

CONSIDERACIONES DEL EFECTO DEPURADOR DE LA ZONA NO SATURADA SOBRE  
EL VERTIDO DE EFLUENTES URBANOS EN EL ACUÍFERO DE PULPÍ (ALMERÍA)

*J. CARLOS CERÓN*

Departamento de Geología, Universidad de Huelva.

ABSTRACT

In the detrital aquifer of Pulpí (Almería), the hydrochemical control during the period understood between September (1989) to April (1992) was made to increase the knowledge about the aptitude of the unsaturated zone to eliminate the filtered untreated urban wastewater. The results obtained show that the unsaturated zone don't eliminate completely the contamination; however, there is a reduction of the contamination when increase the distance reference of the place of poured wastewater and the thickness of unsaturated zone.

RESUMEN

En el acuífero detrítico de Pulpí (Almería) se realizó el seguimiento hidroquímico de varios puntos acuíferos durante el período comprendido entre Septiembre de 1989 y Abril de 1992, con objeto de establecer la capacidad de depuración de la zona no saturada sobre efluentes urbanos sin depurar y que son vertidos directamente sobre los materiales permeables del acuífero. Los resultados obtenidos muestran que la acción depuradora de la franja no saturada no impide totalmente la contaminación; sin embargo, se observa una

atenuación de la contaminación cuando aumentan la distancia respecto del punto de vertido y el espesor de la zona no saturada.

## INTRODUCCIÓN

Una gran parte de los sistemas acuíferos de nuestro entorno presentan graves problemas de sobreexplotación debido a que en ellos la extracción de agua supera a la recarga total. Con objeto de evitar llegar a esta situación extrema, resulta de interés el incremento de los recursos hídricos de un acuífero mediante la recarga artificial con aguas residuales. En relación con la reutilización de éstas, el poder depurador de la zona no saturada tiene una gran importancia en la eliminación de las sustancias contaminantes presentes en el agua residual que se lixivia hacia el acuífero; como ejemplos de estudios en esta línea se pueden citar los de Bustamante (1988), Morell et al. (1994), Castillo et al. (1994) y Ramos-Cormenzana et al. (1994).

En el acuífero detrítico de Pulpí, situado en el extremo nororiental de la provincia de Almería (figura 1), existe un vertido continuado de aguas residuales urbanas procedentes de la depuradora de esta misma población. Inicialmente, la depuradora funcionó de forma correcta, pero la falta de un mantenimiento adecuado produjo su deterioro progresivo hasta su total paralización y abandono, lo cual sucedió antes de comenzar este estudio.

Dadas las características climatológicas del área donde se sitúa este sistema acuífero (Cerón, 1993), existe una utilización eventual de sus aguas subterráneas como fuente de abastecimiento urbano para la población de Pulpí, principalmente

en los meses de estiaje. En esta época, se complementa el suministro de agua potable mediante la explotación de un sondeo situado relativamente cerca de la estación depuradora.

El sistema acuífero de Pulpí, sobreexplotado y sobre el cual existe prohibición por Decreto-Ley 3/1973 de la puesta en funcionamiento de nuevas captaciones, tiene una superficie aproximada de 35 km<sup>2</sup> y una cuenca vertiente de casi 75 km<sup>2</sup> (Cerón, 1993). Se encuentra en el sector oriental del Dominio de Alborán o zonas internas de las Cordilleras Béticas (Balanyá y García-Dueñas, 1987). Las rocas de borde y sustrato del acuífero (figura 2) están constituidas principalmente por cuarcitas, micasquistos, gneises albiticos y mármoles del Complejo Nevado-Filábride (de edad Pérmico-Triás superior), y por margas, margas con arenas, conglomerados y yeso (de edad Messiniense).

