DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO BAIX TER - GAVARRES (GIRONA)

MAS-PLÀ, Josep*; BACH, Joan* y MONTANER, Jordi**

(*) Unitat d'Hidrogeologia. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 BELLATERRA
(**) GeoServei - Projectes i Gestió Ambiental, S.L. C/Impressor Oliva, 2b. 17005 GIRONA

RESUMEN

La presencia de nitratos, nitritos y amonio en las aguas subterráneas limita el uso de las mismas y condiciona los aportes de fertilizantes necesarios en agricultura. Este estudio presenta la distribución de los compuestos de nitrógeno en el sistema hidrogeológico del Baix Ter - Gavarres y se interpreta en relación con su dinámica hidrogeológica.

Palabras Clave: *Contaminación, nitrato, nitrito, amonio, recarga, Baix Ter, Gavarres.*

INTRODUCCIÓN

La presencia de concentraciones elevadas de compuestos de nitrógeno en los acuíferos supone una limitación al uso de los recursos hidrogeológicos, a la vez que condiciona las prácticas agrícolas correctas destinadas a optimizar la producción y a evitar la acumulación de fertilizantes nitrogenados en suelos y aguas. En este sentido, ya sea desde la perspectiva de la contaminación como desde la potencial reutilización de estos nutrientes en agricultura, el conocimiento de la distribución espacial de nitrato, nitrito y amonio, relacionado con la dinámica hidrogeológica regional, es necesario para la correcta gestión de las aguas subterráneas.

Este estudio pretende analizar la distribución espacial de los compuestos de nitrógeno en el sistema hidrogeológico del Baix Ter - Gavarres, con especial énfasis en su origen y en la continuidad de su distribución atendiendo a la hidrodinámica de este sistema. Finalmente, se describe la vulnerabilidad real de los acuíferos.

METODOLOGÍA

El presente trabajo reúne los datos piezométricos e hidroquímicos tomados en cuatro campañas de muestreo: junio 1996, junio 1997, septiembre 1997 y abril 1998, con 33, 29, 13 y 15 muestras, respectivamente. Los parámetros de pH, Eh, NO^{3-}, NO^{2-} y NH^{4+} se tomaron *in situ,* seleccionando aquellas captaciones que se hallaban en régimen de bombeo continuo. Los valores de pH y Eh se tomaron con un aparato ORION 960A. Los compuestos de nitrógeno se analizaron mediante un espectrofotómetro Windaus-LF2400 y los correspondientes tests analíticos.

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

La zona del Baix Ter - Gavarres se sitúa en el Baix Empordà (Girona) y comprende la

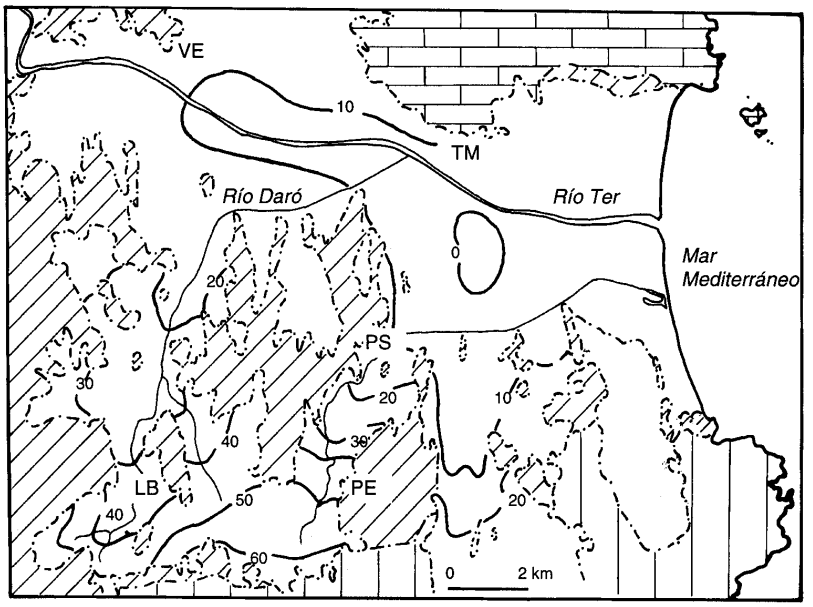

Figura 1.- Esquema geológico del sistema Baix Ter - Gavarres y piezometría de los acuíferos superficiales (juni 1996). Líneas isopiezas equidistantes cada 10 m. *Leyenda*: Traza vertical: Paleozoico de las Gavarres y macizo d Begur; enladrillado: Mesozoico del macizo del Montgrí; traza diagonal: Terciario; sin trama: Cuaternari *Poblaciones*: LB: La Bisbal, PE: Peralta, PS: Palau-Sator, TM: Torroella de Montgrí, VE: Verges.

llanura fluvio-deltaica del río Ter y su afluente el Daró, y las estribaciones septentrionales del macizo de las Gavarres, formadas por el basamento paleozoico y la cobertera paleógena, ambos intensamente fracturados (Figura l).

