

# L'ús de la isotopia del N per determinar l'origen de la contaminació per nitrats en les aigües subterrànies a Osona (Catalunya)

Jordi Serrano

CREAF. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Laura Vitòria

Albert Soler

Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia  
Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès, s/n. 08028 Barcelona. Spain

Anna Àvila

CREAF. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Manuscrit rebut el juny de 2003

## Resum

S'ha determinat la procedència dels nitrats a les aigües subterrànies de la part d'Osona compresa entre Manlleu i Torelló mitjançant l'anàlisi de la  $\delta^{15}\text{N}$  del  $\text{NO}_3$  i de les concentracions dels anions principals en 32 mostres d'aigües de pou i 6 de fonts. Els resultats de la  $\delta^{15}\text{N}$  indiquen que l'aplicació superficial de fertilitzants orgànics (purins) és la principal font de la contaminació de  $\text{NO}_3$  de les aigües subterrànies. No obstant, en 3 mostres s'ha detectat també una influència per part de fertilitzants inorgànics. D'altra banda, la  $\delta^{15}\text{N}$  combinada amb les concentracions de  $\text{NO}_3$  i de  $\text{SO}_4$  indica l'existència del procés de desnitrificació en sectors puntuals de l'àrea estudiada, constituint un mecanisme d'atenuació de la contaminació per nitrats de les aigües subterrànies de la zona.

**Paraules clau:** contaminació, aigües subterrànies,  $\text{NO}_3$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , fertilitzants orgànics, desnitrificació.

**Abstract.** *Use of nitrogen isotopes to determine the sources of groundwater nitrate contamination in Osona (Catalonia)*

Nitrate sources in groundwaters in the area of Osona between Manlleu and Torelló has been studied through the analysis of  $\delta^{15}\text{N}$  of  $\text{NO}_3$  and the concentrations of the main anions in 32 well samples and 6 springwaters.  $\delta^{15}\text{N}$  data show that the main source of  $\text{NO}_3$  in the groundwater is from spreading pig manure over the fields. However, three samples also showed an influence of inorganic fertilisers. On the other hand, the combined measurements of  $\delta^{15}\text{N}$  with the concentrations of  $\text{NO}_3$  and  $\text{SO}_4$  indicated denitrification in located areas of the study site, which constitute a nitrate de-contamination mechanism for the groundwaters in the area.

**Key words:** contamination, groundwater,  $\text{NO}_3$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , organic fertilisers, denitrification.

## Introducció

La contaminació de les aigües subterrànies per nitrats és un problema greu que afecta molts països, on en molts casos la concentració de nitrats a les aigües supera clarament el valor màxim permès en aigües destinades a consum humà (50 ppm) segons el Reial Decret 140/2003 que segueix la Directiva de la Comunitat Europea 80/778/CEE. La ingestió d'aigües amb elevats continguts en nitrats pot provocar metahemoglobinèmia en nadons i alguns estudis sostenen que els nitrats poden actuar com a precursors de substàncies potencialment cancerígenes en adults (Magee & Barnes, 1956).

Els nitrats a les aigües poden provenir de diferents fonts, entre les quals destaquen les relacionades amb les activitats agrícoles per l'ús de fertilitzants, orgànics o inorgànics (Ronen et al., 1983; Andersen & Kristiansen, 1984; Spalding & Exner 1991). En aplicar els fertilitzants al sòl, el nitrogen amoniacal que contenen es transforma, degut al procés de nitrificació, i origina nitrat. Si es donen les condicions necessàries, aquests nitrats es redueixen fins a NO<sub>2</sub> (gas amb efecte hivernacle) o N<sub>2</sub>, procés conegut com a desnitrificació.

