

Distribución de la contaminación por nitrato en las aguas subterráneas de la cuenca del río Manol (Alt Empordà, NE España)

Nitrate distribution in the Manol River basin aquifers (Alt Empordà, NE Spain)

C. Ramonell, A. Menció, C. Roqué, J. Mas-Pla y D. Brusi

Centre de Geologia i Cartografia Ambientals (GEOCAMB), and Àrea de Geodinàmica, Dept. de Ciències Ambientals, Universitat de Girona, Campus de Montilivi, 17071, Girona, Spain, david.brusi@udg.edu

Resumen: Los esfuerzos destinados a la prevención de la contaminación por nitrato de las aguas subterráneas requieren un conocimiento de la dinámica hidrogeológica y su influencia en la migración del contaminante. En esta contribución se describen las características hidrogeológicas de la cuenca del río Manol (Alt Empordà; NE España), en la que destaca la existencia de dos niveles acuíferos. Entre ellos se establece un flujo vertical descendente que permite la incorporación de nitrato en los niveles inferiores. El uso intensivo de fertilizantes (purines) y la continua explotación de estos acuíferos contribuye a la penetración del nitrato y al deterioro de los recursos con una calidad aún aceptable (<37.5 mg/L).

Palabras clave: Nitrato, flujos verticales, Directiva Marco del Agua, Empordà.

Abstract: Preventing nitrate pollution in ground water requires an appropriate knowledge of regional hydrogeological flow systems, and their influence upon the migration of solutes. In this paper, we describe the hydrological features of the Manol River basin (Alt Empordà, NE Spain). It consists of a two unit system with distinct hydraulic head that define a downward vertical flux, and therefore, a larger nitrate pollution of the deepest layers. Intensive use of pig manure as fertilizer and the actual ground water withdrawal rates enhances nitrate occurrence, and a loss of the quality of ground water resources.

Key words: Nitrate, vertical flux, Water Framework Directive, Empordà.

INTRODUCCIÓN.

La contaminación por nitrato es uno de los principales obstáculos para lograr los objetivos de las directivas Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) y del Agua Subterránea (Directiva 2006/118/CE). Su aplicación persigue alcanzar el buen estado de las masas de agua subterránea, así como determinar la evolución de los contaminantes, con el fin de reconocer tendencias en la evolución de la calidad de los recursos.

En este sentido, ambas directivas están orientadas a establecer medidas que limiten la entrada de contaminantes en masas de agua destinadas, actualmente o en el futuro, al abastecimiento urbano. En un principio, esta consideración supone conocer la dinámica hidrogeológica que controla la infiltración y la migración del nitrato en el interior del acuífero, así como la existencia de procesos de desnitrificación y/o de condiciones adecuadas para la atenuación natural o inducida del nitrato.

En relación con el primer aspecto, el conocimiento de la dinámica hidrogeológica a escala regional es la base para orientar la adecuada gestión de los acuíferos. Debe considerarse que algunos de ellos son utilizados para el abastecimiento doméstico, aunque presenten una elevada concentración de nitrato.

La cuenca del río Manol, situada en la comarca del Alt Empordà, Cuencas Internas de Cataluña (Fig. 1), constituye un ejemplo de sistema hidrogeológico en el que el uso intensivo de fertilizantes derivados de la actividad ganadera (purines) ha ocasionado una elevada contaminación por nitrato en las aguas subterráneas.

En esta contribución se presentan los resultados de la investigación relativa a la concentración de nitrato en la cuenca del río Manol, con especial énfasis en las condiciones regionales de flujo subterráneo, el estado actual de los distintos niveles acuíferos, su potencial vulnerabilidad y las causas que la determinan.

CONTEXTO GEOLÓGICO. ANTECEDENTES.

La zona estudiada está situada en el contacto entre los relieves del Pirineo oriental y la depresión tectónica del Empordà (Fig. 1). La cobertera de la zona pirenaica está constituida por materiales del Paleógeno intensamente deformados (Mató *et al.*, 1996), que actúan como base del sistema hidrogeológico, y por los mantos de corrimiento de formaciones carbonáticas del Mesozoico que se emplazaron en los estadios avanzados de la orogénesis alpina (Llombart *et al.*, 1984; Rosell y Pallí, 1991). La base cartográfica ha sido publicada a escala 1:50.000 (ITGE, 1994) y a escala 1:25.000 (SGC, 1996 y 1997).

