

VALORACIÓ DE L'IMPACTE DE LES ACTIVITATS AGRÍCOLES I RAMADERES SOBRE LA QUALITAT DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES A LA DEPRESSIÓ DE LA SELVA (GIRONA)

Montserrat Vehí¹, Joan Bach² i Carles Roqué¹

(1) Àrea de Geodinàmica Externa. Universitat de Girona, 17071 Girona.

(2) Unitat de Geodinàmica Externa i Hidrogeologia. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.

RESUM

A la depressió de la Selva la proporció de territori destinat a activitats agrícoles i ramaderes és considerable (28,5%). Aquests tipus d'activitats poden produir una contaminació per nitrats de les aigües subterrànies si la fertilització no és l'adequada i/o si no hi ha una bona gestió dels residus generats. En aquest treball es presenta una primera valoració de la possible incidència d'aquestes activitats en la qualitat química de les aigües subterrànies. En l'estudi realitzat s'han dut a terme anàlisis químiques d'aigua dels diferents aquífers, així com un inventari de les activitats agrícoles i ramaderes. S'han processat totes les dades mitjançant sistemes d'informació geogràfica i s'ha posat en evidència que les zones majoritàriament destinades a conreus i amb major producció de residus orgànics són les que presenten un nombre més alt de pous contaminats per nitrats, nitrits i/o amoni.

RESUMEN

En la depresión de la Selva (Girona) el porcentaje de territorio destinado a actividades agrícolas y ganaderas es considerable (28,5%). Estas actividades pueden producir la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas si la fertilización no es la adecuada y/o si no hay una buena gestión de los residuos generados. En este trabajo se presenta una primera valoración de la posible incidencia de estas actividades en la calidad química de las aguas subterráneas. En el estudio realizado se ha analizado el quimismo del agua de los diferentes acuíferos, así como un inventario de las actividades agrícolas y ganaderas. Se han procesado todos los datos mediante sistemas de información geográfica y se ha evidenciado que las zonas mayoritariamente destinadas a cultivos y con mayor producción de residuos orgánicos son las que presentan mayor número de pozos contaminados por nitrato, nitrito y/o amonio.

ABSTRACT

The Selva Basin (Girona, Spain) is an area in which an important part (28.5%) of the land is used for agricultural and stockbreeding activities. These kinds of activities can produce groundwater nitrate contamination if the fertilization is unsuitable and/or there is poor management of residues. In this paper, we present our preliminary evaluation of the possible incidence of these kinds of activities on the quality of groundwater. We ran a chemical analysis of the water and an inventory of crops and cattle-raising. We processed all the data using geographical information systems (GIS). We show that the areas most used for agricultural activities and those producing the largest quantity of organic waste are the areas with the highest number of wells contaminated by nitrate, nitrite or ammonia.

KEYWORDS: agricultural and stockbreeding activities, geographical information systems, Groundwater contamination, Nitrogen.

1. INTRODUCCIÓ

La depressió de la Selva se situa a la part sud-est de les comarques gironines. És una de les zones deprimides que formen part de la Depressió Prelitoral Catalana. Els límits de la zona d'estudi coincideixen amb els de les conques de l'Onyar i de la riera de Santa Coloma. L'estructura tectònica queda delimitada pel moviment d'un conjunt de falles orientades ENE-OSO que actuen conjugades amb un altre sistema de fractures de direcció NO-SE. Aquestes falles són, a grans trets, una continuació de les que delimiten la fossa del Vallès i el llinar de Maçanet. En aquesta zona afloren un ampli ventall de materials (figura 1): el sòcol i els massissos que envolten la fossa estan constituïts per roques del paleozoic, essencialment plutòniques i hipabissals i, en menor proporció, metasediments afectats per metamorfisme de contacte sovint intens; la fossa pròpiament dita està reblerta de sediments detrítics neògens i quaternaris aportats pels cursos fluviotorrencials provinents dels massissos que l'encercien; finalment, als marges de la depressió es van produir importants manifestacions volcàniques, sobretot durant el neogen, lligades a la tectònica distensiva.

En conjunt es tracta d'una zona bastant poblada i molt afectada per l'acció antròpica, sobretot dominada per activitats agrícoles i ramaderes. L'ocupació del territori és bàsicament forestal (61,7 %), però la segona activitat més important és l'agrícola, amb un 28,5 % del territori ocupat per conreus, en els quals se solen alternar les explotacions ramaderes. Aquest tipus d'activitat és susceptible d'alterar la qualitat química de l'aigua subterrània i dels sòls, la qual cosa suposa per al medi un risc induït. La predicció d'aquest risc és viable tècnicament, i per a això cal fer inventaris dels focus contaminants i estudis de vulnerabilitat a partir dels quals es puguin adoptar mesures preventives, com és la depuració d'aigües residuals (Ayala, 1987).

L'interès actual per rendibilitzar al màxim la producció agrícola i ramadera ha portat la població a incrementar l'ús de fertilitzants i pesticides, així com el reg. L'ús de fertilitzants minerals ha contribuït a augmentar el rendiment dels conreus, però el seu consum ha crescut desmesuradament. La dosi de fertilitzants que necessita un sòl depèn de les necessitats nutricionals del conreu que es vol sembrar, però cal considerar també l'estat del sòl, la climatologia i la forma química del fertilitzant que s'aplica. Tanmateix, aquests altres factors rarament són considerats i, per tant, no tota la quantitat de nutrients que s'apliquen al sòl són assimilats pel conreu, sinó que una part queda retinguda al sòl i l'altra es perd en el medi. Aquestes pèrdues són precisament la causa de la contaminació d'aigües continentals, ja que la majoria d'adobs minerals són solubles (Felipó i Garau, 1987).

