

# Dinámica de la contaminación por nitrato en el sistema acuífero de la Plana de Vic (Osona, Barcelona).

Nitrate pollution processes in the Plana de Vic aquifers (Osona, Barcelona).

A. Menció <sup>(1)</sup>, J. Mas-Pla <sup>(1,2)</sup>, N. Otero <sup>(3)</sup>, A. Soler <sup>(4)</sup> y A. Folch <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Àrea de Geodinàmica, Dept. Ciències Ambientals, i Centre de Geologia i Cartografia Ambiental (Geocamb), Universitat de Girona, Campus de Montilivi, 17071, Girona. Anna.Mencio@uab.es

<sup>(2)</sup> Dep. de Geologia, i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals; Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, josep.mas.pla@uab.es, albert.folch@uab.es

<sup>(3)</sup> Grup de Hidrogeologia, Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, CSIC. C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028, Barcelona, notero@ub.edu

<sup>(4)</sup> Grup de Mineralogia Aplicada i Medi Ambient; Dept. de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Fac. Geologia, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, albertsolergil@ub.edu.

## ABSTRACT.

*Nitrate pollution in the Plana de Vic aquifers has presently reached very high levels, which pose enormous limitations to its use. The origin of nitrate is mainly caused by manure application as fertilizer. In this paper, we present a hydrodynamic scheme of the Plana de Vic aquifer system, based on potentiometric data and nitrate concentrations obtained through a monthly monitoring effort of a 80 well database. The response of those wells to the recharge that ended a severe drought period allows us to depict different hydrogeological behaviours between surface and deep aquifer levels. We conclude that a mixing process occurs in this multilevel leaky-aquifer system facilitated by the uncasing of most of the wells. Therefore, a deficient exploitation of the aquifer is seen as an additional cause for the spreading of nitrate.*

**Key words:** nitrate, pollution, recharge, Vic, Osona.

*Geogaceta*, 41 (2007), 123-126

ISSN: 0213683X

## Introducción.

La contaminación por nitrato de las aguas subterráneas es uno de los problemas más recurrentes entre las distintas presiones a que se ven sometidas las masas de agua en Cataluña. Concretamente, su presencia en la Plana de Vic (Osona, Barcelona) es bien conocida y esta zona ya fue declarada vulnerable en el decreto de 1998 (Decret 283/1998, DOCG, n. 2760, 6.11.1998) y desde entonces ha sido objeto de seguimiento y estudio por parte de las administraciones competentes. En este caso, la presencia de nitrato se debe a la utilización intensiva del purín como fertilizante; el cual, después de décadas de aplicación y a pesar de detallados planes de gestión, ha alcanzado en la mayoría de los pozos concentraciones superiores a 50 mg/L.

Una de los aspectos recurrentes en este tipo de contaminaciones es el conocimiento de los sistema hidrogeológico afectado, el cual regula la distribución del nitrato una vez se ha infiltrado en el subsuelo. En procesos de contaminación difusa de alcance regional, la definición de la dinámica hidrogeológica es necesaria para determinar la vulnerabilidad de

los acuíferos y diseñar estrategias de protección en aquellas zonas críticas, como primer paso destinado a alcanzar a largo plazo una disminución de las concentraciones actuales (Tesoriero y Voss, 1997; Holman *et al.*, 2005).

En este sentido, el estudio de la contaminación por nitrato en las aguas subterráneas de la Plana de Vic se ha basado en un reconocimiento de las principales unidades hidrogeológicas, la determinación de las relaciones piezométricas y en un seguimiento exhaustivo mensual de diversas captaciones con la intención de caracterizar la dinámica hidrogeológica usando la concentración de nitrato como indicador (Mas-Pla *et al.*, 2006).

