhi *et al.*, 2006).

### Resultados y Discusión

Considerando la gran variabilidad del régimen pluviométrico del sector estudiado, hemos considerado representativo realizar la cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero para tres años pluviométricos diferenciados: medio, seco y húmedo (1993-94,

1994-95 y 1995-96 respectivamente).

La evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Oued Laou mediante el método DRASTIC ha permitido establecer un mapa de vulnerabilidad para cada año pluviométrico (figura 3). El mapa del año seco muestra que la categoría «baja vulnerabilidad» ocupa más de 35% de la superficie de la llanura; está principalmente localizada en el centro del acuífero. La superficie ocupada por esta categoría disminuye considerablemente durante los años medio y húmedo (5,3% et 4% respectivamente).

La categoría «vulnerabilidad moderada» ocupa la mayoría de la superficie

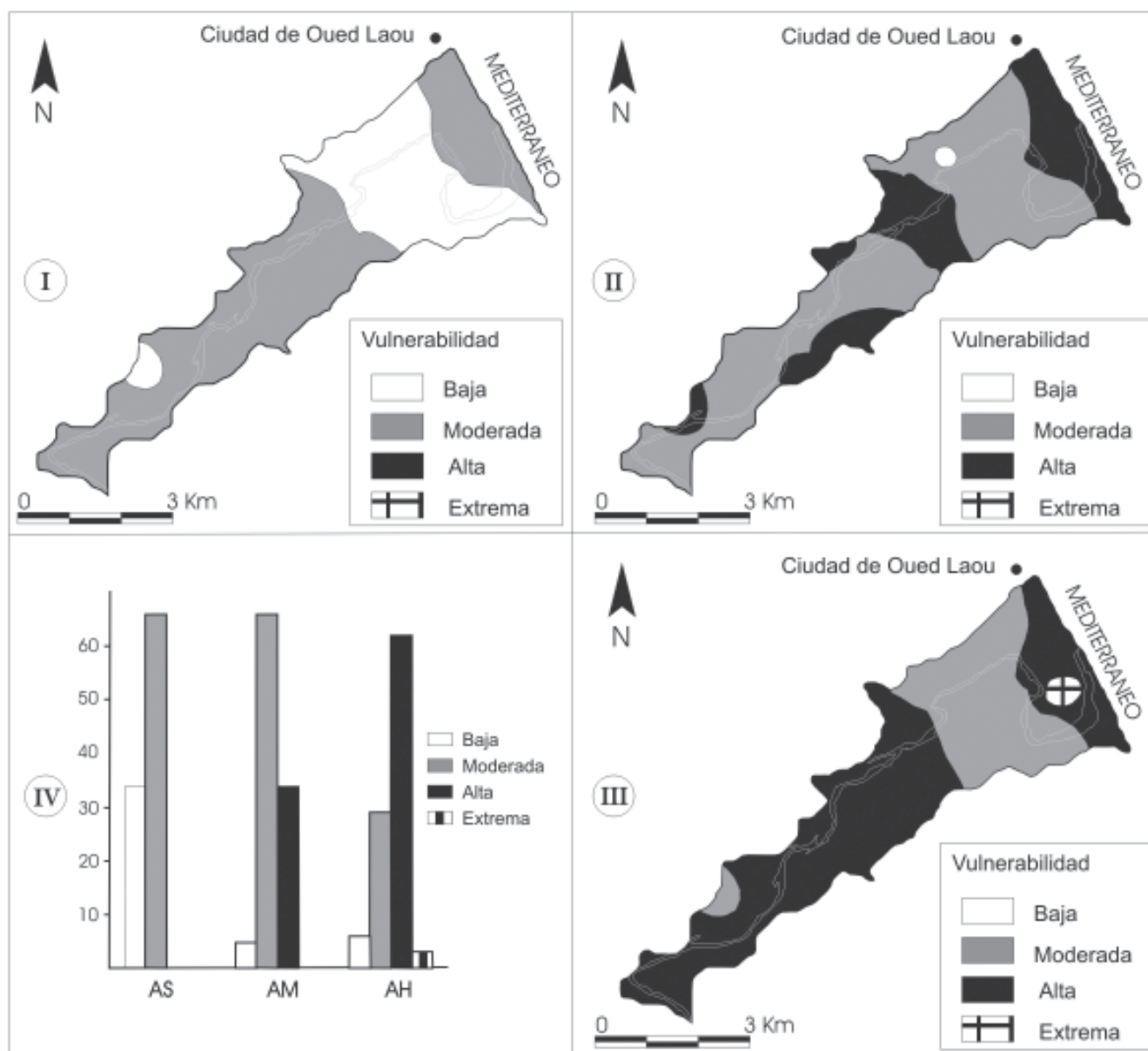


Fig. 3.- Mapas de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Oued Laou. I: Año seco, II: Año medio, III: Año húmedo y IV: Diagrama con las proporciones de superficie ocupada por las distintas clases

Fig. 3.- Maps of the vulnerability to contamination of the Oued Laou aquifer. I: Dry year, II: Mean year, III: Wet year and IV: Diagram showing the relative surface occupied by the each class

de la llanura durante los años medio y húmedo (63,5% et 61,5% respectivamente). Por lo tanto, la categoría «alta vulnerabilidad» aparece en 33% del acuífero durante el año medio. En cambio, dicha categoría, ausente durante el año seco, domina 62% de la superficie durante el año húmedo; río arriba, centro y zona costera de la llanura. Los factores que afectan principalmente al aumento de la vulnerabilidad en estas zonas son:

- ♦ La profundidad del nivel de agua, superior a 15 m;
- ♦ La recarga del acuífero, que es superior a 120 mm/año durante el año medio y a 270 mm/año durante el año húmedo;
- ♦ La zona no saturada es bastante delgada y dominada por materiales de alta permeabilidad, como arenas y gravas.