En relación con los aspectos hidrogeológicos, corresponde a un acuífero detrítico libre. Los mármoles del Complejo Nevado-Filábride poseen un comportamiento acuífero, apareciendo intercalados y con potencias pequeñas, excepto a techo de la serie donde presentan un desarrollo mayor; en el muro de estos mármoles existen abundantes niveles de yeso que contribuyen a la salinidad de las aguas del acuífero (Cerón, 1993). Con respecto a las margas y

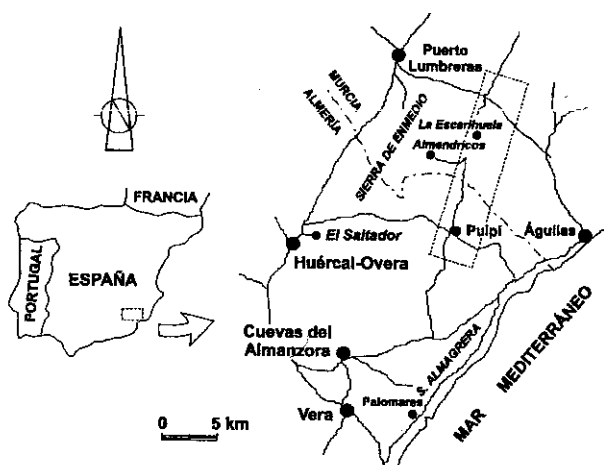


Fig. 1. Localización geográfica regional y local del área de estudio.

margas con arenas y yeso, tienen, en general, un comportamiento de acuífudo, llegando a ser de acuitardo, variando la permeabilidad vertical y horizontal en aquellas zonas donde exista un predominio de la fracción arenosa, conglomerática o de yeso. Por último, se encuentran las rocas que rellenan la depresión, arenas y conglomerados fundamentalmente, y que tienen un comportamiento acuífero.

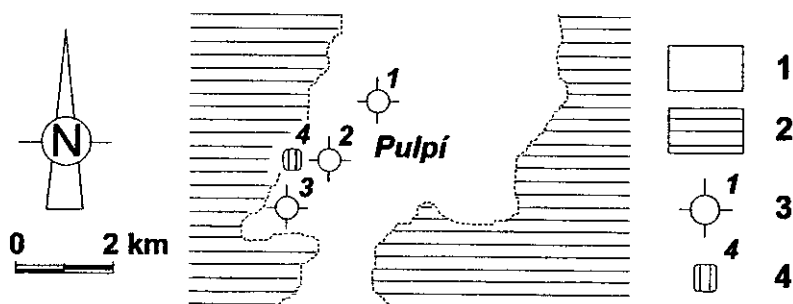


Fig. 2. Esquema hidrogeológico del sistema acuífero de Pulpí. 1: arenas, conglomerados, arenas con intercalaciones de limos y arcillas; 2: rocas de borde; 3: sondeo y su número de orden; 4: depuradora.

El sector estudiado tiene un clima mediterráneo subdesértico, una precipitación media anual de 232 mm (para el período 1966-1987) y una temperatura media anual de 17,4 °C; la evapotranspiración real (ETR) y lluvia útil (LIU) anuales, estimados para el mismo periodo anterior y calculados por el método de Thornthwaite a nivel diario y para una capacidad de campo de 50, 75 y 100 mm, estuvieron comprendidos entre 194 y 236 mm para la ETR y entre 13 y 61 mm para la LIU (Cerón y Pulido-Bosch, 1992).

En relación con los elementos del balance (Tabla 1), la infiltración de las escasas precipitaciones sobre el acuífero, la escorrentía superficial de un gran número de ramblas que vierten hacia él y las aguas residuales urbanas constituyen la principal recarga del acuífero; dado que el sistema predominante de riego es el goteo, de alta eficiencia, éste se considera despreciable. La extracción de agua por bombeo tiene lugar de forma intermitente y en función de las necesidades agrícolas, y no se produce homogéneamente en espacio y tiempo; debido a que estos bombeos no cubren todas las necesidades del área, existe un aporte de agua del Trasvase Tajo-Segura y del acuífero del Alto Guadalentín.

Tabla 1.

Esquema de los elementos del balance hídrico del acuífero de Pulpí (\*Castillo et al., 1989).