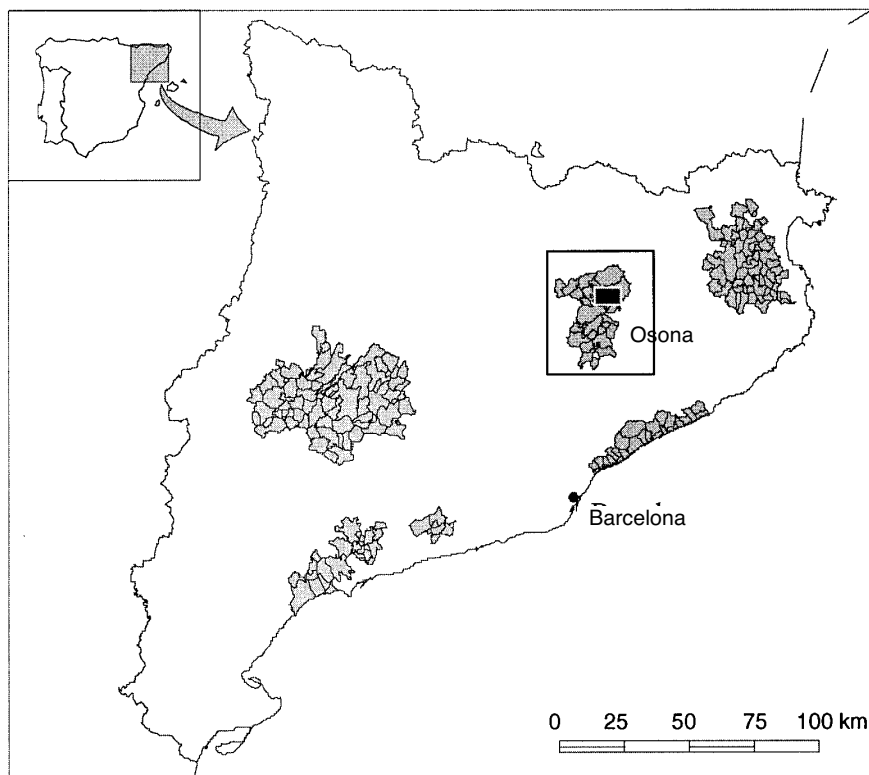
Per tal de determinar l'origen dels nitrats i els processos que afecten la concentració de nitrogen a les aigües és molt útil usar l'isòtop estable del nitrogen (<sup>15</sup>N) com a traçador (Kreitler & Browing, 1983; Böttcher et al., 1990; Wasseenaar, 1995; Aravena & Robertson, 1998; Pauwels et al., 2000; entre d'altres), expressant la seva abundància a partir de la δ<sup>15</sup>N (1).

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{mostra}} (\text{‰}) = \frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{mostra}} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{estàndard}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{estàndard}}} \times 1000 \quad (1)$$

L'objectiu d'aquest estudi és determinar la procedència de la contaminació per nitrats a les aigües subterrànies a la zona nord de comarca d'Osona (eix Manlleu-Torelló) usant l'esmentada anàlisi isotòpica complementada amb anàlisis de les concentracions dels principals anions dissolts en les aigües.

## Zona d'estudi

La zona mostrejada comprèn els municipis de Manlleu, Torelló i Santa Maria de Corcó i pertany a la comarca d'Osona (60 km al nord de Barcelona), la qual està classificada com a "Zona vulnerable a la contaminació per nitrats procedents de fonts agràries" pel Decret 283/1998 de la Generalitat de Catalunya (Fig. 1). La comarca d'Osona es troba a l'extrem est de la Depressió de l'Ebre, entre els Pre-Pirineus i la Serralada Pre-Litoral Catalana, en una zona de clima sub-mediterrani amb temperatures mitjanes anuals de 13°C i amb precipitacions anuals al voltant dels 750 mm (Folch et al., 1984; Atlas climàtic de Catalunya, 2001). L'àrea estudiada està constituïda principalment per materials eocènics: a l'est i nord-est aflora un conjunt massiu de llims biotorbats amb potències que oscil·len entre els 100 i els 200 metres; a la resta de la zona apareixen margues i arenisques carbonàtiques amb fauna abundant, que assoleixen potències de fins 300 metres.