D'altra banda, la intensificació i la industrialització de la producció animal han fet augmentar enormement el volum de residus derivats de l'activitat ramadera. Hi ha moltes zones on ha augmentat molt el nombre d'animals respecte a la superfície de sòl de què es disposa per abocar-hi els fems, la qual cosa provoca un problema per eliminar-los. Tradicionalment els fems han estat utilitzats com a adob natural, però en zones on abunden explotacions ramaderes és corrent aplicar purins als conreus sense cap mena d'assessorament tècnic. És a dir, l'aplicació es fa segons la necessitat de buidar les fosses i sense tenir en compte ni la quantitat, que hauria de ser determinada en funció de la riquesa en elements fertilitzants, ni l'època d'aplicació,

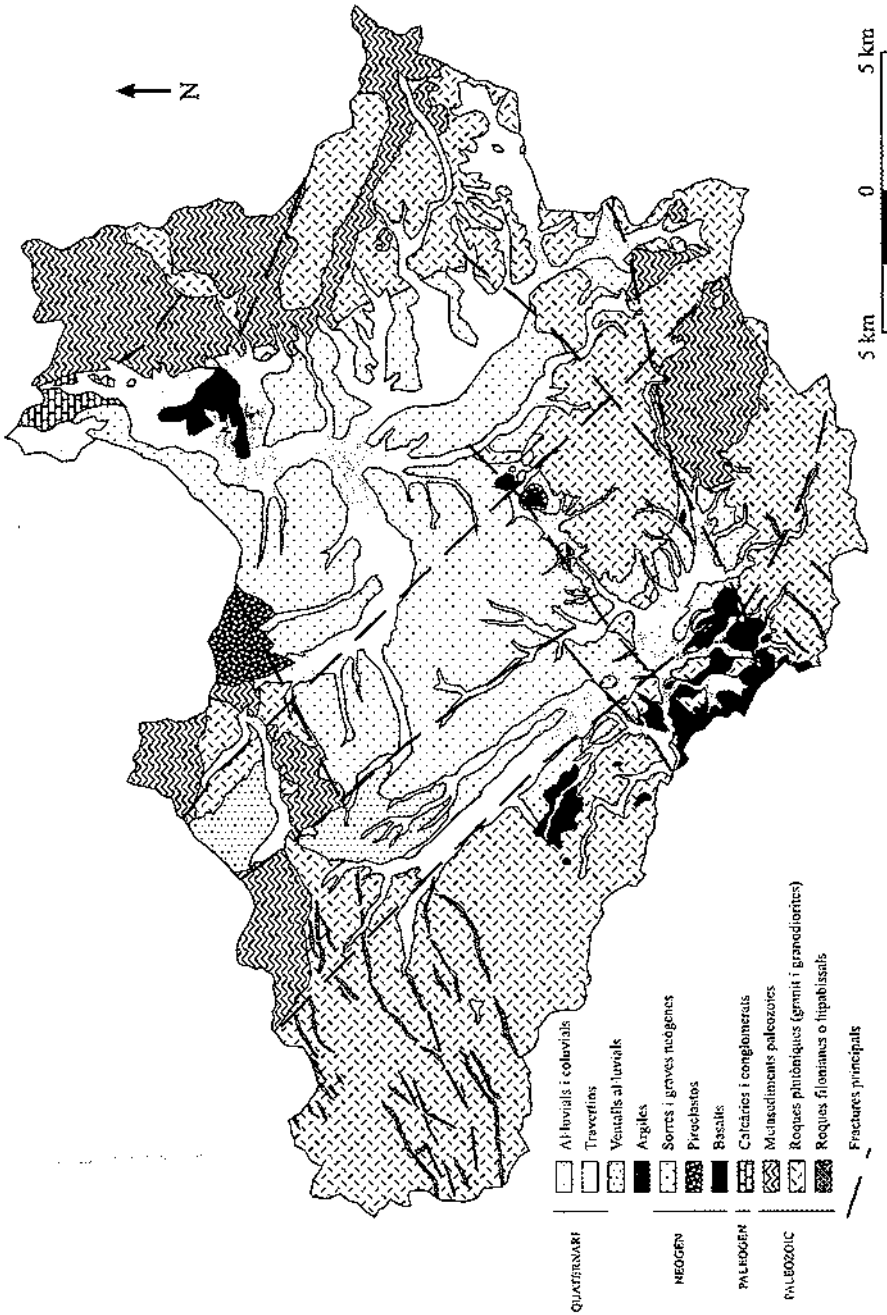


Figura 1. Mapa geològic de la zona estudiada

la qual cosa pot ser causa d'efectes desfavorables al sòl i als conreus (Felipó i Garau, 1987). Això pot provocar un deteriorament del sòl i que no pugui depurar naturalment tot l'adob que se li aboqui i passi així a provocar un increment de substàncies nocives a l'aigua subterrània.

Finalment, a les zones de producció agrícola intensiva ha tingut lloc un increment de les necessitats de reg, que pot generar una disminució de la quantitat i la qualitat de l'aigua, i això, tenint en compte que a la zona s'utilitzen majoritàriament aigües subterrànies, pot afectar els aqüífers.

2. METODOLOGIA

Per poder fer una valoració de la possible incidència d'aquest tipus d'activitats a la zona es va dur a terme un treball d'inventari de les activitats agrícoles i ramaderes i es van recollir i analitzar mostres d'aigua de punts de tota la zona per valorar la qualitat actual de les aigües.

Per fer l'inventari dels tipus de conreus que es donen a la zona i el tipus i la quantitat de bestiar que es cria, es van recollir dades a partir d'informació del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP) de la Generalitat de Catalunya. Es van obtenir les dades declarades pels propietaris l'any 1999 del nombre d'hectàrees per municipi que havien estat dedicades a conreus, prats i pastures, superfícies forestals. A partir d'aquí es va seleccionar la informació detallada dels conreus dividida en dos grans blocs: conreus herbacis, subdividits en cereals, lleguminoses, tubercles per a consum humà, conreus industrials, conreus farratgers i hortalisses; i conreus llenyosos dividits en fruiters de secà i de regadiu. Pel que fa a les activitats ramaderes, es va inventariar el nombre d'explotacions ramaderes per municipi i les places de bestiar que tenien permesa en cada explotació el mateix any, organitzades segons que fossin bestiar porcí, boví i oví. Tota aquesta informació es va entrar a una base de dades informàtica. El tractament de les dades es va fer a àmbit de municipis perquè, per motius de confidencialitat, aquesta era la manera com el DARP facilitava la informació.

D'altra banda, des de finals del 1997 fins a començaments del 1999, es va fer un treball de camp d'inventari de punts d'aigua, en el qual es van recollir dades i es van georeferenciar 329 punts, dels quals es van recollir mostres d'aigua en 111 pous. Un màxim de tres dies després de la data de recollida de cada mostra es van fer anàlisis al laboratori, per determinar les característiques químiques d'aquesta aigua. Se'n va mesurar l'alcalinitat, clorurs, oxidabilitat al permanganat, calci, magnesi, sodi, potassi, nitrats, nitrits, amoni, sulfats i fosfats. Totes aquestes dades es van incorporar a una base de dades informàtica.

Tota aquesta informació va ser incorporada a sistemes d'informació geogràfica (SIG), concretament en el programa Arcview d'Esri. Es va escollir aquest programa per la seva simplicitat, facilitat d'entrada de dades i agilitat en el processament. Arcview és un programa que permet visualitzar, explorar, consultar i analitzar dades de forma espacial. La introducció de tot aquest conjunt d'informació al SIG va permetre visualitzar les zones amb possible excedent de nitrogen, procedent de les activitats agrícoles i ramaderes, i la qualitat química dels diferents punts d'aigua subterrània en un mateix mapa.