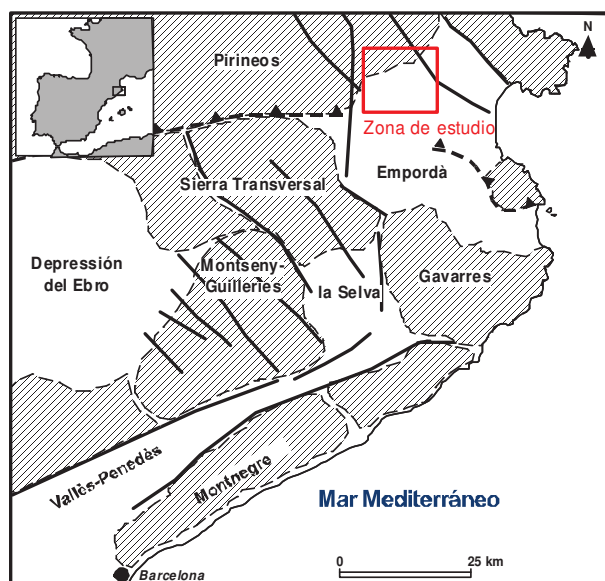


FIGURA 1. Situación geográfica de la cuenca del río Manol.

Los materiales paleógenos están constituidos por una alternancia de niveles carbonáticos, areniscosos y arcillosos (Pallí, 1972). Éstos forman una estructura monoclinial en dirección sur en la que se alcanzan buzamientos superiores a 70° , en el sector norte, donde está situada la cabecera de la cuenca.

La génesis de la fosa tectónica del Empordà tuvo lugar durante los estadios distensivos de la orogénesis alpina en el Neógeno. Esta depresión se colmató por un conjunto de abanicos aluviales procedentes de la zona pirenaica. En el área de estudio, estos depósitos alcanzan más de 150 m de potencia en función de la morfología del substrato (Escuer y Fleta, 1991; Picart *et al.*, 1996). Estas formaciones sedimentarias constituyen el principal sistema hidrogeológico objeto de este estudio.

En superficie, los materiales neógenos muestran niveles de 20-30 m de potencia formados por cuerpos de gravas canalizados que alternan con tramos arenosos arcóscos. En profundidad, los niveles de areniscas aparecen intercalados entre limos y arcillas, siendo los sedimentos finos dominantes a una profundidad de 60 m. Por debajo, se estima que la serie continúa con niveles de materiales gruesos, en cuerpos métricos a decamétricos, con intercalaciones de arcillas (SGC, 1996, 1997). Finalmente, existen formaciones aluviales cuaternarias en el río Manol y en la riera de Àlguema.

Desde la perspectiva hidrogeológica, cabe mencionar los informes técnicos realizados por l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) en relación con la definición de masas de agua subterránea y con la identificación de presiones e impactos sobre el medio hidrogeológico. Existen, además, los estudios concretos referentes a la contaminación por nitratos y a la vulnerabilidad de los recursos hidrogeológicos en el municipio de Navata (Geoservei, 2001, 2005).

RESULTADOS.

Datos piezométricos.

La caracterización piezométrica de la zona de estudio se basa en un inventario de 241 captaciones distribuidas tanto en la zona de cabecera, con materiales paleógenos, como en la zona baja de la cuenca, con materiales neógenos y cuaternarios.

En la cartografía piezométrica se han diferenciado las captaciones de hasta 30 m de profundidad, correspondientes a los niveles más superficiales, y las de más de 30 m ubicadas en los niveles más profundos, independientemente de la litología aflorante. Esta profundidad (30 m), se ha mostrado útil para distinguir entre una unidad hidrogeológica superior (UHS) y otra inferior (UHI). Dado que los materiales neógenos constituyen la principal formación hidrogeológica de la zona, es en éstos donde las unidades definidas adquieren pleno significado. De este modo, la UHS y la UHI en los depósitos neógenos se hallan separadas por un nivel con abundantes limos y arcillas, al que se le atribuye un comportamiento de acuitardo. En el mapa piezométrico se han representado las isopiezas diferenciando cada una de estas unidades hidrogeológicas (Fig. 2).