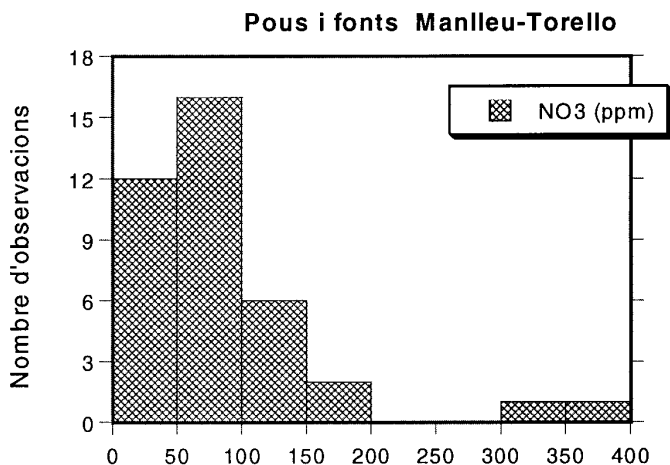


**Figura 1.** Zona d'estudi, indicada en el requadre negre, entre els municipis de Manlleu, Torelló i Santa Maria del Corcó, a la comarca d'Osona. En trama grisa, les zones vulnerables degut a contaminació per nitrats de fonts agràries de Catalunya.

Cal destacar la presència de pirites disseminades en aquestes formacions (Urquiola, 1994). A més d'aquests materials terciaris, apareixen dipòsits quaternaris als fons de vall i a les terrasses fluvials, fruit de l'erosió dels relleus circumdants. Estan formats per graves, sorres i llims, amb potències inferiors als 20 metres. Tots aquests materials configuren un aquífer multicapa en que els diferents nivells estan interconnectats per les fractures que els afecten. És un aquífer no gaire productiu tot i que està sotmès a una gran pressió per a ús agrícola i ramader.

### Materials i mètodes

S'han pres un total de 38 mostres, que corresponen a 6 fonts i 32 pous en que s'ha mesurat *in situ* la profunditat del nivell piezomètric així com els paràmetres de temperatura, pH, conductivitat i oxigen dissolt de les mostres, utilitzant sondes i electrodes específics portables. Al laboratori s'han realitzat les anàlisis químiques.



**Figura 2.** Histograma de les concentracions de nitrat (en ppm) dels pous i fonts estudiades.

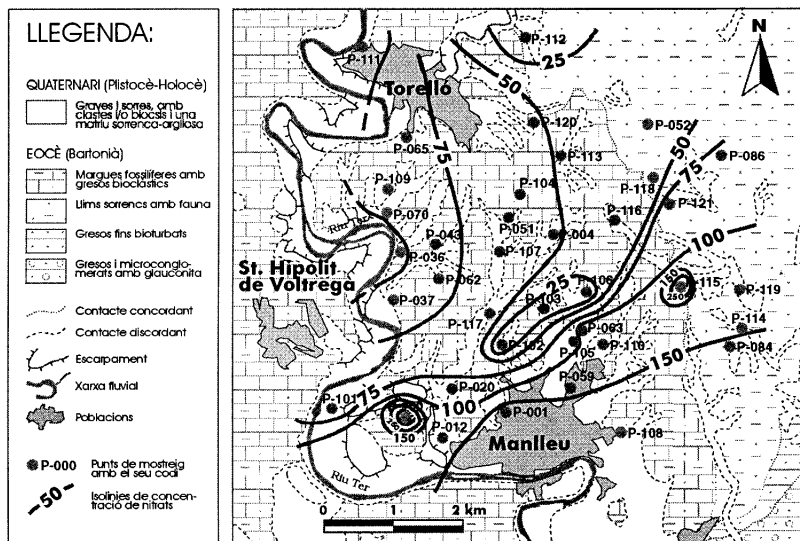
miques dels elements majoritaris tot i que en aquest treball només es presentaran els resultats de les concentracions dels anions principals i de l'amoni. La preparació de les mostres s'ha realitzat als laboratoris del Grup de Mineralogia Aplicada i Medi Ambient de la Universitat de Barcelona, i les anàlisis als Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona. Els paràmetres mesurats i les tècniques utilitzades han estat els següents:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  per Cromatografia Líquida;  $\text{NH}_4^+$  per Colorimetria en un analitzador de flux continu Technicon; l'alcalinitat per valoració automàtica amb HCl mitjançant un aparell 702 SM Tritino de Tetrahm.