3. CARACTERÍSTIQUES DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES

3.1. Aqüífers principals

Les característiques litològiques de la depressió ens marquen una clara diferència entre materials sedimentaris i el sòcol paleozoic, que determinaran el diferent comportament hidrogeològic dels materials. La presència de materials volcànics en alguns punts de la zona (Maçanet, Riudarenes, Sant Dalmai, Caldes) permet l'existència d'uns altres sistemes aqüífers en el basalt fracturat o el lapilli.

A la depressió de la Selva és difícil diferenciar els materials quaternaris, bàsicament al·luvials i de poca potència, dels materials neògens, bàsicament sorrencs amb intercalacions més o menys argiloses. A partir de l'inventari de 329 punts d'aigua, la cartografia geològica i els sondatges elèctrics verticals realitzats en treballs anteriors (DGOH, 1971; Albert et al., 1979; Pous et al., 1990), es va determinar que a la zona es poden definir cinc aqüífers principals, alguns dels quals amb subsistemes ben diferenciats, que són:

- Aqüífer quaternari, format per materials al·luvials quaternaris, majoritàriament sorres i graves. Se'n distingeixen tres subsistemes: l'al·luvial de la riera de Santa Coloma, l'al·luvial de l'Onyar i l'al·luvial del Ter. Té poc gruix, oscil·la entre un màxim de 25 m al Ter al nord de la zona, fins a un mínim de 2 m en la sèquia de Sils, a la riera de Santa Coloma.
- Aqüífer volcànic explosiu, format per materials piroclàstics procedents del volcà de la Crosa de Sant Dalmai. La seva espessor varia entre 10 i 25 m.
- Aqüífer miopliocè, en el qual es diferencien dos subsistemes: sedimentari i volcànic efusiu. El primer està format per graves amb matriu sorrenca arcòsica. Té un gruix molt variable, de 15 a 180 m. El subsistema volcànic efusiu és el que queda representat per les colades basàltiques de Maçanet de la Selva, de Vidreres i de Caldes. Té una espessor màxima de 86 m.
- Aqüífer granit alterat-sauló, que és el que configura el tram de sauló que sovint es troba entre el sòcol granític inalterat i els materials argilosos i sorrencs sedimentaris recents. El gruix és molt variable, però en general varia entre 5 i 45 m.
- Aqüífer paleozoic-granits de la Selva, format pel granit fracturat, sovint difícil de diferenciar del tram de sauló. Es troba en tota la zona d'estudi però a profunditats molt variables, des de nivells aflorants fins a profunditats de més de 190 m.

3.2. Hidroquímica

Les anàlisis químiques realitzades a les 111 mostres d'aigua subterrània mostren que les aigües de tots els sistemes aqüífers són molt similars i en general es poden definir com a magnèsiques i generalment bicarbonatades. Hi ha algun cas particular en què les mostres es poden classificar de mixtes entre bicarbonatades i clorurades. Les aigües de l'aqüífer volcànic explosiu es caracteritzen pel fet de ser lleugerament sulfatades.

Malgrat les similituds entre aqüífers, es pot destacar el paleozoic-granits de la Selva com el de les aigües més mineralitzades. En tots els casos hi ha valors alts de magnesi, especialment en sistemes aqüífers més profunds, la qual cosa indica que no es tracta de contaminació, sinó que probablement estan relacionats amb la mineralogia dels materials (taula 1).

AQUÍFER	C.F.	PH	DQO*	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Cl	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺
Quaternari al·luvial	mín.	6,7	0,86	139,08	0	0,5	0,03	0,005	39,8	11,6	19,7	12,8	Inf, 0,3
	màx.	8	8,5	930,71	0	76,8	0,61	3,446	302,9	127,0	151,0	130,7	16,79
Volcànic explosiu	mín.	7,1	0,0631	145,42	0	3,52	0,02	0,005	25,7	10,0	67,7	43,8	Inf, 0,3
	màx.	7,7	10,94	474,07	0	155,8	0,22	0,790	134,0	106,4	144,8	66,1	10,7
Miopliocè sedimentari	mín.	6,7	0	431	0	0,1	145,4	0	3,5	7,0	19,0	25,7	Inf, 0,3
	màx.	8,3	17,2	456,62	9	442,9	1,06	1,200	725,5	106,4	294,7	249,6	49,05
Miopliocè volcànic	mín.	6,96	0,625	219,6	0	1	0,01	0,005	47,8	10,0	64,8	19,1	Inf, 0,3
	màx.	7,8	3,1	526,43	0	44,54	0,02	0,147	324,8	104,3	123,8	48,6	2,3
Granit alterat - sauló	mín.	6,8	0,375	142,5	0	0,5	0,01	0,005	29,9	27,0	65,6	15,9	Inf, 0,3
	màx.	8,1	8,4	495,32	0	179,17	1,20	0,770	535,7	81,0	227	224,9	6,14
Paleozoic-granits de la Selva	mín.	135,5	0	75,6	0	1,0	0,01	0,005	29,9	29,8	34,0	9,5	Inf, 0,3
	màx.	1873	9,64	1276,7	0	334,8	1,21	4,710	697,3	137,6	416,2	238,4	24,3

* = Oxidabilitat al permanganat potàssic

Taula 1. Valors màxims i mínims dels paràmetres químics majoritaris

De les tres formes nitrogenades analitzades, l'ió NO_3^- és el que presenta concentracions més elevades i supera en un 36,5 % dels punts analitzats els 50 mg/l, límit permès per la legislació vigent. L'ió NO_2^- és el següent en quantitat de punts amb valors alts, concretament més d'una quarta part supera el 0,1 mg/l. El catió NH_4^+ és on s'han analitzat menys mostres amb continguts elevats: s'han superat els 0,5 mg/l en un 11,38% dels casos. El sistema aquífers més superficials (al·luvials quaternaris i miopliocens) són on hi ha valors més alts de nitrats, nitrats i amoni. La important distribució superficial d'aquests nivells més contaminats ha condicionat que es mesuressin concentracions superiors a 50 mg/l de nitrat a tota la zona d'estudi, i són els municipis de Vilobí, Cassà de la Selva i Llagostera aquells en què se n'han detectat en més quantitat. D'altra banda, el sector amb menor nombre de punts amb concentracions per sobre la legislació vigent (Reglamentació tècnico-sanitària, RTS) se situen al sud, a la conca de la riera de Santa Coloma.