El perfil aluvial del río Ter presenta tres niveles hidrogeológicos relevantes: el nivel profundo constituido por gravas y arenas gruesas; el nivel intermedio, separado del anterior por un nivel acuitardo, está constituido por cuerpos lenticulares de arena en un nivel limoso-arenoso y se halla físicamente relacionado con el aluvial profundo del río Daró; el acuí-

fero superficial, con un espesor de 10 m, formado por materiales fluviales. Hacia el litoral, el nivel intermedio varía lateralmente hacia materiales más finos de prodelta y el nivel superior presenta un desarrollo de facies litorales subactual (Montaner et al., 1995).

En las Gavarres cabe destacar los bloques de cobertera paleógena, intensamente individualizados mediante fracturas, en los cuales destacan por su elevado rendimiento los niveles carbonatados de las Formaciones Girona i Rocacorba (Pallí, 1972) y algún tramo detrítico intermedio. A su vez, los materiales paleozoicos granitos, pizarras y esquistos, en general- actúan como reservorios de baja permeabilidad.

En base a los datos piezométricos e hidroquímicos (Mas-Plà, 1998), se propone un modelo de recarga del acuífero del Ter en el cual los aportes procedentes de las Gavarres juegan un papel esencial. Concretamente, los datos piezométricos muestran la relación efluente entre el acuífero superficial y el río Ter, así como la continuidad de los niveles entre los acuíferos aluviales superficial e intermedio del Ter y el Daró (Figura l). Los considerables y perdurables descensos piezométricos producidos por las captaciones del acuífero profundo impiden comparar su nivel con el de los acuíferos superiores en condiciones no influenciadas, a la vez que sugieren la existencia de un flujo vertical a través del acuitardo (Montaner et al., 1996).

Las captaciones situadas en materiales paleógenos presentan un nivel piezométrico superior al de los niveles aluviales contiguos, registrando diferencias de 6 m en la zona de Palau-Sator y 2.5 m en Peralta. Es oportuno citar el carácter artesiano ocasional de algunas de las captaciones ubicadas en materiales paleógenos. Ello sugiere la existencia de un flujo desde los acuíferos paleógenos de las Gavarres hacia los aluviales profundos del Ter y Daró, estableciéndose parte de su recarga a través de las fracturas y del contacto discordante entre ambos.

Los datos hidroquímicos son coherentes con este modelo hidrogeológico. Como ejemplo, la Figura 2a muestra las asociaciones de datos en función del acuífero explotado según las variables pH y Eh. Se observa la similitud entre las aguas pertenecientes a muestras de formaciones paleozoicas, paleógenas y del aluvial del Daró, lo cual se atribuye a la recarga común procedente de las Gavarres. Contrariamente, las muestras del aluvial del Ter presentan valores de pH superiores a las anteriores, aunque notablemente menor al de las aguas superficiales del río Ter.

Las dotaciones en isótopos estables indican más fehacientemente la procedencia de la recarga en el acuífero profundo del Ter. Sus aguas presentan valores de $^{18}0$ y D de -6.42 y -37.60‰, respectivamente. Los valores propios de las aguas en acuíferos paleógenos son de -6.35 y -36.50‰, y las del río Ter de -7.31 y -45.9‰. La similitud entre las