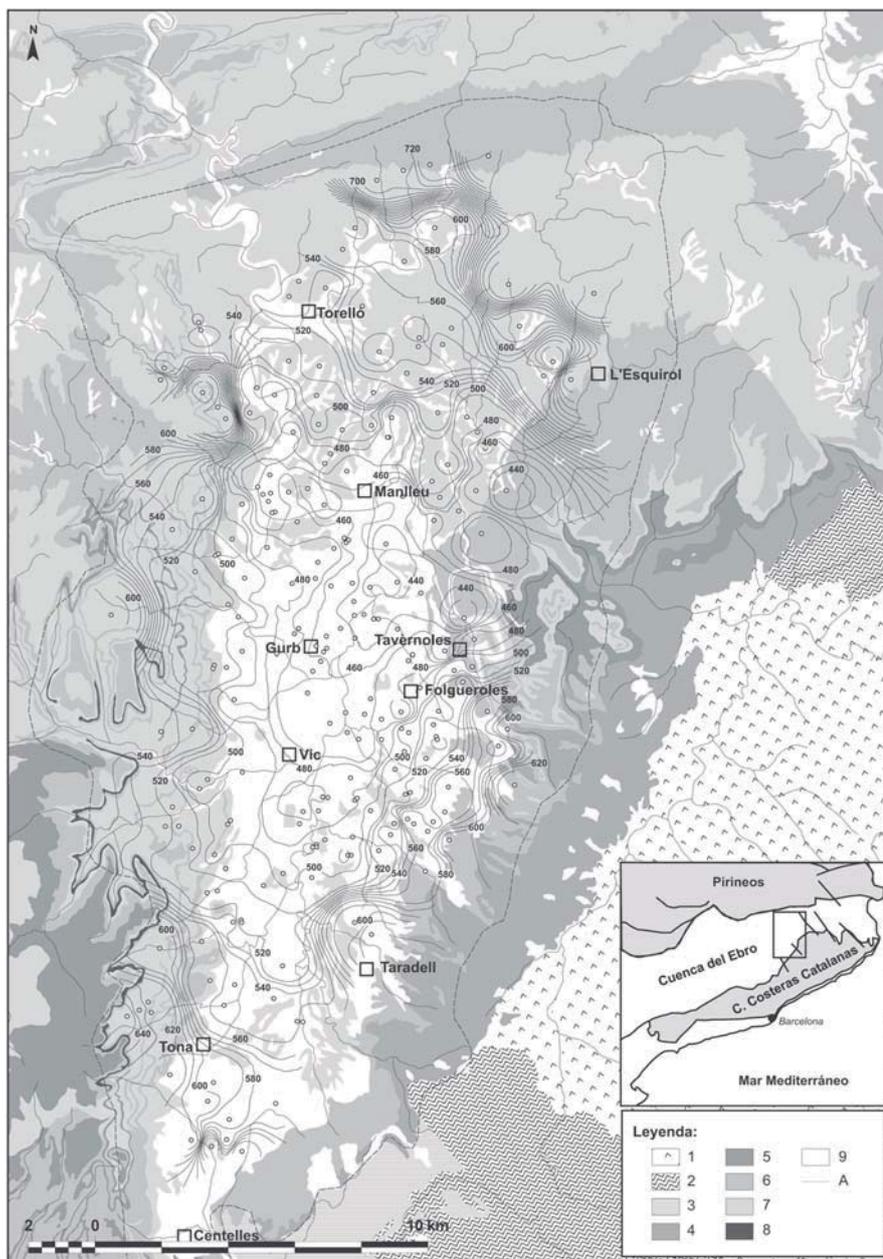
En este trabajo se presentan la dinámica hidrogeológica de la Plana de Vic y su relación con la distribución de nitrato en este sistema acuífero, así como las implicaciones de estos resultados en futuros planes de gestión hídrica.