En el caso particular de los materiales mesozoicos, la inexistencia de captaciones obliga a delinear las líneas isopiezas en función del control orográfico e hidrográfico local. Además, la estructura tectónica de los materiales paleógenos condiciona su trazado en la zona de cabecera, de modo que son tan sólo indicativas de la dirección regional del flujo. La alternancia de formaciones con conductividad hidráulica contrastada (carbonatos vs. arcillas) controla el flujo perpendicular a las mismas y debe ocasionar importantes variaciones locales de nivel, inidentificables a partir de los escasos puntos de muestreo.

La superposición de líneas isopiezas de ambas unidades hidrogeológicas en materiales neógenos muestra una dirección de flujo común en sentido SE, con una zona de recarga en el sector N y NO de la cuenca (Fig. 2). La UHS presenta una mayor variabilidad local debida a la incisión de la red de drenaje. El rasgo más característico observado en la superposición de las isopiezas es la diferencia de nivel hidráulico entre ambas unidades. En términos generales, la UHS presenta niveles de 10 a 25 m más elevados que la UHI; aunque se pueden alcanzar diferencias mayores en el límite NO de los materiales neógenos.

La diferencia entre los niveles de ambas unidades hidrogeológicas se explica por la existencia de un nivel acuitardo intermedio, reconocible en las descripciones estratigráficas de los materiales neógenos. Posiblemente, los niveles de la UHI también estén condicionados por una limitada recarga procedente de los materiales paleógenos debido a su particular disposición tectónica.

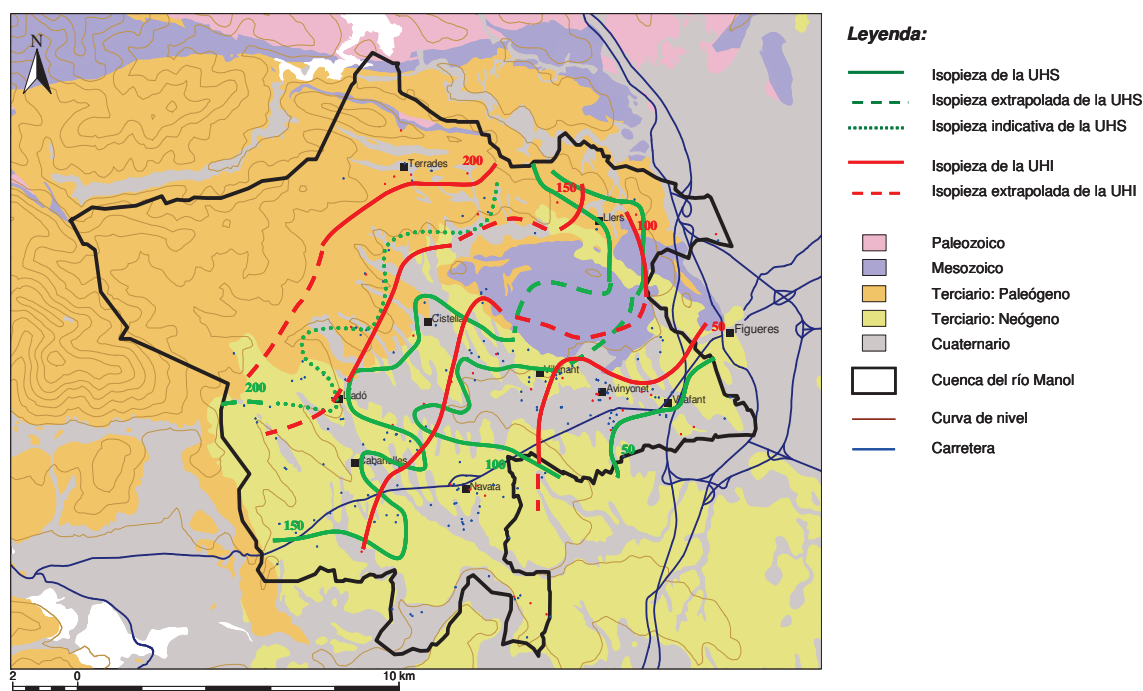


FIGURA 2. Mapa piezométrico de las Unidades Hidrogeológicas Superior (UHS) e Inferior (UHI) en la cuenca del río Manol.

Asimismo, debe considerarse el efecto de las captaciones destinadas al abastecimiento municipal, agrícola y ganadero, la mayoría de las cuales se ubican en la UHI. El descenso producido por estas extracciones contribuye (opinamos que notablemente) a la diferencia de nivel hidráulico entre ambas unidades.