4. ACTIVITATS AGRÍCOLES

L'activitat agrícola es concentra a les parts més planes de la zona d'estudi, i és molt menor als relleus elevats de l'entorn de la depressió. Concretament, els municipis amb una major extensió de conreus són Cassà de la Selva, Caldes de Malavella, Maçanet i Sils, tot i que proporcionalment a l'extensió total de terme municipal són molt importants les zones destinades a conreus d'altres pobles com Campllong, Riudellots i Vilobí d'Onyar. El conreu més abundant és el de cereals i conreus farratgers. Destaca una important producció de fruiters a Brunyola, municipi on els conreus no són abundants però hi ha una explotació intensiva d'avellaners que ocupa 662 ha. La resta de conreus ocupen extensions molt més reduïdes, de poc més de 10 ha en cada municipi, excepte els conreus industrials, on hi ha algunes zones amb producció d'aquest tipus de cultiu en extensions més grans com Vilobí (169 ha) o Aiguaviva (95 ha). Pel que fa al tipus concret, destaca l'alta producció d'ordi i raigràs (19,2% i el 15,9% de la producció), seguides del blat, blat de moro, cereals d'hivern, blat de moro farratger, alfals de secà, gira-sol i avellaner (taula 2). La majoria de conreus es distribueixen proporcionalment en tots els municipis de la zona, exceptuant el conreu d'avellana, que es concentra a Brunyola i a dues explotacions de Santa Coloma de Farners i Campllong i una de molt petita de Vilobí.

En una primera aproximació, si es comparen les dades obtingudes en les anàlisis químiques i les zones més o menys destinades a conreus, s'observa una certa relació. La distribució territorial d'aquests punts és dispersa, amb un increment dels punts contaminats a les zones on l'ocupació de terreny agrícola supera el 40% i, a més, on es pot observar que les úniques zones on no s'han detectat valors superiors a 50 mg/l són aquelles amb una ocupació de terreny per a conreus de menys de 20%. En conjunt podem afirmar que, malgrat que no es pot quantificar exactament, la major activitat agrícola d'una zona pot tenir una incidència negativa en la qualitat de l'aigua subterrània.

Conreu	Hectàrees	% terreny dedicat a conreu
Blat	1892	9,9
Ordi	3654	19,2
Blat de moro	1406	7,4
Gira-sol	999	5,2
Alfals secà	1093	5,7
Avellançr	915	4,8
Cereals d'hivern	1285	6,7
Blat de moro farratger	1113	5,8
Raigràs	3025	15,9
Altres (sobretot sorgo, gramínies i fruiters)	3684	19,32

Taula 2. Taula de les hectàrees totals ocupades pels principals tipus de conreu l'any 1999

Cal tenir en compte que, per augmentar la fertilitat natural dels sòls, és habitual l'ús de fertilitzants químics que contenen nitrogen, fòsfor i potassi. L'aportació excessiva d'un element pot resultar perjudicial per a les plantes, especialment si hi ha deficiència d'un altre nutrient, i en alguns casos pot ocasionar pèrdues per rentat i problemes de contaminació de les aigües subterrànies (Thompson i Troeh, 1988). En la zona estudiada, l'únic contaminant present a l'aigua subterrània dels que se n'ha fet analítica i que s'ha detectat que pot provenir de fertilitzants és el nitrat; per aquest motiu s'ha centrat l'estudi de l'aportació i extracció de nitrogen en els dos cultius que, com ja s'ha comentat, són majoritaris: l'ordi i el raigràs.

Les dades de quantitat de N necessària per a una fertilització òptima, així com la quantitat de nitrogen extret, varien molt segons les fonts d'informació (Felipó i Garau, 1987; Roselló i Hidalgo, 1978; Prats, 1995). En el cas de l'aportació, depèn en gran mesura de cada agricultor en particular, la qual cosa en dificulta la valoració. L'estimació del nitrogen extret per cada conreu és més viable, tot i les diferències entre autors, com s'exposarà més endavant quan es mostrin els càlculs per a l'obtenció del possible excedent de nitrogen.

5. ACTIVITATS RAMADERES

L'activitat ramadera a la depressió de la Selva es concentra majoritàriament a la part plana, coincidint amb les zones on predomina també l'activitat agrícola, i en molts casos es donen explotacions agrícoles i ramaderes alhora. Per a l'estudi de les característiques d'aquestes activitats i del tipus de bestiar que s'hi cria es va recollir informació al DARP, en l'últim inventari que tenien fet, que corresponia als permi-

sos de l'any 1999. Igual que en les dades d'agricultura, les dades de cada explotació es consideren confidencials i, per tant, només es va obtenir la informació per municipis. Les dades obtingudes van ser les places de bestiar i el nombre d'explotacions. Aquestes dades, però, no impliquen que la totalitat de places estigui ocupada, sinó que els caps reals de bestiar són menys que els que indica la capacitat. Per poder estimar els caps de bestiar actual es va treballar amb les dades d'ocupació dels últims anys, i es va arribar a la conclusió que les places de bestiar porcí ocupades acostumen a ser el 90% de les disponibles, les de bestiar boví aproximadament un 75% i les d'oví s'ocupen totalment.

Hi ha una gran diferència per municipis, sobretot pel que fa al tipus d'explotació. Mentre que en municipis com Maçanet, Campllong o Riudellots hi ha moltes explotacions ramaderes, però de petites dimensions, altres pobles, com Cassà de la Selva, Vilobí o Llagostera, tenen moltes menys explotacions però de molta més capacitat i, per tant, amb un nombre total de bestiar més elevat. Llagostera, per exemple, és un municipi únicament amb divuit explotacions, però amb un nombre total de caps de bestiar de 18.294, la meitat dels quals són porcs d'engreix (taula 3) sense relació amb cap activitat agrícola, la qual cosa provoca un excedent de purins important. Per sectors, el tipus de bestiar més criat a la zona són els porcs d'engreix, el qual representa pràcticament la meitat del total, seguit per les ovelles i les vaques d'engreix, tot i que amb molta menys quantitat.