## Contexto geológico e hidrogeológico.

El sistema hidrogeológico de la Plana de Vic se ubica en los materiales Paleógenos del borde oriental de la depresión central catalana, situados sobre el

zócalo ígneo y metamórfico de la cordillera Prelitoral (Fig. 1). Su estratigrafía consiste en formaciones detríticas y carbonatadas, localizadas en las sierras de Bellmunt y Cabrerès y en el margen oriental de la Plana, y en un amplio desarrollo de niveles arenosos y margosos que constituyen el principal cuerpo sedimentario de la Plana de Vic. El techo de la serie lo configuran los depósitos fluviales que afloran en su borde occidental (Reguant, 1967; IGME, 1983, 1994; Abad, 2001). Estas formaciones presentan un buzamiento uniforme de 5-10° hacia el oeste, con la excepción del anticlinal de Bellmunt situado en el límite norte de la Plana y cuyo eje se extiende en dirección E-O. Geomorfológicamente, la Plana de Vic es una depresión erosiva por acción fluvial de los ríos Ter y Congost que carece de importantes estructuras tectónicas (fallas), si bien los materiales cimentados poseen una intensa red de diaclasas con espaciado métrico a decamétrico.

Las principales formaciones acuíferas se sitúan en los niveles carbonatados y arenosos, la porosidad de los cuales se halla determinada por la red de fracturas que los afecta, así como por procesos de



**Fig. 1.- Situación geológica y mapa piezométrico de la Plana de Vic (Febrero 2005). Leyenda: Paleozoico : 1.- Rocas ígneas, 2.- Rocas metamórficas; Mesozoico : 3.- Formaciones detríticas y carbonatadas indiferenciadas; Terciario (Paleógeno): 4.- Conglomerados y areniscas rojizas, 5.- Calcáreas; 6.- Areniscas y limos margosos, 7.- Margas y areniscas margosas, 8.- Yesos; Cuaternario: 9.- Formaciones detríticas indiferenciadas. Cartografía simplificada según la base geológica del ICC/IGME ([http:// www.mediambient.gencat.net](http://www.mediambient.gencat.net)).**

**Fig. 1.- Geological situation and potentiometric map of the Plana de Vic (Osona, February 2005). Legend: Paleozoic: 1. Igneous rocks, 2. Metamorphic rocks, Mesozoic: 3.- Clastic rocks and limestones, Tertiary (Paleogene): 4.- Red conglomerates and sandstones, 5.- limestones, 6.- Sandstone and silty-marls, 7.- Marls, 8.- Evaporitic layers; Quaternary: Indifferentiated sedimentary deposits. Geological map based on ICC/IGME ([http:// www.mediambient.gencat.net](http://www.mediambient.gencat.net))**

dilución en los niveles calcáreos. En la zona oriental, las formaciones Tavertet y Folgueroles presentan un excelente potencial hidrogeológico. En la zona central, estas formaciones aparecen progresivamente con menor grosor debido a cambios laterales de facies y, a menudo, a profundidades que ya no son alcanzadas por los sondeos. Es por ello que los principales acuíferos se sitúan en los niveles

arenosos y arenoso-margosos superiores, de grosor métrico, fracturados. Los niveles de margas que los separan, especialmente aquellos en que la fracción fina es dominante y la fracturación es menor o ausente, actúan como acuitardos o acuíclados. En la zona centro-occidental de la Plana de Vic dominan las formaciones margosas de decenas de metros de potencia, con escasa capacidad

hidrogeológica. Las captaciones de agua suelen alcanzar más de 100 m en busca de los niveles más productivos.

Los pozos en terrenos aluviales, que tradicionalmente satisfacían las necesidades agrarias, son actualmente de poca importancia, dado el escaso grosor de los mismos y el escaso caudal de los cauces; exceptuando las captaciones ubicadas en el aluvial del río Ter.

**Resultados.**

Los resultados del estudio se hallan condicionados por los factores meteorológicos acaecidos durante el período de muestreo, de febrero a diciembre de 2005. La precipitación acumulada desde enero a agosto fue inferior a 150 mm, continuando la sequía iniciada en septiembre de 2004. A finales de agosto de 2005 se inició un período lluvioso de tres meses con una precipitación media acumulada de 350 mm, aproximadamente. Este contexto meteorológico permitió observar la respuesta del sistema acuífero ante la recarga y la evolución de la concentración de nitrato bajo distintas condiciones de flujo subterráneo.