La distinción piezométrica entre la UHS y la UHI pone de manifiesto el carácter semiconfinado del acuífero inferior y, más importante, la existencia de un gradiente hidráulico vertical que establece un flujo descendente con importantes connotaciones para la calidad del agua subterránea de la UHI.

Datos hidroquímicos: nitratos.

La concentración de nitrato representada en histogramas muestra una distribución distinta para cada unidad hidrogeológica (Fig. 3). En la UHS dominan las concentraciones elevadas, con un 83% de los pozos con valores superiores a 50 mg/L NO_3 . Este valor ha sido definido como norma de calidad establecida por la Directiva 2006/118/CE para evaluar el estado químico de las aguas subterráneas. Contrariamente, los valores de concentración en nitrato en la UHI son menores; con el 67% de los análisis inferiores al valor normativo, y un 50% inferiores a 37.5 mg/L NO_3 , correspondiente al 75% del valor paramétrico de la norma de calidad (Anexo IV, parte B, Directiva 2006/118/CE).

El contraste entre los contenidos de ambas unidades hidrogeológicas locales se pone de manifiesto al representar la distribución de nitrato respecto a la profundidad del pozo (Fig. 4). Asimismo, el gráfico muestra valores de nitrato en la UHI con

concentraciones entre 50 y 150 mg/L, lo que sugiere procesos de transporte de nitrato distintos a los que dan lugar a concentraciones inferiores a 50 mg/L.

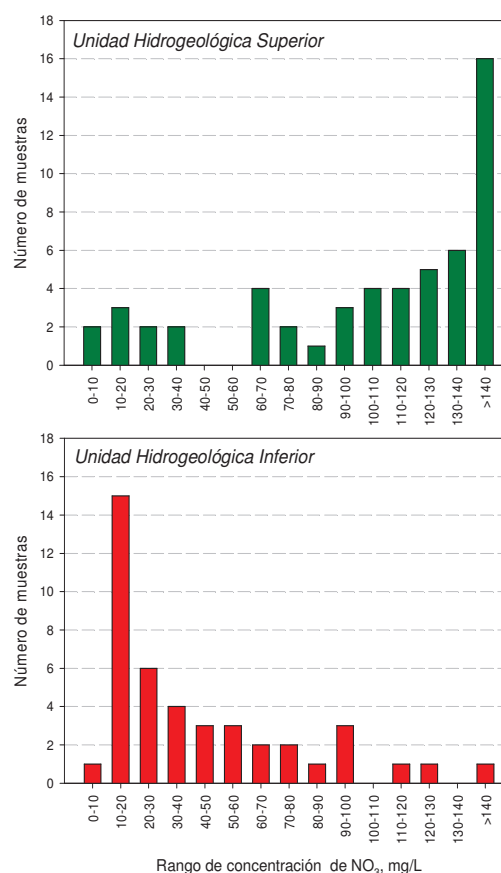


FIGURA 3. Histogramas de la concentración de nitratos en cada unidad hidrogeológica.

En este sentido, las características hidrodinámicas de la zona, especialmente las propias de los acuíferos en materiales neógenos, permiten diferenciar dos conjuntos de datos en la UHI con orígenes distintos. Por una parte, las concentraciones de nitrato inferiores a 50 mg/L se atribuyen a una migración del soluto hacia niveles inferiores inducida por el gradiente vertical generalizado que existe entre ambas unidades. Este flujo se halla determinado por las particularidades hidrogeológicas del terreno y, posiblemente de forma determinante, por la acción del bombeo en los niveles más profundos.

Complementariamente, los pozos de la UHI con concentraciones de nitrato superiores a 50 mg/L corresponden a captaciones cuyos niveles de extracción se hallan repartidos a lo largo de todo el sondeo, circunstancia habitual en pozos de explotación. Por consiguiente, los valores de nitrato registrados corresponden a una mezcla de agua de distinta procedencia que tiene lugar en el pozo como resultado de una construcción inadecuada del mismo.

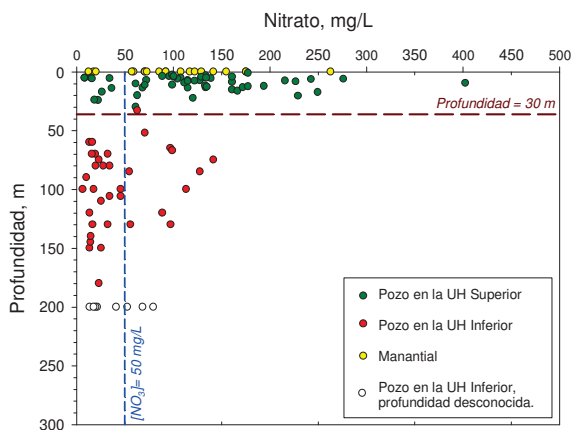


FIGURA 4. Distribución de la concentración de nitratos en profundidad, según las unidades hidrogeológicas (UH).