La qualitat analítica de la química general s'ha comprovat per mitjà del test del balanç iònic (comparació de la suma de cations i anions) seguint el mètode de Custodio & Llamas (1977) que té en compte la conductivitat de la mostra. Així només quatre mostres han donat valors majors (fins un 9%) que el seu error permès mentre que les altres no sobrepassen el 6% de variació respecte el valor central.

Per l'anàlisi isotòpica de la  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ , el nitrat de les aigües ha estat concentrat mitjançant resines d'intercanvi aniónic (Bio Rad AG 1-X( $\text{Cl}^-$ ) 100-200 mesh) i tot seguit s'ha recuperat amb una solució de HCl i transformat a  $\text{AgNO}_3$  mitjançant un mètode modificat de Silva et al. (2000). L'anàlisi isotòpica ha estat realitzada amb un Analitzador Elemental Carlo Erba acoblat en un flux continu a un espectròmetre de masses Finnigan Matt delta S.

## Resultats i discussió

A la Taula 1 es presenten els resultats de les concentracions d'amoni, dels anions i de la  $\delta^{15}\text{N}$  de les mostres. Les concentracions de nitrats trobades a la zona oscil·len entre valors no detectables (<0.2 ppm) i 366 ppm, amb una mitjana de



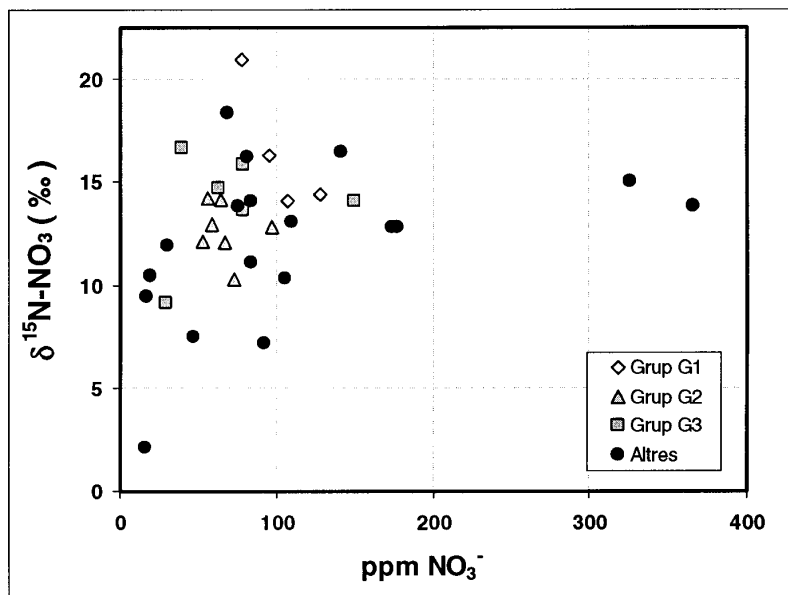
**Figura 3.** Mapa d'isocontinguts en nitrats (en ppm) i situació dels punts de mostreig.

88 ppm i un error estàndard de 12.3 ppm (Fig. 2). Es pot observar que la majoria de mostres presenten valors de concentració de nitrat superiors a les 50 ppm establertes per llei per a aigües destinades a consum humà. Existeix, doncs, una contaminació difusa amb àrees puntuals de major concentració d'aquest element tal com mostra el mapa d'isocontinguts en nitrats (Fig. 3). També es pot observar com la contaminació difosa augmenta cap al sud i oest de la zona d'estudi.

Els valors de la  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$  oscil·len entre +2.2 i +20.9‰ (Taula 1) si bé la majoria de les mostres presenten valors superiors al +8‰ coherents amb els que haurien de presentar els nitrats procedents de dejeccions ramaderes, que generalment presenten una  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Ntotal}}$  superior al 8-10‰ (Gormly & Spalding, 1979; Wassenaar, 1995; Fogg et al., 1998; Vitòria et al., 2003). Només tres mostres tenen valors més lleugers: la P-043, amb un +2.2‰, valor clarament procedent dels fertilitzants inorgànics ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{Ntotal}} < 5\%$ ; Vitòria et al., 2004) i les mostres P-065 i P-113, amb valors de 7.2‰ i 7.6‰, respectivament, que podrien representar una mescla entre contaminació per purins i per fertilitzants sintètics. Segons Vitòria et al. (2003) els purins es caracteritzen per una signatura isotòpica que varia desde un +8‰ fins a valors que poden arribar al +15‰. Així, les mostres que presenten valors més elevats es podrien explicar a partir de la desnitrificació dels nitrats. Aquests processos desnitrificadors es poden produir per oxidació de pirites o per oxidació de matèria orgànica, augmentant les concentracions de sulfats o bicarbonats de les aigües, respectivament. En ambdós casos, la  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$  augmentarà en reduir-se la concentració de nitrats.