*Dinámica hidrogeológica.*

La realización de tres campañas piezométricas (febrero, mayo y septiembre de 2005; Mas-Pla *et al.*, 2006) indicó, en términos generales, un sistema de flujo cuya recarga tiene lugar preferentemente en los relieves del margen oriental de la Plana, en dirección SE los flujos procedentes de Bellmunt-Cabrèrès hasta el eje del río Ter y en dirección E los flujos procedentes del sector oriental en las sierras desde Tavèrnoles a Taradell, en el sector sur del río Ter. La principal recarga tiene lugar a través de las Fms. Tavertet y Folgueroles, las cuales se disponen por debajo de los niveles arenosos y margosos del conjunto de la Plana de Vic (Fig. 1).

En el centro de la depresión, los afloramientos de los niveles arenosos pueden dar lugar a una cierta recarga, limitada por la superficie de los mismos; si bien ésta puede ser más efectiva cuando estos estratos arenosos subyacen las formaciones superficiales (aluviales, coluviales) que pueden actuar como acuíferos menores. Los terrenos con substrato margoso, dominantes en la zona central y occidental de la Plana, son ineficientes en términos de recarga.

La correlación piezométrica muestra un cierto gradiente en dirección E desde el margen occidental de la depresión. Por razones estratigráficas (particularmente, el buzamiento en sentido oeste) y estructurales, este flujo subterráneo es de carác-

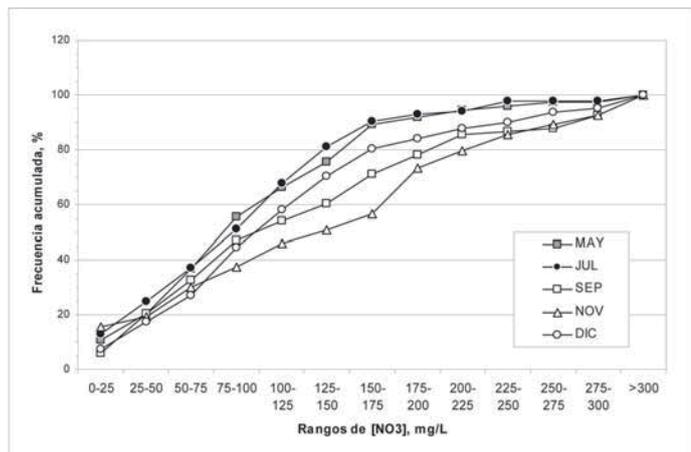


Fig. 2.- Frecuencia acumulada de la concentración de nitrato en los H>80 pozos de muestreo.

Fig. 2.- Accumulated frequency of nitrate concentration in the H>80 wells database.

un inventario de 246 pozos (todos ellos pertenecientes a explotaciones agrícolas o ganaderas), de los cuales unos 80 se muestrearon mensualmente. Los valores de amonio y nitrato no presentan valores elevados, exceptuando casos muy concretos; por lo que no constituyen un riesgo. El rango de nitrato más frecuente en todo el registro se sitúa entre 75 y 150 mg/L, habiéndose registrado captaciones con concentraciones continuas superiores a 200 mg/L (Fig. 2).

De este modo, el aumento generalizado de la concentración de nitrato que tuvo lugar a partir de las intensas precipitaciones de septiembre es una de las observaciones más notables del seguimiento mensual. La figura 2 muestra la frecuencia acumulada de la concentración de nitrato durante los meses de sequía (mayo y julio) y con posterioridad a las precipitaciones (septiembre, noviembre y diciembre). De este modo, un 75-90% de los pozos muestreados presentaban un valor de nitrato inferior a 170 mg/L durante el primer semestre de 2005. Con posterioridad a las lluvias, y más concretamente en noviembre, sólo un 55% de los mismos pozos presentaban concentraciones inferior-

ter superficial y no supone una importante fuente de recursos hídricos.