Concepto	Entradas	Salidas
Infiltración directa	0,4 - 0,7	
Infiltración escorrentía superficial	0,4 - 0,8	
Infiltración de aguas residuales	0,1 - 0,2	
Bombeos netos		2,5 - 3,0 *
Totales	0,9 - 1,7	2,5 - 3,0

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS

Con objeto de conocer el poder depurador de la zona no saturada sobre los vertidos líquidos urbanos de la población de Pulpí, y que se producen sobre los materiales permeables del acuífero de forma inconstruida y sin ningún tratamiento previo, se muestrearon varios puntos acuíferos situados próximos al lugar de vertido (figura, 2); estos son los sondeos nº 1 (100 m de profundidad), nº 2 (45 m de profundidad) y nº 3 (no se conoce su profundidad), y cuyas aguas son destinadas a cubrir la demanda para riego, excepto en el nº1 que también es utilizado eventualmente para el abastecimiento de agua potable a la población de Pulpí. En ellos se tomaron muestras durante un período comprendido entre 1989 y 1992, siendo sus resultados los que se muestran en la tabla 2.

Las aguas analizadas son de facies sulfatada sódica. Tienen una conductividad elevada –destacando el sondeo nº 2 con 9633  $\mu\text{Scm}^{-1}$ – y presentan un cierto termalismo, llegándose a medir en el sondeo nº 1 una temperatura de hasta 24 °C. Entre los iones determinados, el sulfato, el cloruro y el sodio registran valores de concentración claramente superiores a los encontrados en el resto de los sondeos del acuífero; de los tres sondeos, es el nº 2 (al igual que sucedía con la conductividad) el que presenta los contenidos más altos en estos tres iones. Estudios previos (Cerón y Pulido-Bosch, 1992; Cerón, 1993) muestran que el origen de estos iones es el resultado de la disolución de las rocas evaporíticas principalmente (presentes en el sustrato del acuífero y relieves circundantes) y, en menor medida, de la existencia de procesos de contaminación urbana y agrícola.

Con respecto al sondeo nº 1, y para el periodo de estudio, las concentraciones de ion nitrato y nitrito no superaron el máximo admisible por la legislación vigente para aguas potables ( $\text{NO}_3^- \leq 50 \text{ mg/l}$  y  $\text{NO}_2^- \leq 0,1 \text{ mg/l}$ ), no así para el amonio, cuyos contenidos fueron superiores al establecido ( $\text{NH}_4^+ \leq 0,5 \text{ mg/l}$ ); en relación con los valores de los parámetros microbiológicos, y de acuerdo con la información facilitada por el Ayuntamiento de Pulpí, éstos siempre estuvieron por debajo de lo permitido por la legislación.

Tabla 2.

Parámetros estadísticos de algunas de las variables analizadas en las muestras tomadas durante el período 1989-1992. T: Temperatura en °C, C: Conductividad en  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (25 °C) e iones en mg/l.

Nº 1	T	pH	Cond.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N <sub>3</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Media	23.9	7.13	5451	1075	1906	427	359	310	705	19	0.09	0.66
Máximo	24.0	7.44	5860	1145	1995	488	413	356	752	25	0.10	0.70
Mínimo	23.7	7.01	4920	962	1797	360	306	274	672	10	0.08	0.60
Desv. Típica	0.1	0.15	267	67	69	47	35	26	24	6	0.01	0.04
Nº 2	T	pH	Cond.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N <sub>3</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Media	20.6	6.90	9633	1564	4367	467	607	584	1387	70	0.08	0.70
Máximo	21.4	7.09	9897	1860	4501	610	879	618	1445	75	0.10	0.80
Mínimo	18.3	6.38	9420	1410	4101	375	477	538	1342	65	0.06	0.60
Desv. Típica	1.0	0.23	150	142	144	80	137	28	32	3	0.02	0.08
Nº 3	T	pH	Cond.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N <sub>3</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Media	22.4	7.26	4391	769	1277	251	272	195	571	49	0.02	4.63
Máximo	22.6	7.32	4461	819	1306	279	291	212	610	52	0.02	4.90
Mínimo	22.1	7.12	4346	720	1243	220	248	180	538	46	0.01	4.20
Desv. Típica	0.2	0.08	35	35	22	21	16	11	25	2	0.00	0.31