**Taula 1.** Concentració d'amoni, nitrats, nitrits, sulfats, clorurs i bicarbonats, i  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$  de les mostres.

Mostra	Nom	en ppm					en ‰	
		$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	Cl	$\text{HCO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$
P-001	C/ Doña Blanca 71	< 0.1	173.8	< 0.2	252.1	76.8	431.1	12.8
P-004	Casanova d'en Pons	1.1	64.1	0.7	170.3	38.0	509.3	14.1
P-012	La Porcellera	< 0.1	140.8	< 0.2	223.2	101.9	400.4	16.5
P-020	Mas Poquí	< 0.1	80.8	< 0.2	204.9	67.8	458.5	16.2
P-036	El Masnou	< 0.1	109.5	< 0.2	135.2	45.3	425.7	13.0
P-037	Finca Espadamala	< 0.1	83.1	< 0.2	105.4	51.0	378.0	14.1
P-043	Masllorç	< 0.1	15.6	< 0.1	101.6	3.0	265.9	2.2
P-051	Font de Saniàs	< 0.1	58.7	0.6	162.5	24.7	387.1	12.9
P-052	Mas Codinac	< 0.1	30.5	< 0.1	90.6	21.9	465.1	12.0
P-059	Pou Rodin	< 0.1	77.3	< 0.2	239.3	74.9	471.3	20.9
P-062	Pou el Reig	< 0.1	96.8	< 0.2	140.0	52.7	445.2	12.8
P-063	Pou el Mas	< 0.1	107.3	< 0.2	214.0	57.9	491.7	14.1
P-065	Font dels Ocells	< 0.1	91.5	< 0.1	75.0	28.6	328.9	7.2
P-070	Font de la Riera	< 0.1	83.6	< 0.2	200.9	51.3	429.6	11.2
P-084	Cal Toi	< 0.1	38.9	< 0.2	137.4	35.2	384.8	16.6
P-086	Can Joventeny	< 0.1	78.2	< 0.1	125.2	25.6	367.2	15.8
P-100	El Pedrís	< 0.1	365.7	< 0.3	244.1	210.5	480.4	13.8
P-101	Can Rosanes	< 0.1	68.7	0.4	156.0	47.3	253.0	18.4
P-102	Camporat	< 0.1	18.8	0.2	78.7	38.9	281.0	10.5
P-103	Mas Maians	< 0.1	< 0.2	< 0.2	152.5	17.2	373.6	—
P-104	Caseta de Muntades	0.1	55.5	0.3	194.0	25.7	418.1	14.2
P-105	El Mas	< 0.1	95.2	< 0.2	234.0	49.5	435.0	16.3
P-106	Casadevall Manlleu	< 0.1	12.5	< 0.2	140.0	40.9	409.7	—
P-107	Granja Rifà	< 0.1	52.2	< 0.2	149.3	27.9	388.3	12.1
P-108	Can Roca	< 0.1	176.9	< 0.2	146.0	70.1	372.1	12.8
P-109	Casanova Sanaías	< 0.1	75.4	0.3	197.6	36.0	391.6	13.8
P-110	El Parè	< 0.1	127.8	< 0.2	188.2	68.1	457.1	14.4
P-111	Font de Puigrubí	< 0.1	105.1	< 0.2	95.0	37.6	439.4	10.4
P-112	Mas Vilardell	< 0.1	17.0	< 0.1	91.6	11.7	387.9	9.5
P-113	Mas Boixader	0.1	46.5	< 0.1	103.7	19.2	343.9	7.6
P-114	Cal Toi	0.2	149.2	0.9	118.1	44.0	422.4	14.1
P-115	El Llac	< 0.1	325.3	0.2	151.2	83.4	408.0	15.0
P-116	Coma de Prous	< 0.1	28.9	< 0.1	154.6	11.3	392.1	9.2
P-117	Granja Sala	0.1	72.8	2.3	252.7	53.1	396.3	10.3
P-118	Comermena	< 0.1	6.8	< 0.1	148.8	15.3	377.1	—
P-119	Mas Grieres	< 0.1	62.7	< 0.2	98.6	44.4	405.6	14.7
P-120	Granja Pujol	< 0.1	66.5	< 0.2	170.3	38.4	373.8	12.1
P-121	Mas Serrabona	< 0.1	78.5	< 0.2	110.6	40.2	431.2	13.6