No se han observado en los datos piezométricos variaciones verticales del nivel hidráulico ni distinción entre las direcciones generales de flujo a distintas profundidades. Asimismo, la tipología de los pozos, habitualmente sin entubado y abiertos prácticamente hasta su base, impide estas distinciones.

La tipología hidroquímica de las aguas subterráneas es predominantemente del tipo carbonatado-cálcico, con un contenido va-

riable en sulfato (hasta el 30% del total de aniones), básicamente de origen mineral. En la zona central se observa una mayor presencia de cloruro, el cual guarda una relación directa positiva con la concentración de nitrato. Esta correlación sugiere que el cloruro es atribuible a la aplicación de purines, como ya indicó Vitòria (2004).

*Alcance de la contaminación por nitrato en la Plana de Vic.*

El seguimiento de la concentración de compuestos de nitrógeno se realizó sobre

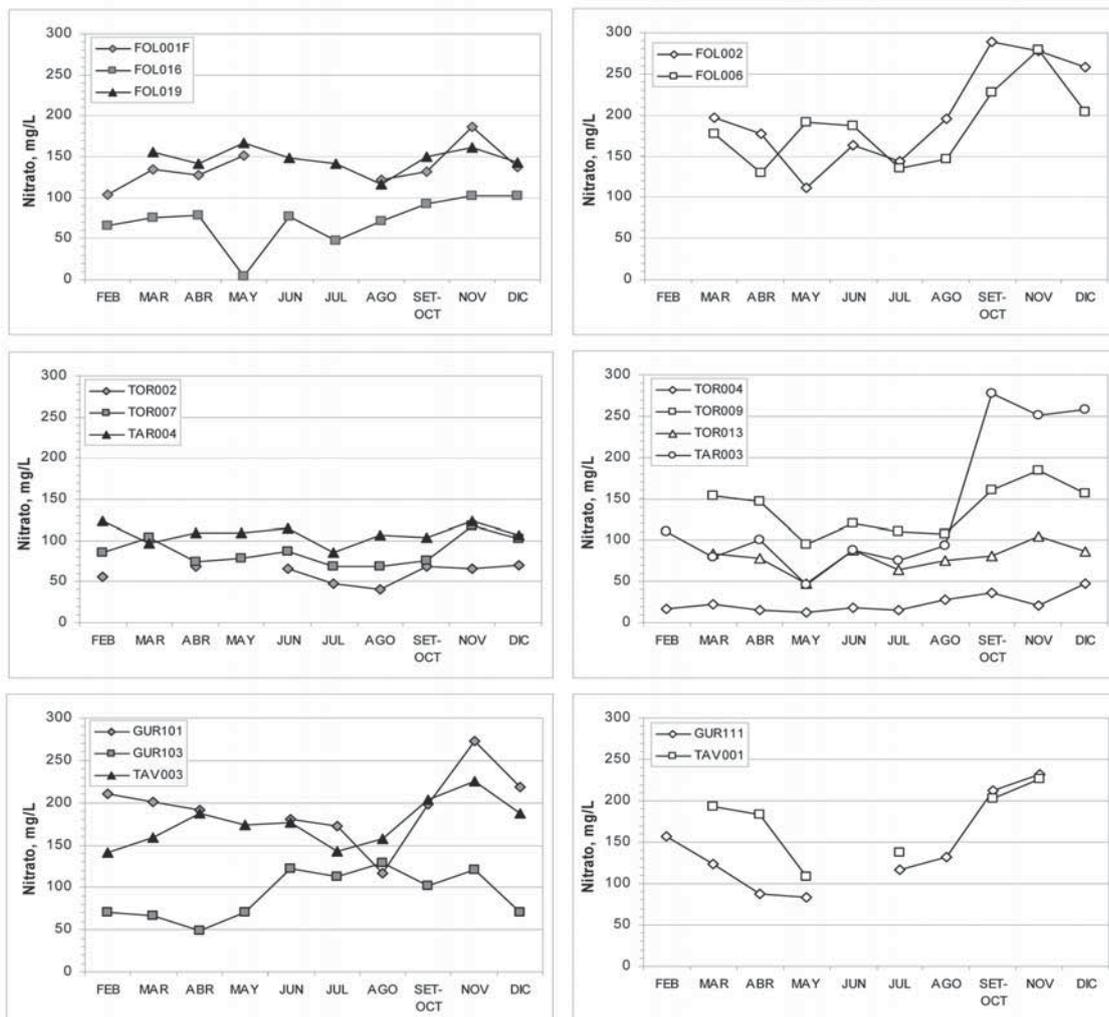


Fig. 3.- Evolución mensual de la concentración de nitrato en determinados pozos de la Plana de Vic. Los gráficos de la columna izquierda, con símbolos llenos, corresponde a pozos superficiales (< 30 m) y los de la columna derecha, con símbolos vacíos, a pozos profundos (> 30 m) agrupados en distintos sectores.

Fig. 3.- Nitrate monthly evolution in selected wells at the Plana de Vic. Plots in the left column belong to shallow wells (< 30 m depth, solid symbols), and those of the right column belong to deep wells (> 30 m, empty symbols).

res a este valor, denotando un generalizado aumento de la concentración en casi la mitad de los puntos de muestreo.

En términos generales, los pozos superficiales (<30 m), ubicados en las formaciones cuaternarias o en los niveles terciarios más superficiales, suelen presentar concentraciones elevadas de nitratos, sin variaciones significativas a lo largo del año estudiado. Ello refleja claramente el efecto de la aplicación generalizada de purín en la Plana de Vic. Los pozos con profundidades superiores a los 30 m, ubicados habitualmente en niveles semiconfinados, presentan una mayor variabilidad de valores, habiendo entre ellos algunas captaciones con valores muy elevados. En particular, determinados pozos profundos del sector oriental y central de la Plana han respondido a las precipitaciones de septiembre con un claro aumento de la concentración (Fig. 3).