En la figura 3 se muestra la evolución de la concentración de los iones nitrato, nitrito y amonio en los tres puntos acuíferos de control. En relación con el contenido en ion nitrato, éstos son diferentes en los tres sondeos; así, el nº 1 es el que presenta los valores más bajos (entre 10 y 25 mg/l), el nº 2 los más elevados (entre 65 y 75 mg/l) y el nº 3 valores intermedios, aunque también relativamente elevados (entre 46 y 52 mg/l). La concentración de ion nitrito, es relativamente similar en los sondeos nº 1 y 2 (con valores comprendidos entre 0,06 y 0,10 mg/l), mientras que el sondeo nº 3 presenta valores inferiores a los de los sondeos anteriores (menores de 0,02 mg/l). Finalmente, el contenido en ion amonio es similar en los sondeos nº 1 y 2 (inferiores a 0,8 mg/l); sin embargo, es el sondeo nº 3 quien tiene las concentraciones más altas (superiores a 4,2 mg/l), mucho más elevadas que en el nº 1 y nº 2.

Las concentraciones medias de ion nitrato encontradas en las aguas del acuífero de Pulpí para el mismo período están alrededor de 9 mg/l, siendo su origen los fertilizantes usados en las actividades agrícolas (Cerón et al., 1997); por tanto, valores superiores indicarían que existe un aporte de este ion de procedencia diferente. De los tres sondeos de control, el nº 1 es el que presenta los valores más aproximados a este valor medio (un poco más del doble), mientras que las concentraciones en los sondeos nº 2 y 3 son claramente superiores.

Si se considera la posición espacial de estos tres puntos (figura 2), se puede ver que todos están próximos al punto de vertido de los efluentes incontrolados de la estación depuradora de Pulpí; esta proximidad, mayor en el sondeo nº 2, permitiría explicar el exceso de ion nitrato encontrado en todos ellos. Por otra parte, la diferencia de concentración que existe entre ellos tres se debería a la mayor o menor distancia del punto de vertido y a la variación del espesor de la zona no saturada (la eficacia de los procesos naturales de depuración se verán favorecidos cuanto mayor sean la distancia y el espesor de la zona no saturada).

Así, el sondeo nº 2, con los contenidos más elevados de nitratos, es el que está más próximo a la estación depuradora y donde la zona no saturada presenta un menor espesor (con un valor medio de 17 m para el período de estudio); por el contrario, el sondeo nº 1, con las concentraciones más bajas, es el que está más alejado de la depuradora y tiene un mayor espesor de la zona no saturada (con un valor medio de 57 m para el período considerado). Finalmente, el sondeo nº 3, con valores de concentración comprendidos entre los del nº 1 y 2, es el que se sitúa a una distancia intermedia de la depuradora (no se dispone de medidas de nivel piezométrico por carecer este sondeo de tubo piezométrico).