CONCLUSIONES.

El estudio hidrogeológico desarrollado en la cuenca del río Manol ha permitido presentar un esquema hidrodinámico de la distribución de nitrato, especialmente en las formaciones de materiales neógenos. Estos materiales están constituidos por dos unidades hidrogeológicas con niveles hidráulicos distintos que permiten el flujo vertical descendente y, con él, la penetración del nitrato. Este flujo vertical se halla influenciado por los bombeos continuos de suministro urbano, agrícola y ganadero; de modo que la explotación de los recursos induce la pérdida de calidad de los mismos. Asimismo, la inadecuada construcción de determinadas captaciones impide la extracción exclusiva de agua de los niveles inferiores, cuya calidad es aceptable (<37.5 mg/L).

Las causas de la vulnerabilidad de este sistema hidrogeológico se establecen, pues, a dos niveles distintos: por un lado, la aplicación de fertilizantes en exceso da lugar a la acumulación de nitrato en los

niveles superficiales; por otro, los regímenes de extracción de agua subterránea actuales posibilitan una indeseada migración del nitrato y, con ello, la progresiva pérdida de calidad de los recursos de los acuíferos más profundos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca en un convenio de colaboración entre la Universitat de Girona, la Agencia Catalana de l'Aigua (ACA) y la Associació de Municipis Salines-Bassegoda (AMSB). Los autores agradecen a J.M. Niñerola, M. Iglesias y X. Ibáñez (ACA), y a J. Homs, E. Santos i J. Alemany (AMSB) las facilidades recibidas.

REFERENCIAS

- Escuer, J. y Fleta, J. (1991): Evolución de los sistemas sedimentarios neógenos de la Cuenca del Alt Empordà (Gerona). *I Congreso Grupo Español del Terciario*, Comunicaciones, p. 113-116.
- Geoservei (2001): *Informe hidrogeològic per a la determinació de la vulnerabilitat i l'establiment d'àrees de protecció en el terme municipal de Navata (Alt Empordà)*. Inèdit.
- Geoservei (2005): *Balanç de nitrogen i anàlisi de la seva relació amb la vulnerabilitat i la protecció dels aqüífers del terme municipal de Navata (Alt Empordà)*. Inèdit.
- ITGE (1994): *Mapa geològic de España 1:50000, Figueres, 258 (38-11)*. Madrid.
- Llompart, C., Pallí, L. y Rosell, J. (1984): Aportaciones al conocimiento del Mesozoico de la provincia de Girona: Jurásico. En: *Libro Homenaje a L. Sánchez de la Torre*. Publ. de Geología. UAB, 20: 339-353.
- Mató, E., Berástegui, X. y Saula, E., (1996): Materials i estructura relacionats amb l'etapa compressiva alpina. En: *Geologia de la conca lacustre de Banyoles- Besalú* (J. Maroto y L. Pallí, eds.), Quaderns C.E.C.B., 17: 15-28.
- Pallí, L. (1972): *Estratigrafia del Paleogeno del Empordà y zones limítrofes*. Pub. de Geología, nº 1. Universitat Autònoma de Barcelona, 338 p.
- Picart, J., Mató, E. Y Losantos, M. (1996): Materials i estructura relacionats amb l'extensió neògena: la conca de l'Empordà. En: *Geologia de la conca lacustre de Banyoles- Besalú* (J. Maroto y L. Pallí, eds.), Quaderns C.E.C.B., 17: 29-39.
- Rosell, J. y Pallí, L. (1991): Aportaciones al conocimiento de la geología de Bac Grillera (Girona). *Scientia Gerundensis*, 17: 125-130.
- SGC (1996): *Mapa geològic de Catalunya 1:25.000, Navata, 258-1-2 (72-22)*. Servei Geològic de Catalunya. ICC.
- SGC (1997): *Mapa geològic de Catalunya 1:25.000, Figueres, 258-1-1 (72-21)*. Servei Geològic de Catalunya. ICC.