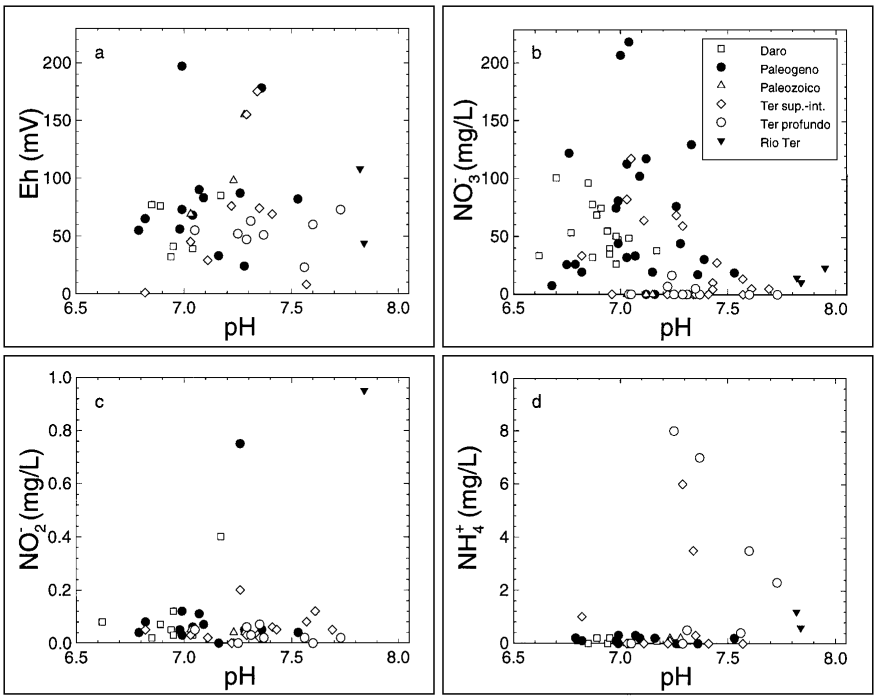

Figura 2.- Distribución del **a)** potencial redox (Eh), **b)** nitrato, **c)** nitrito y **d)** amonio en función del pH en los distintos acuíferos del sistema Baix Ter - Gavarres y en las aguas superficiales del río Ter.

dotaciones isotópicas del acuífero profundo del Ter y las del acuífero en formaciones paleógenas denota un elevado porcentaje de recarga procedente de estas últimas. Esta relación isotópica se repite invariablemente en los muestreos correspondientes a junio 1996, junio 1997 y septiembre 1997.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO

La totalidad de los datos de nitrato, nitrito y amonio correspondientes a las cuatro campañas realizadas se presentan en la Figura 2b,c,d en referencia al pH, dado que éste refleja diferencias entre los distintos acuíferos del sistema hidrogeológico estudiado (Figura 2a). El análisis preliminar de estos datos se muestra en la Tabla 1. Cabe mencionar la uniformidad de los valores de nitrato, nitrito y amonio en aquellos pozos muestreados en las cuatro campañas.

Tabla 1.- Análisis de los contenidos en nitrato, nitrito y amonio (mg/L).

	n	*Media*	*Desv. Std.*	*Min*	*Max*
Aluvial Daró					
Nitrato	16	54.7	22.7	26.2	100.5
Nitrito	8	0.10	0.13	0.02	0.40
Amonio	6	0.08	0.10	0.00	0.20
Paleógeno					
Nitrato	29	64.2	58.9	0.0	218.5
Nitrito	18	0.09	0.17	0.00	0.75
Amonio	18	0.14	0.12	0.00	0.40
Paleozoico					
Nitrato	7	0.7	1.8	0.0	5.0
Nitrito	5	0.03	0.02	0.00	0.05
Amonio	5	0.12	0.08	0.00	0.20
Aluvial super. e inter. Ter					
Nitrato	20	24.5	34.8	0.0	117.2
Nitrito	14	0.06	0.05	0.00	0.20
Amonio	10	1.13	2.02	0.00	6.00
Aluvial profundo Ter					
Nitrato	12	2.8	4.9	0.0	16.4
Nitrito	10	0.03	0.02	0.00	0.07
Amonio	8	2.71	3.21	0.00	8.00
Río Ter					
Nitrato	3	16.2	6.5	10.6	23.4
Nitrito	2	1.20	0.35	0.95	1.45
Amonio	2	0.90	0.42	0.60	1.20

La concentración de nitratos es notablemente superior en las muestras correspondientes al acuífero paleógeno, a pesar que la mayoría de ellas proceden de captaciones profundas en acuíferos confinados (Figura 2b). Los pozos con concentraciones más elevadas corresponden a aquellos situados en las proximidades de explotaciones ganaderas. El resto de puntos ofrece valores entre 10 y 50 mg/l, incluyendo los manantiales ubicados en materiales paleógenos y relacionados con flujos ascendentes a través de fallas. Concretamente, se han registrado concentraciones de 35 mg/l en las fuentes de Palau-Sator y Peralta (abril 1998).

Solamente una captación situada en el acuífero superficial del Ter ha mostrado concentraciones elevadas de nitratos (entre 70 y 117 mg/l), y ésta se halla afectada por una explotación ganadera. Los otros datos indican concentraciones inferiores a 20 mg/l y en numerosos casos nulas. El acuífero profundo del Ter se caracteriza por la ausencia de nitratos en disolución.

Las concentraciones de nitritos son habitualmente inferiores a 0. 1 mg/l y no se aprecia una distribución distinta en función de los acuíferos (Figura 2c). Los valores superiores a este límite corresponden a captaciones próximas a granjas; aunque en la

mayoría de los casos, esta proximidad sólo se traduce en valores superiores a la media, pero inferiores al límite aconsejable. Cabe destacar el elevado contenido en nitritos de las aguas superficiales del Ter (con un máximo de 1.45 mg/l, no representado en la Figura 2c).