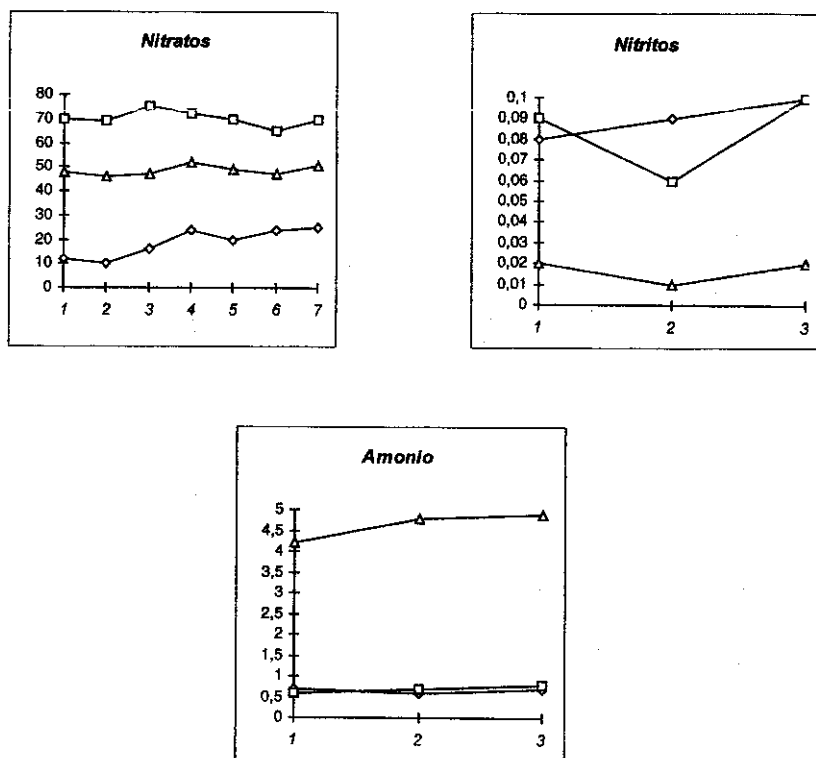


Fig. 3. Evolución de los iones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$  (mg/l) en los tres puntos acuíferos de control (rombos punto nº 1, cuadrados punto nº 2 y triángulos punto nº 3. 1: Septiembre, 1989; 2: Enero, 1990; 3: Septiembre, 1990; 4: Agosto, 1991; 5: Noviembre, 1991; 6: Enero, 1992; 7: Abril, 1992.

#### CONCLUSIONES

Los resultados de los muestreos obtenidos en los sondeos de control para conocer el efecto depurador de la zona no saturada sobre los vertidos líquidos de la depuradora de la población de Pulpí, durante el período comprendido entre Septiembre de 1989 y Abril de 1992, ponen de manifiesto que la acción depuradora de la franja no saturada no impide totalmente la contaminación; así, se encuentran en estos sondeos contenidos en nitratos que pueden alcanzar los 75 mg/l, muy superiores al valor medio de las aguas del acuífero (9 mg/l).

Esta contaminación es mucho mayor cuanto más próximo está el sondeo del punto de vertido y menor es el espesor de la zona no saturada; por el contrario, los efectos del vertido se ven disminuidos cuando aumenta la distancia y el espesor de la zona no saturada, dado que el flujo contaminante permanece más tiempo en la zona no saturada permitiendo que actúen sobre él durante un tiempo mayor los procesos de depuración natural.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco de los proyectos AMB92-0211 y AMB95-0493, financiados por la CICYT.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BALANYÁ, J.C. y GARCÍA-DUEÑAS, V. (1987). Les directions structurales dans le Domaine d'Alborán de part et d'autre du Déroit de Gibraltar. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 304 (2): 929-933.
- BUSTAMANTE, I. (1988). El subsuelo como agente depurador de vertidos líquidos contaminantes. *Rev. Informaciones y Estudios (MOPU)*, 49, 71 págs.
- CASTILLO, E., LUPIANI, E., HIDALGO, J., GONZÁLEZ, A. y ARANDA, J.A. (1989). Sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Almanzora (Almería). *La Sobreexplotación de Acuíferos* (Almería), 35-41.
- CASTILLO, A., RAMOS-CORMENZANA, A., INCERTI, C. y GÓMEZ, L. (1994). Depuración de aguas residuales urbanas por filtración a través de la franja no saturada de un acuífero aluvial. In: *investigación en Zona No Saturada*. Universitat Jaume I (Ed.), 123-133.
- CERÓN, J.C. (1993). *Hidrogeoquímica del acuífero de la Cubeta de Pulpí (Almería y Murcia)*. G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental (Ed.), 168 págs.
- CERÓN, J.C. y PULIDO-BOSCH, A. (1992). Consideraciones sobre la hidroquímica del acuífero de la Cubeta de Pulpí (Almería). *Estudios Geol.*, 48: 67-78.
- CERÓN, J.C., PULIDO-BOSCH, A. y VÍLCHEZ-QUERO, J.L. (1997). Algunos aspectos de la evolución de nitratos en las aguas del acuífero de la Cubeta de Pulpí (Almería). *Geogaceta*, 21: 76-75.
- MORELL, M., ESTELLER, M.V. y DURÁN, A. (1994). Efecto depurador de la zona no saturada sobre efluentes urbanos utilizados para riego. In: *investigación en Zona No Saturada*. Universitat Jaume I (Ed.), 77-98.
- RAMOS-CORMENZANA, A., CASTILLO, A., INCERTI, C. y GÓMEZ-PALMA, L. (1994). Bacteriological indicators of faecal contamination: result of a loading experiment with untreated urban wastewater. *Journal of Applied Bacteriology*, 76: 95-99.