La producció ramadera és una font generadora d'elevades quantitats de materials orgànics (fems i purins) i inorgànics (deixalles) que cal gestionar correctament. Prat (1995) preveia que la problemàtica associada a la gestió dels materials d'origen ramader s'agreuaria els anys vinents, a causa de tres factors principals:

- L'explotació ramadera s'ha anat deslligant progressivament de l'explotació agrícola de manera que cada vegada són més nombroses les explotacions sense una base territorial suficient per reutilitzar els fems i els purins produïts a l'explotació.
- El cens ramader s'ha incrementat notablement els darrers anys (sobretot el de bestiar porcí), mentre que la superfície agrària útil ha anat disminuint per diferents motius socials o polítics (pressió urbanística i d'infraestructures, abandonament de terres marginals, subvencions a l'abandonament de terres, etc.). Aquestes qüestions fan preveure que la recàrrega ramadera augmentarà.
- La dimensió de les explotacions ramaderes (especialment les porcines) ha anat augmentant considerablement, de manera que l'explotació pecuària es pot equiparar a una indústria pel que fa a la problemàtica de gestió de residus.

En total, a la zona d'estudi s'han calculat 116.211 caps de bestiar per a l'any 1999 (taula 4). A partir de les dades de producció aproximada de fems i de purins per cada tipus de bestiar de Prats (1995), s'ha calculat un volum de purins anuals de 405.855 m³ i una quantitat de fems d'1.854.654 tones anuals. A partir de les taules de concentració de nitrogen per m³ de purí de Prats, podem afirmar que aquest volum de purins significa un valor mitjà anual que varia d'un màxim de 135 kg de N/ha a un mínim de 78 kg de N/ha.

MUNICIPI	Nombre explotacions	CAPS DE BESTIAR										% caps bestiar respecte al total
		TRUGFS	PORCS D'ENGREIX	VAQUES LLET	VAQUES CARN	VAQUES D'ENGREIX	OVELLES	CABRES	TOTALS			
Aiguaviva	59	626	2101	617	173	461	214	0	4191	3,6		
Bescanó	55	608	1928	677	65	1538	940	0	5756	5,0		
Campplong	85	490	3443	584	170	217	15	0	4917	4,3		
Cassà de la Selva	18	1019	7493	1445	209	2321	1459	15	13960	12,0		
Llambilles	10	271	4410	44	51	141	149	25	5090	4,4		
Llagostera	23	1485	9009	1284	163	3478	2868	7	18294	15,7		
Sant Andreu Salau	7	1085	1980	116	4	1262	738	0	5184	4,5		
Brinyola	13	72	6030	20	50	1174	862	102	8310	7,1		
Caldes de Malavella	39	182	1600	513	77	1316	2115	25	5828	5,0		
Maçanet	99	582	3941	734	32	659	2141	17	8106	7,0		
Riudarenes	62	428	2410	189	7	43	1208	19	4303	3,7		
Vilobí	18	980	7434	909	118	1700	2698	228	14067	12,11		
Riudellots de la Selva	76	629	2845	650	11	890	1150	29	6204	5,3		
Altres municipis	167	1429	4999	823	95	1277	2662	31	12001	10,32		
Totals	743	10030	60027	8664	1245	16528	19219	498	116211			

Taula 3. Dades de les explotacions i el nombre de bestiar dels municipis amb més activitat ramadera l'any 1999, segons dades del DARP

	Nombre de caps	m ³ purins anuals	Tones de fems anuals
Truges	10.030	51.251	768.769
Porcs d'engreix	60.027	142.415	854.489
Vaques de llet	8.664	126.494	158.118
Vaques de carn	1.245	7.271	8.634
Vaques d'engreix	16.528	78.424	60.326
Ovelles	19.219	0	4.209
Cabres	498	0	109
Total	116.211	405.855	1.854.654

Taula 4. Nombre de caps de bestiar de cada tipus l'any 1999 segons el DARP, amb la quantitat anual de purins i fems que generen

Els excedents de nitrogen al sòl poden generar la lixiviació de part d'aquest nitrogen, que pot acabar arribant a l'aigua subterrània i provocar la contaminació per nitrats (Keeney, 1986; Foster, 1987). En una primera aproximació, si comparem les dades analítiques de les aigües subterrànies i la seva distribució geogràfica, s'observa que en gairebé totes les zones hi ha punts amb concentracions elevades de nitrats. Malgrat això, cal destacar que la majoria de pous amb continguts superiors a 50 mg/l es troben als municipis on hi ha més de 10.000 caps de bestiar. També s'observen diferències entre la conca de la Santa Coloma i la de l'Onyar. En realitat, l'única zona on no s'han trobat pous contaminats per nitrats és a la capçalera de la riera de Santa Coloma, on hi ha molts menys caps de bestiar, concretament als termes municipals de Riudarenes i Santa Coloma de Farners.

6. IMPACTE DE LES ACTIVITATS AGRÍCOLES I RAMADERES SOBRE LA QUALITAT DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES

6.1. Excedents de nitrogen

Les pràctiques ramaderes, si es realitzen en equilibri amb els conreus agrícoles, poden donar molta riquesa a una zona i no provocar danys ambientals. El problema es produeix quan augmenta molt la producció ramadera i la superfície agrícola on es poden abocar els residus orgànics no augmenta o fins i tot disminueix. A la zona d'estudi la superfície agrícola es manté més o menys constant en aquestes últimes dècades; ara bé, les explotacions ramaderes, tot i que van patir un retrocés en la dècada dels vuitanta, sobretot pel que fa a la producció de bestiar boví de llet, a l'última dècada hi ha hagut un increment progressiu de les granges de porcs d'engreix. Segons fonts de la delegació de Girona del Departament de Medi Ambient, totes les granges instal·lades al Gironès i la Selva han declarat suficient base territorial per aplicar correctament els purins que pro-

dueixen; ara bé, cal destacar que no es fan controls per comprovar-ne el compliment. Segons aquesta situació, s'ha d'analitzar globalment l'estat actual de l'aigua subterrània i el nivell d'equilibri actual entre la gènesi de purins i la superfície agrícola.

Per poder valorar si concentracions altes d'algunes formes nitrogenades (nitrat, nitrit o amoni) són degudes a males pràctiques agrícoles o ramaderes, cal analitzar el conjunt d'entrades i sortides de nitrogen del sistema. Les entrades són bàsicament tres: nitrogen atmosfèric, fertilitzants nitrogenats i residus orgànics; i les sortides es produïrien per absorció de les plantes, volatilització o desnitrificació en el sòl. No ha estat possible comptabilitzar el total d'entrades i sortides sovint per manca d'informació, com per exemple la poca fiabilitat de les dades de quantitats i tipus de fertilitzants químics emprats. Per aquest motiu la recerca s'ha centrat a intentar calcular les possibles entrades per residus orgànics i les sortides per absorció de nitrogen en els conreus.