**Figura 4.** Concentració de  $\text{NO}_3^-$  en ppm versus  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ .

Aquesta tendència no s'observa en una gràfica  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$  versus nitrats (Fig. 4), ja que es tracta d'una zona amb contaminació difusa on la quantitat inicial de nitrats en l'àrea de recàrrega de cada pou pot ser diferent. Tanmateix, a fi d'estudiar l'existència d'aquests processos, tenint en compte la situació geogràfica de les mostres, es poden establir tres grups de pous amb una gran proximitat geogràfica entre ells, situats sobre els mateixos substrates i amb una probable connexió en la circulació de les seves aigües subterrànies.

Així, veiem que les mostres del grup G1 format pels pous P-059, P-063, P-105 i P-110, mostren una correlació negativa ( $r^2=0.761$ ) entre la concentració de nitrats i la  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$  (Fig. 4) i una correlació negativa ( $r^2=0.932$ ) entre la concentració de nitrats i sulfats (Fig. 5), coherent amb la presència de processos de desnitrificació per oxidació de pirites. En canvi, en el gràfic de concentració de bicarbonat versus  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$  (Fig. 6) no s'observa cap correlació significativa. De tota manera, com que algunes mostres presenten valors de la  $\delta^{15}\text{N}$  superiors al +15‰, no es pot descartar l'existència d'aquest procés, ja que la quantitat de bicarbonat procedent dels materials carbonatats de l'aquífer i/o del  $\text{CO}_2$  del sòl és tan gran que el sistema queda tamponat de manera que no es pot observar, amb aquestes dades, cap contribució de bicarbonats procedent de l'oxidació de matèria orgànica.

Els pous del grup G2 (P-004, P-051, P-062, P-104, P-107, P-117 i P-120) no mostren tendències molt marcades entre la  $\delta^{15}\text{N}$  i les concentracions de  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{SO}_4$  (Figs. 4 i 5). En canvi, tot i que s'observa una petita relació positiva entre la con-

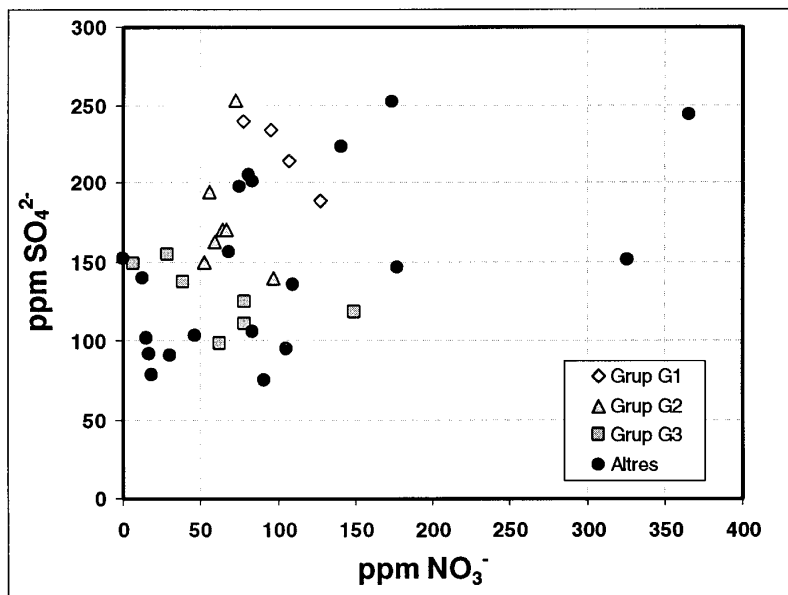


Figura 5. Concentració de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> versus concentració de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ambdues en ppm.

centració de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i la δ<sup>15</sup>N (Fig. 6), aquesta no presenta cap punt amb valors superiors al +15‰ descartant l'existència de processos de desnitrificació en aquesta zona.