En la figura 3 se distingue la evolución de la concentración de nitrato en distintas captaciones seleccionadas en los municipios de Folgueroles, Gurb y Torelló. En ella se observan distintos comportamientos. Los pozos superficiales de Folgueroles y Torelló (columna izquierda) muestran concentraciones elevadas de nitrato, prácticamente constantes durante los meses de muestreo, presentando los valores mínimos en verano. Por otro lado, los pozos profundos (columna derecha) muestran una tendencia a disminuir la concentración durante los seis primeros muestreos y un importante y rápido incremento a raíz del periodo lluvioso iniciado a finales de agosto de 2005.

También es significativo que determinadas captaciones profundas (por ejemplo, TOR004, Fig. 3) mantienen una baja concentración de nitrato durante todo el año de estudio, mostrando el carácter confinado de estos niveles respecto a los acuíferos superiores. Ambos comportamientos de los pozos profundos son característicos del conjunto de la Plana de Vic (Mas-Pla *et al.*, 2006).

Finalmente, algunos pozos superficiales de la zona de Gurb (GUR 101) también responden a la recarga de las precipitaciones de agosto-septiembre. Cabe mencionar que, si bien estas distintas evoluciones son generalizables al resto de la zona, deben considerarse la idiosincrasia de cada pozo y la arbitrariedad que supone clasificarlos por su profundidad. Sin embargo, esta clasificación será útil en la interpretación de los sistemas de flujo y mezcla.

### Discusión.

Los datos piezométricos e hidroquímicos y, en particular, la respuesta de las concentraciones de nitrato a la recarga ocurrida a partir de agosto han permitido presentar un esquema de la dinámica hidrogeológica en la Plana de Vic.

Las concentraciones elevadas y temporalmente uniformes de nitrato en los pozos superficiales es una consecuencia directa de la aplicación del purín como fertilizante, poco sensible a los períodos de recarga; si bien durante prolongados periodos de sequía la escasa infiltración puede dar lugar a una descenso de las concentraciones.