Per comptabilitzar les entrades procedents de residus orgànics es va calcular el nitrogen generat segons el tipus de bestiar a partir de dues taules: la relació de l/purí/cap/dia de Prats (1995) i la composició química mitjana de purins en funció del tipus d'explotació de diferents autors recopilades per Prats (1995). Es van utilitzar aquests valors perquè el detall de les taules permetia una òptima integració a la base de dades detallada dels tipus de bestiar per municipi (taula 3), i per tant un càlcul més precís. Pel que fa a l'estimació, l'absorció de nitrogen, el conjunt de taules i variables poden variar molt segons l'autor, com s'ha comentat anteriorment. Per aquest motiu es va decidir d'aplicar sempre la mateixa taula d'equivalències tipus de conreu-extracció de nitrogen, de manera que el valor absolut que s'obté probablement no és exactament el real, però les magnituds relatives entre zones sí que seran certes, ja que s'haurà aplicat el mateix criteri. Es va optar per les taules de Prats (1995) i Thompson i Troeh (1988), ja que eren les que presentaven més similituds en els resultats. Preferentment es va utilitzar la primera, ja que, en el cas dels càlculs referents al bestiar, s'havien escollit les dades presentades per aquest autor, i que són en general els conreus més representatius de Catalunya i, per tant, oferien dades de gran part dels cultius que es donen a la zona. Quan es donava el cas d'algun tipus de conreu dels majoritaris, com per exemple l'alfals de secà, en el qual aquest autor no havia facilitat les dades d'absorció, es van aplicar els valors donats per la segona referència.

Utilitzant la base de dades de conreus, on es disposava de tot el detall de nombre d'hectàrees destinades a cada tipus, i la d'activitats ramaderes, que també tenia els tipus de bestiar perfectament detallats, es van calcular les quantitats absorbides per cada conreu segons les hectàrees que s'hi destinen en cada municipi. Alhora, es va calcular la quantitat de nitrogen procedent de purins generats per cada tipus de bestiar, i es va fer una relació amb les hectàrees de conreu disponibles en el municipi en què està instal·lada l'explotació ramadera, de manera que s'obté la quantitat de nitrogen per hectàrea que potencialment pot ser abocada (Bach, 2000). Establint la relació entre els dos resultats, s'obté un valor de quantitat relativa excedentària o deficitària anual (taula 5).

	kg N absorbit per les plantes / ha	kg N generat pels residus orgànics / ha	Excedent kg N per ha
Aiguaviva	26,9	108,1	81,3
Bescanó	13,3	100,0	86,7
Campllong	60,1	117,3	57,1
Cassà de la Selva	31,1	109,5	78,4
Fornells	27,4	18,6	-8,8
Llambilles	13,5	158,7	145,2
Llagostera	17,4	158,5	141,1
Quart	6,2	79,1	73,0
Salt	14,4	62,6	48,2
Sant Andreu Salou	36,6	194,5	157,9
Vilablareix	31,4	80,9	49,5
Brunyola	3,4	115,2	111,8
Caldes de Malavella	20,2	58,0	37,7
Maçanet	15,6	106,7	91,1
Riudarenes	10,5	74,6	64,0
Santa Coloma de Farners	1,0	12,5	11,5
Sils	25,6	41,8	16,1
Vidreres	12,4	34,5	22,2
Vilobí	37,2	100,8	63,5
Riudellots de la Selva	47,2	120,4	73,1

Taula 5. Taula de valors relatius de l'excedent anual de N per hectàrea segons el municipi

Dels càlculs realitzats se'n deriva que únicament els conreus del municipi de Fornells de la Selva serien deficitaris de N, i s'obtindria un excedent generalitzat en la resta de municipis, sobretot Sant Andreu Salou, Llambilles i Llagostera. En el conjunt del territori, el resultat final, tot i els possibles errors en funció de les taules escollides, és d'un nitrogen absorbit mitjà de 22,6 kg/ha anuals i una absorció mitjana de 87,14 kg/ha anuals. Si tenim en compte que en les zones agrícoles es practica la fertilització química, a més de l'orgànica, sembla possible que hi hagi un excedent de nitrogen al sòl, el qual pot ser mobilitzat i incorporar-se a l'aigua subterrània.

6.2. Nitrogen present a l'aigua subterrània

Fins al moment només s'ha parlat de les concentracions de nitrats altes com a resultat de la contaminació per les activitats agrícoles i ramaderes, però en el cicle del nitrogen hi ha dues formes prèvies que són igualment nocives si es troben en concentracions altes, com són els nitrats i l'amoni. La part del cicle en què la matèria orgànica es descompon i allibera ions inorgànics s'anomena *mineralització*. Aquest fenomen té lloc gràcies a l'acció de diferents tipus de microorganismes. La primera

fase del procés de mineralització és l'amonificació; la realitzen els bacteris amonificants, que fixen el nitrogen orgànic i el converteixen en ió amoni (NH_4^+). Els processos de nitrificació i desnitrificació completen el cicle, els bacteris nitrificants (nitrosomes i nitrobàcter) participen en l'oxidació de l'ió amoni en dos estadis, en què l'amoníac passa a nitrit, el qual passa ràpidament a nitrat. Els bacteris desnitrificants, d'altra banda, produeixen l'efecte contrari: en absència d'oxigen redueixen el nitrat a nitrogen (Canter, 1997).

De les tres formes nitrogenades analitzades, l'ió NO_3^- és el que presenta concentracions més elevades: com ja s'ha dit anteriorment, un 36,5% dels punts analitzats supera els 50 mg/l. L'ió NO_2^- és el següent en quantitat de punts amb concentracions altes, concretament més d'una quarta part. El catió NH_4^+ és el que té menys punts amb concentracions altes: supera els 0,5 mg/l únicament en un 14% de les mostres analitzades (figura 2).

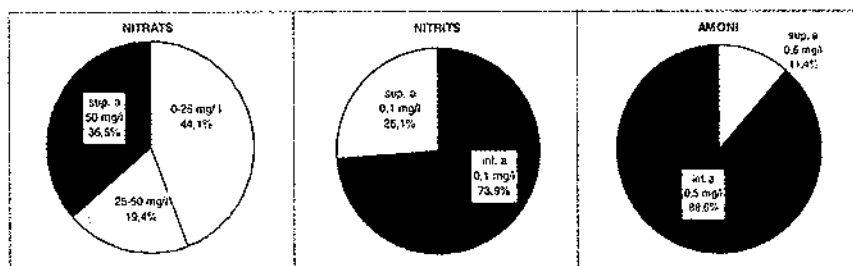


Figura 2. Diagrames representatius del percentatge de punts amb concentracions altes de les diferents formes nitrogenades.

Els aqüífers amb menys contaminació són els més profunds, concretament el format per dipòsits volcànics efusius del neogen (el miopliocè volcànic) i el dels materials paleozoics inalterats (paleozoic-granits de la Selva). El primer és l'únic en què totes les mostres analitzades tenen tots els paràmetres dins els límits permessos per la legislació vigent (taula 6). El segon, tot i ser un dels que té una major qualitat, presenta en una quarta part dels punts analitzats concentracions elevades de nitrats i/o nitrits.

AQUÍFER	% de punts amb $[\text{NO}_3^-] > 50 \text{ mg/l}$	% de punts amb $[\text{NO}_2^-] > 0,1 \text{ mg/l}$	% de punts amb $[\text{NH}_4^+] > 0,5 \text{ mg/l}$
Quaternari al·luvial	21,4 %	57,1 %	14,3 %
Volcànic explosiu	80,0 %	20,0 %	20,0 %
Miopliocè sedimentari	41,9 %	34,8 %	9,1 %
Miopliocè volcànic	0 %	0 %	0 %
Granit alterat - sauló	47,6 %	19,0 %	19,0 %
Paleozoic - granits de la Selva	28,0 %	26,0 %	6,0 %

Taula 6. Percentatge de punts contaminats per alguna de les formes nitrogenades, segons aqüífers.

La clara similitud entre els materials més superficials que configuren la resta d'aqüífers, esmentada en l'apartat 3.1, provoca que no hi hagi clares diferències entre ells. Tot i això, destaca la important concentració de nitrat de l'aqüífer volcànic explosiu (superior als 50 mg/l en el 80% de les mostres). Aquesta situació està determinada per tres motius: el fet de ser molt superficial; que està format per materials piroclàstics que tenen elevada permeabilitat i, per tant, són més susceptibles a la contaminació; i que la seva distribució superficial coincideix amb una de les zones en què s'ha calculat un major excedent de nitrogen (Brunyola i Bescanó, taula 5). D'altra banda, l'aqüífer granític alterat-sauló presenta uns resultats de qualitat química més similar a l'aqüífer mioplèocè que els de l'aqüífer format pels materials granítics del sòcol profund amb els quals està directament relacionat. Això es dona per dos motius principals: per una banda, com ja s'ha comentat, les característiques d'aquests materials són molt similars als sediments neògens que se situen sobre seu; per l'altra, aquests materials es poden situar a molta profunditat però també a nivell aflorant a superfície, fet que n'incrementa considerablement la susceptibilitat a la contaminació.

6.3. Relació excedents de nitrogen - qualitat química de l'aigua

Per saber si l'impacte que s'intueix dels resultats de les anàlisis químiques de l'aigua subterrània i dels càlculs d'excedents de nitrogen és efectivament real, es va generar un mapa integrador de tota aquesta informació. Es va sobreposar una capa de zones segons la quantitat d'excedent de N calculat amb una nova capa en la qual s'indiquen els punts en què s'ha detectat contaminació, ja sigui per una forma nitrogenada, dos o tots tres valors alts (NO_3^- , NO_2^- i NH_4^+). El resultat va ser un mapa que presentava, d'una banda, sis categories de superfície segons els excedents de nitrogen: sense excedent, 1 a 20 kg N/ha any d'excedent, 21 a 50 kg N/ha any d'excedent, 51 a 75 kg N/ha any d'excedent, 76 a 100 kg N/ha any d'excedent i 101 a 200 N/ha any d'excedent. D'altra banda, quatre tipus de punts d'aigua: punts amb baixa concentració de nitrat, nitrit i amoni (punts no contaminats), punts nitrat, nitrit o amoni per sobre dels límits permessos, punts amb dues de les tres formes nitrogenades per sobre dels límits, punts amb nitrats, nitrits i amoni per sobre dels límits.

En el mapa resultant (figura 3) s'observa que el major nombre de punts no contaminats se situen al sud, a la conca de la riera de Santa Coloma, on es troben les àrees amb menor excedent de N. En general, les zones on es va calcular un excedent de nitrogen inferior als 50 kg N/ha any són les que concentren un major nombre de punts amb bona qualitat química, pel que fa a les formes nitrogenades. Els punts contaminats, en canvi, augmenten a les zones on els excedents de nitrogen són superiors a 50 kg N/ha any i es fan majoritaris a les zones on estan per sobre dels 100 kg N/ha any. Tot i la relativitat i el marge d'error d'aquests valors, el que es pot afirmar és que hi ha una franja central i a l'oest de tota la zona on l'activitat agrícola i ramadera és molt gran, que aquestes no estan en equilibri pel que fa a la producció i reutilització dels residus orgànics que generen les granges i que podria ser que hi hagués un abús dels adobs químics que està provocant un increment progressiu de la concentració de nitrat, nitrit i amoni a les aigües subterrànies. Tot i aquesta

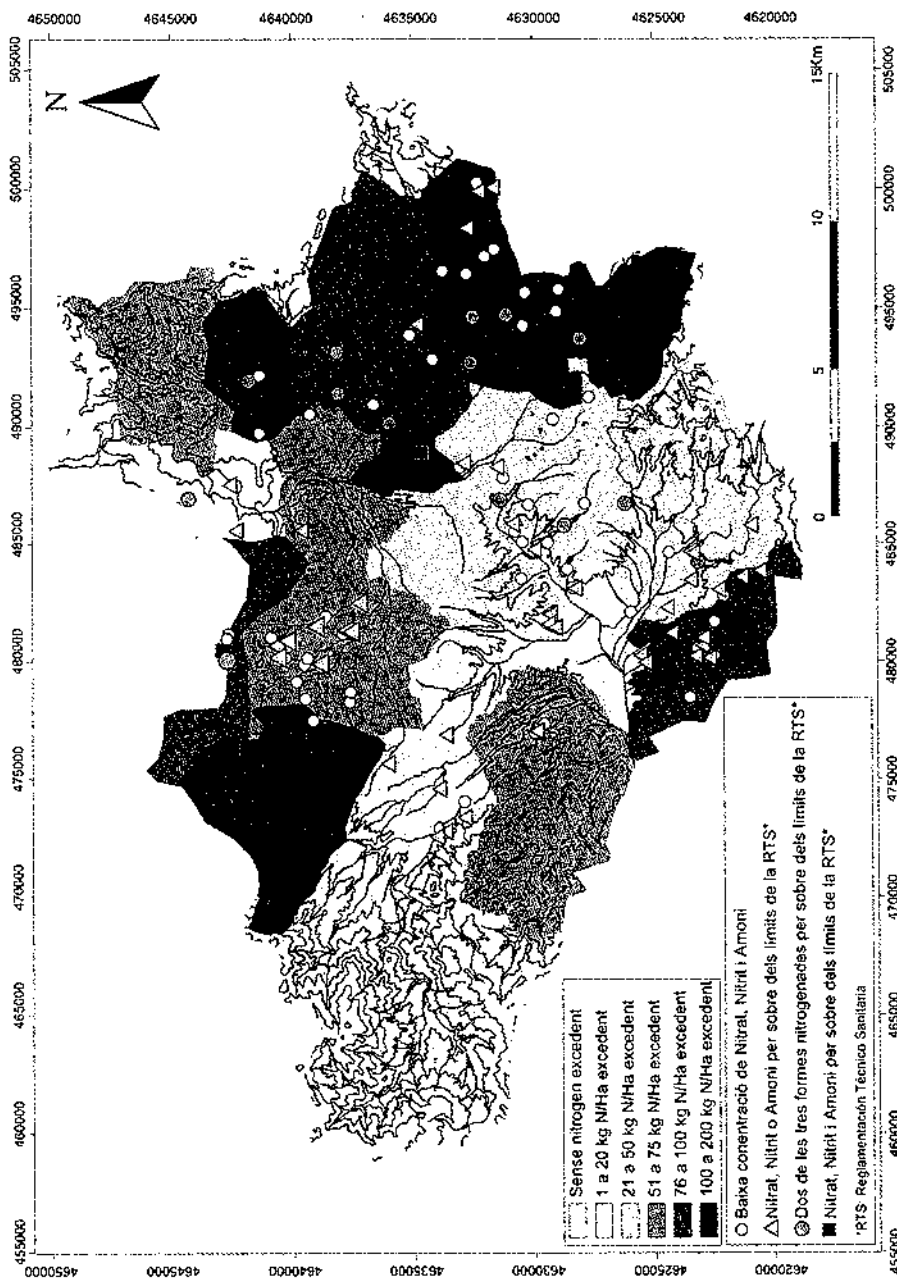


Figura 3. Punts contaminats per nitrogen i la seva situació segons els excedents de N per hectàrea.

tendència general, cal destacar que hi ha punts amb altes concentracions de les formes nitrogenades a tota la zona estudiada, ja que, com s'ha comentat anteriorment, les aigües dels aqüífers més superficials presenten molt baixa qualitat química.

7. CONCLUSIONS

Les aigües subterrànies de la depressió de la Selva presenten una qualitat química baixa a causa de les elevades concentracions de nitrat, nitrit i/o amoni que presenten. És especialment remarcable l'elevada concentració de NO_3^- , que supera els 50 mg/l en el 36,5 % de les mostres analitzades.

Amb les dades obtingudes al DARP dels tipus de conreus i de bestiar per municipi l'any 1999, s'ha calculat que la quantitat de N generat pels residus orgànics és superior a la de N absorbit pels diferents conreus a tots els municipis menys Fornells. És a dir, les pràctiques agrícoles i ramaderes de la zona generen excedent de nitrogen a pràcticament tota la zona estudiada i molt especialment en un sector central format pels municipis de Sant Andreu Salou, Llambilles i Llagostera.

En general, les zones on s'ha calculat un excedent de nitrogen inferior als 50 kg N/ha any tenen més punts amb bona qualitat química, pel que fa a les formes nitrogenades. En canvi, els punts amb valors alts de les diferents formes nitrogenades augmenten a les zones on els excedents de nitrogen són superiors a 50 kg N/ha any i es fan majoritaris a les zones on estan per sobre dels 100 kg N/ha any.

Els aqüífers que presenten més contaminació són els que estan situats en un nivell més superficial, ja que són els més susceptibles d'absorbir possibles pèrdues de nitrogen lixiviat pel fet de no ser assimilades pels conreus. Destaca l'aqüífer volcànic explosiu, d'elevada porositat i situat en una de les zones on s'ha calculat més excedent de nitrogen, en el qual el 80% de les mostres analitzades presentaven concentracions de nitrat superior als 50 mg/l.

L'àrea amb un nombre més alt de punts amb bona qualitat química coincideix amb el sector sud, on s'ha calculat un menor excedent de nitrogen. Tot i això, hi ha punts contaminats a tota la zona ja que els aqüífers més superficials, més susceptibles, tenen una important extensió territorial. D'altra banda, en totes les zones, incloent-hi les d'un excedent superior a 100 kg N/ha any, s'hi han analitzat mostres d'aigua sense contaminació nitrogenada. Es tracta de pous que assoleixen molta profunditat, la qual cosa permet conservar la qualitat química de l'aigua.

8. Bibliografia

- ALBERT, J.F., COROMINAS, J., PARIS, C. 1979. El estudio hidrogeológico de los manantiales y su aplicación geológica; caso de las aguas termales, carbónicas y sulfhídricas de Cataluña. *Acta Geológica Hispánica (Homenaje a Lluís Solé i Sabarís)*. 14: 391-394.
- AYALA, F.X. 1987. Introducción a los riesgos geológicos. A: Ayala, F.X, Duran, J.J., Peinado, T. (coord.). *Riesgos geológicos*. ITGE, p. 3-19.

- BACH, J. 2000. Tasques de control de les aigües subterrànies al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa – any 2000. Informe intern PNZVG, 94 pàg., annex i mapes.
- CANTER, L.W. 1997. *Nitrates in Groundwater*. Lewis Publishers. EUA.
- DGOH. 1971. *Estudio de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental, zona norte*. MOP. Dirección General de Obras Públicas.
- FELIPO, T., GARAU, M.A. 1987. *La contaminació del sòl. Procés de degradació del medi edàfic i de l'entorn*. Quaderns d'Ecologia Aplicada. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient.
- FOSTER, S.S.D. (1987) Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. *TNO Committee on Hydrological Research Information N° 38*, W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegenigh, la Haia: 69-86.
- KEENEY, D.R. 1986. Sources of Nitrate to Ground Water. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 16, 3: 257-304.
- POUS J., SOLÉ SUGRAÑES, L., BADIELLA, P. 1990. Estudio geoelectrico de la depresión de la Selva (Girona). *Acta Geológica Hispánica*, 25 (4): 26-269.
- PRATS, I. (coord). 1995. *Manual de gestió dels purins i de la seva reutilització agrícola*. Departament de Medi Ambient, Junta de Residus i Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya.
- ROSELLO, B., HIDALGO, J.J. 1978. *Fertilización nitrogenada del "Lolium multiflorum" var. "Westewoldicum"*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura.
- THOMPSON, L.M., TROEH, F.R. 1988. *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverté, SA.
- VEHI, M. 2001. *Geologia ambiental de la depressió de la Selva*. Tesi doctoral inèdita.