Les mostres del grup G3 (P-084, P-086, P-114, P-116, P-118, P-119 i P-121) no mostren una clara relació entre la concentració de nitrats i la δ<sup>15</sup>N<sub>NO<sub>3</sub></sub> (Fig. 4) però sí valors de la δ<sup>15</sup>N<sub>NO<sub>3</sub></sub> d'algunes mostres superiors al +15‰ i una petita relació negativa entre nitrats i sulfats (Fig. 5). Així doncs es pot pensar que en aquesta zona existeixen també processos de desnitrificació afectant les aigües degut a l'oxidació de pirites. En la Figura 6, tampoc s'observa cap relació entre la δ<sup>15</sup>N i els bicarbonats de manera que no es pot evaluar la desnitrificació per oxidació de matèria orgànica.

## Conclusions

L'anàlisi química de 32 mostres de pous i 6 de fonts mostra l'existència de contaminació per nitrats (amb la majoria de valors superant les 50 ppm fixades per llei com a màxim permès per a consum humà) en la zona compresa entre Manlleu i Torelló. Aquesta contaminació pot ser considerada difusa però heterogènia, amb focus de contaminació puntual.

L'anàlisi isotòpica ha permès conèixer la procedència dels nitrats a les aigües, principalment deguda a l'aplicació de fertilitzants orgànics (dejeccions ramade-



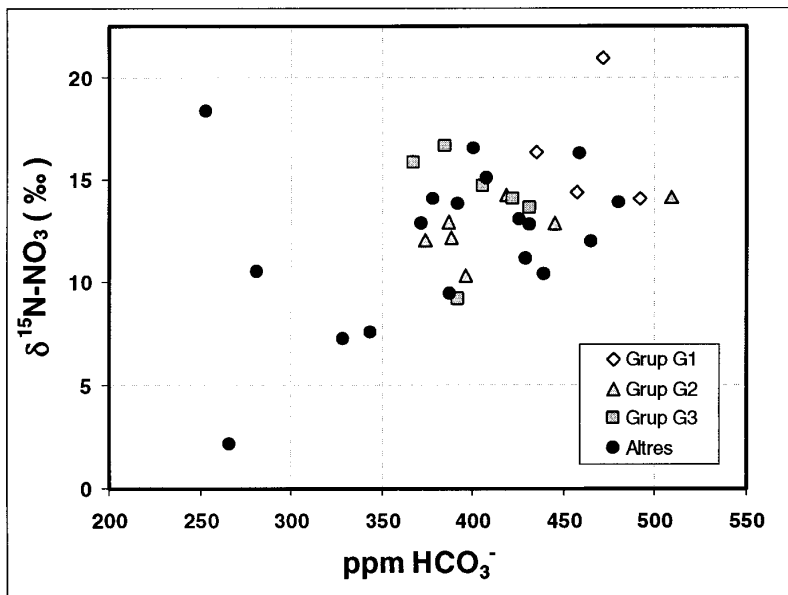


Figura 6. Concentració de  $\text{HCO}_3^-$  en ppm versus  $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ .

res) als camps i pastures. També s'ha observat la influència de fertilitzants inorgànics en tres de les mostres.

L'anàlisi isotòpica combinada amb l'anàlisi clàssica sembla indicar que es produeixen processos de desnitrificació per oxidació de pirites en alguns sectors concrets de l'àrea d'estudi però no en tota l'àrea estudiada. La desnitrificació per oxidació de la matèria orgànica no s'ha pogut identificar però tampoc descartar. La desnitrificació, bioremediació natural d'un aqüífer, no és prou generalitzada en aquesta àrea com per a descontaminar les aigües.