La categoría «vulnerabilidad extrema» aparece únicamente dentro del mapa del año húmedo donde ocupa un sector limitado en el río aguas abajo de la llanura.

### Conclusión

La gran irregularidad del régimen pluviométrico de la región estudiada se manifiesta por una diferencia nota-

ble entre los tres mapas del índice absoluto asignado a las áreas de vulnerabilidad.

Las diferencias apuntadas entre los mapas conciernen principalmente al número de categorías que aparecen en cada mapa, la proporción de superficie ocupada por cada categoría y su localización. De hecho, el número de categorías se incrementa con el aumento de la pluviometría. Este hecho es debido a la influencia de la recarga en el cálculo del índice de vulnerabilidad, ya que los demás parámetros permanecen prácticamente invariables.

La metodología aplicada, a pesar de la variabilidad temporal en función de la pluviometría según el período considerado, ha mostrado su eficacia para definir las zonas más vulnerables donde extremar las precauciones en la gestión de residuos potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas del acuífero litoral de Oued Laou.

### Agradecimientos

El presente estudio se ha realizado en el marco de un proyecto interuniversitario financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), una beca conce-

didada por el mismo organismo y el Proyecto WADI; FP6-2003-INCO-MPC2. Los resultados obtenidos son también fruto de la colaboración entre la Facultad de Ciencias de Tetuán y la Agencia de la Cuenca Hidráulica de Loukkous.

### Referencias

- 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*. United States Environmental Protection Agency Report 600/2-87/035. Washington, D.C.
- Foster, S e Hirata, R. (1988). *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas*. CEPIS/PAHO-WHO Technical Report. Lima (Perú). 81 p.
- Rkhouak S., Pulido-Bosch A. y Gaiz A. (1997). *Journal des Sciences Hydrologiques*, 42 (1): 101-117.
- Salhi, A., Stitou El Messari, J., Mahboul, A., Ceron, J.C., Pulido Bosch, A., Vias, J.M. y Draoui, M. (2006) *L'eau souterraine dans les Pays Méditerranéens*. IGME. N° 17 : 221-228. Madrid.