Los contenidos de amonio son, en general, inferiores al límite aconsejable de 0.5 mg/l (Figura 2d). Como en el caso de los nitritos, ello es debido a que el nitrógeno se halla principalmente en forma de nitrato. No obstante, los acuíferos del Ter presentan algunas concentraciones de amonio elevadas, concretamente en el nivel profundo donde también hay ausencia de nitratos. En este nivel, el ambiente reductor indicado por un Eh bajo, altas concentraciones de sulfuro y existencia de metano como sugiere el olor de la muestra explicaría la sola presencia de amonio.

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS

En general, la distribución de los compuestos de nitrógeno muestra una diferenciación en la vulnerabilidad de los acuíferos muestreados. Asimismo, se observa una relación entre las concentraciones registradas en las aguas subterráneas y la densidad de explotaciones ganaderas (sector porcino y vacuno) ubicadas en sus zonas de recarga.

En el sistema hidrogeológico Baix Ter - Gavarres, las concentraciones más elevadas de nitrógeno aparecen en los acuíferos paleógenos del borde septentrional de las Gavarres. Frecuentemente las captaciones de granjas con profundidades entre 40 y 100 m presentan valores altos de nitratos. Admitiendo que la principal fuente local de nitrógeno son los purines, desconocemos el mecanismo de infiltración hasta los niveles profundos de explotación, señalando la recarga local inducida por el bombeo y posibles defectos de construcción del pozo como causas más probables. Los contenidos elevados de nitratos en estos acuíferos son pues representativos a escala puntual. No obstante, las concentraciones registradas en algunos manantiales y captaciones alejadas de granjas sugieren que los principales acuíferos paleógenos presentan una concentración de fondo entre 20 y 35 mg/l de nitrato.

Respecto a los acuíferos superficiales e intermedios, la zona del Ter no presenta una distribución de nitratos preocupante, salvo algún caso puntual. No ocurre lo mismo en el aluvial del río Daró, donde los nitratos superan los 30 mg/l incluso en aquellas captaciones alejadas de granjas.

El caso del acuífero profundo del Ter plantea el origen del nitrógeno presente en forma de amonio. Atendiendo al modelo hidrodinámica, apuntamos que el nitrógeno puede proceder de la recarga procedente del substrato paleógeno. Queda por dilucidar, sin embargo, el papel que pueden jugar las extensas zonas palustres próximas al litoral como origen de nutrientes y su posible infiltración hacia los niveles profundos relacionada con el comportamiento semiconfinado de este acuífero.

CONCLUSIONES

La presencia de compuestos de nitrógeno en el sistema hidrogeológico Baix Ter -

Gavarres se ha estudiado en base a las concentraciones de nitrato, nitrito y amonio distribuidas en los distintos acuíferos y a sus relaciones hidrogeológicas.

Este sistema presenta una relación hidrodinámica entre los distintos niveles aluviales de los ríos Ter y Daró y los acuíferos en formaciones paleógenas existentes en el borde de las Gavarres. Los datos hidroquímicos e isotópicos sugieren que éstos contribuyen a la recarga de los niveles aluviales y, en especial, del acuífero profundo del Ter.

Las elevadas concentraciones de nitratos tienen carácter puntual y se hallan relacionadas con la proximidad a explotaciones ganaderas. Sin embargo, existe una concentración de fondo elevada de nitratos en el acuífero aluvial del Daró y otra, de menor intensidad, en los acuíferos paleógenos. Contrariamente, los niveles de nitratos en los aluviales superficial e intermedio del Ter son prácticamente nulos. Cabe destacar la elevada concentración de amonio en el acuífero profundo del Ter, atribuida a las condiciones reductoras observadas.

Finalmente, se plantea la problemática del origen del nitrógeno en los acuíferos profundos, tanto en formaciones paleógenas como en el aluvial del Ter.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado mediante el proyecto CICYT AMB95-0867.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAS-PLÀ, J. (1998). *Aplicación de modelos de flujo y geoquímicos al estudio de la dinámica hidrogeológica de un acuífero litoral.* Informe proyecto CICYT AMB95-0867. Inédito.

MONTANER, J. J. SOLÁ Y N. TEIXIDOR (1995). La captación de las aguas subterráneas en el Baix Ter: Efectos sobre el medio acuífero y la calidad agronómico de las aguas de riego. *Tecnología del Agua,* 135: 46-50.

MONTANER, J., J. SOLÁ, J. MAS-PLÀ, N. TEIXIDOR Y J. BOIXADERA (1996). Diagnóstico hidrogeológico sintético de los acuíferos aluviales cuaternarios del Baix Ter y Baix Fluviá. *Actas de "Las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e internas de Cataluña ",* AIH-GE: 429-435.

PALLÍ, L. (1972). Estratigrafía del Paleógeno del Empordá y zonas limítrofes. Tesi Doctoral. Pub. Universidad Autónoma de Barcelona, 1, 338 pp., 2 mapas.