La continuació d'aquestes pràctiques contaminants, d'aplicació de purins en excés a la capacitat d'absorció del sistema, és un exemple de pràctica no sostenible que afecta un recurs, l'aigua subterrània, que resta inutilitzable per al consum humà per a vàries generacions futures. Per tal de reduir la contaminació de les aigües per nitrats procedents de fonts agràries a la comarca d'Osona caldria prendre mesures com la reducció dels caps de bestiar i el tractament dels purins.

## Agraïments

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología pel finançament rebut a partir del projecte HID99-0498 (Geoquímica isotòpica de N, O, Sr i S en aigües: la seva aplicació en la vigilància del medi ambient). Agraïm també la col·laboració dels Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de Barcelona.

## Bibliografia

- Andersen, L.J.; Kristiansen, H. 1984. Nitrate in groundwater and surface water related to land use in the Karup Basin, Denmark. *Env. Geol.* 5: 207-212.
- Aravena, R.; Robertson, W.D. 1998. Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in groundwater: case study from a large-flux septic system plume. *Ground Water* 36: 975-981.
- Atles Climàtic de Catalunya, 2001. <http://magno.uab.es/atles-climatic/>
- Böttcher, J.; Strelow, O.; Voerkelius, S.; Schmidt, H.-L. 1990. Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in sandy aquifer. *J. Hydrol.* 114: 413-424.
- Custodio, E.; Llamas, M.R. 1977. *Hidrología Subterránea*. 2ª edición, Ed. Omega, Barcelona.
- Fogg, G.E.; Rolston, D.E.; Decker, D.L.; Louie, D.T.; Grismer, M.E. 1998. Spatial variation in nitrogen isotope values beneath nitrate contamination sources. *Ground Water* 36: 418-426.
- Folch, R.; Franquesa, T.; Camarasa, J.M. 1984. *Vegetació. Història Natural dels Països Catalans*, Vol. 7. Editorial Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- Gormly, J.R.; Spalding, R.F. 1979. Sources and concentrations of Nitrate-Nitrogen in ground water of the Central Platte, Nebraska. *Ground Water* 17: 291-301.
- Kreitler, C.W.; Browning, L.A. 1983. Nitrate-isotope analysis of groundwater nitrate in carbonate aquifers: natural sources versus human pollution. *J. Hidrol.*, 61:, 285-301.
- Magee, P.N.; Barnes, J.M. 1956. The production of malignant hepatic tumor in the rat by feeding dimethyl-nitrosamine. *Br. J. Cancer* 10: 114-122.
- Pauwels, H.; Foucher, J.-C.; Kloppmann, W. 2000. Denitrification and mixing in a schist aquifer: Influence on water chemistry isotopes. *Chem. Geol.* 168: 307-324.
- Ronen, D.; Kanfi, Y.; Magaritz, M. 1983. Sources of nitrate in groundwater of the coastal plain of Israel. *Water Research* 17: 1499-1503.
- Silva, S.R.; Kendall, C.; Wilkinson, D.H.; Ziegler, A.C.; Chang, C.C.Y.; Avanzino, R.J. 2000. A new method for collection of nitrate from fresh water and analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. *J. Hydrol.* 228: 22-36.
- Spalding, R.F.; Exner, M.E. 1991. Nitrate contamination in the contiguous United States. In: Bogardi, I.; Kuselka, R.D. (eds.). *Nitrate Contamination*. Springer, Berlin., 13-48.
- Urquiola, M.M. 1994. Aplicación de indicadores geoquímicos al estudio de las facies anóxicas del Eoceno Superior de la cuenca de antepaís surpirenaica (sector oriental). Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- Vitòria, L.; Soler, A.; Grandia, F. 2000. Evolution of the chemical (NH<sub>4</sub>) and isotopic (δ<sup>15</sup>N-NH<sub>4</sub>) composition of pig manure in an experimental pit. *Proceedings del 40 International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management*.
- Vitòria, L.; Otero, N.; Canals, A.; Soler, A. 2004. Tracers of fertiliser pollution in soils and waters, part II: isotopic data (N, S, O, C, and Sr). *Environ. Sci. Technol.* (submitted).
- Wassenaar, L. 1995. Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford Aquifer using the isotopes of <sup>15</sup>N and <sup>18</sup>O in NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. *Appl. Geochem.*, 10: 391-405.