Las observaciones en los pozos profundos, concretamente, los bajos valores de nitrato habituales (en algunos casos por debajo de 50 mg/L) y su respuesta a la recarga derivada de las precipitaciones acaecidas a partir de agosto, sugieren que estos niveles acuíferos no adquieren concentraciones de nitrato elevadas en las zonas de recarga, sino que éstas derivan de la infiltración vertical inducida por los bombeos a través de los niveles semiconfinados. La naturaleza fracturada del terreno permite este comportamiento.

Las bajas concentraciones de nitrato anteriores a la recarga y un cierto descenso de las mismas desde febrero a agosto se atribuyen al hecho de que la sequía conllevó el agotamiento (parcial) de los niveles superiores. En este caso, los valores muestreados son representativos de la concentración en los niveles profundos. Con la recarga, las captaciones abiertas en toda la longitud del sondeo explotaron agua de todos los niveles, produciéndose una mezcla. Las elevadas concentraciones de los niveles superiores dan lugar a un aumento del nitrato en el agua bombeada. Se concluye, por tanto, que los datos de nitrato son representativos del pozo, con su propia idiosincrasia, y no son extrapolables al nivel acuífero correspondiente a la profundidad máxima del cual se abastece.

### Conclusiones.

Este estudio hidrogeológico ha permitido caracterizar la distribución de nitratos en la Plana de Vic y elaborar un esquema dinámico que la represente. Por un lado, se concluye que los niveles profundos, cuya recarga tiene lugar en los relieves orientales de la Plana, debe presentar concentraciones bastante aceptables de nitrato.

Las altas concentraciones observadas en las captaciones profundas se deben a la mezcla con agua de niveles superficiales explotados por el mismo pozo, de manera que en algunos casos, la muestra es sólo representativa del propio pozo y no del nivel más profundo que explota. Asimismo, el constante bombeo ha inducido una infiltración vertical desde los niveles superficiales, la cual ha dado lugar, además, a la presencia de nitrato en profundidad.

Sin profundizar en los detalles, entendemos que el problema de la contaminación de nitrato en la Plana de Vic es doble: por un lado, el evidente uso intensivo del purín como fertilizante; por el otro, la incorrecta entubación y explotación de los pozos permite la mezcla entre distintos niveles productivos e impide aprovechar estrictamente los recursos hídricos más profundos.

### Agradecimientos.

Este estudio se financió por el Consell Comarcal d'Osona, l'Agència Catalana de l'Aigua y la Associació Tecnico sanitària del Porcí (ASSAPORC), y por el proyecto CICYT CGL-2005-08019-C04-01 y 02.

### Referencias.

- Abad, A. (2001). *Paleotaxodonta y pteriomorpha del eoceno del margen sur de la depresión central catalana*. Tesis Doctoral, Univ. Autònoma de Barcelona.
- Holman, I.P., Palmer, R.C., Bellamy, P.H. y Hollis, J.M. (2005). *Hydrogeology Journal*, 13, 665-674.
- IGME (1983). *Mapa Geológico de España, Hoja 332 Vic*. Madrid.
- IGME (1994). *Mapa Geológico de España, Hoja 294 Manlleu*. Madrid.
- Mas-Pla, J., Menció, A., Soler, A. y Otero, N. (2006). *Avaluació de la contaminació per nitrats de les aigües subterrànies a la Plana de Vic*. C.C. Osona, ACA, ASSAPORC, Inédito.
- Reguant, S. (1967). El Eoceno marino de Vic (Barcelona). *Mem. Inst. Geol. Min. Esp.* 67, 330 pp.
- Tesoriero, A.J., y Voss, F.D. (1997). *Ground Water*, 35, 1029-1039.
- Vitòria, I. (2004). *Estudi multi-isotòpic ( $d^{15}N$ ,  $d^{34}S$ ,  $d^{13}C$ ,  $d^{18}O$ ,  $dD$  i  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) de les aigües subterrànies contaminades per nitrats d'origen agrícola i ramader*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona.