

PRESENÇA I DISTRIBUCIÓ ESPACIAL DE CONCENTRACIONS ANORMALS D'IO NITRAT A LES AIGÜES SUBTERRÀNIES DELS AQÜÍFERS DEL BAIX FLUVIÀ (ALT EMPORDÀ)

J. Montaner,* N. Teixidor, J. Boixadera,*** J. Solà,* J. Mas-Pla* i M. Pérez******

RESUM

Presentem una caracterització de la distribució espacial de la contaminació per nitrats en els aqüífers de la plana del baix Fluvià. En concret, els valors de concentració més elevats s'han observat a l'aqüífer superficial, on sobrepassen, amb escreix, els límits de potabilitat aconsellats pel RD 1138/1990. L'àrea més afectada ocupa part dels termes municipals de Vilamacolum i Torroella de Fluvià, en els quals hi predominen concentracions que oscil·len entre 50 i 200 mg × L⁻¹. Els focus de contaminació són de tipus puntual i difús.

Documentada la presència anormal de nitrats en aquest aqüífer, es planteja el correcte maneig agrícola, en vistes a una doble finalitat: d'una banda, contribuir a la planificació d'unes bones pràctiques agrícoles tenint en compte la relació entre volums de reg i aportacions

* Geoservei SCP. Ctra. Barcelona 12-14, 5è 2a. Girona.

** Servei d'Agricultura. DARP. Mas Badia. 17134 La Tallada (Girona).

*** Secció d'Avaluació de Recursos i Noves Tecnologies. DARP. Rovira Roure, 177. 25006 Lleida.

**** Laboratori Agrari. DARP. Ctra. Vilassar, s/n. Cabrils (Barcelona).

de nitrogen; d'altra banda, preveure una progressiva recuperació de la qualitat de l'aqüífer, a partir de l'ús de tecnologies que integrin la ubicació d'unes zones favorables on es pugui maximitzar l'extracció del recurs contaminat, i la ubicació d'uns sòls aptes per a l'aplicació d'aquest recurs, amb uns criteris agronòmics coherents.

PARAULES CLAU: Baix Fluvià, edafologia, hidrogeologia, contaminació per nitrats, aqüífer lliure, vulnerabilitat, bones pràctiques agrícoles, recuperació d'aqüífers.

RESUMEN

Presentamos una caracterización de la distribución espacial de la contaminación por nitratos en los acuíferos de la llanura del baix Fluvià. En concreto, los valores de concentración más elevados se han observado en el acuífero superficial, donde sobrepasan, con creces, los límites de potabilidad aconsejados por el RD 1138/1990. El área más afectada ocupa parte de los términos municipales de Vilamacolum y Torroella de Fluvià, en los cuales predominan concentraciones que oscilan entre 50 y 200 mg

$\times L^{-1}$. Los focos de contaminación son de tipo puntual y difuso.

Documentada la presencia anormal de nitratos en este acuífero, se plantea el correcto manejo agrícola, en vistas a una doble finalidad: por un lado, contribuir a la planificación de unas buenas prácticas agrícolas teniendo en cuenta la relación entre volúmenes de riego y aportaciones de nitrógeno; por otro lado, prever una progresiva recuperación de la calidad del acuífero, a partir de usar tecnologías que integren la ubicación de unas zonas favorables donde se pueda maximizar la extracción del recurso contaminado, y la ubicación de unos suelos aptos para la aplicación de este recurso, con unos criterios agronómicos coherentes.

PALABRAS CLAVE: Baix Fluvià, edafología, hidrogeología, contaminación por nitratos, acuífero libre, vulnerabilidad, buenas prácticas agrícolas, recuperación de acuíferos.

SUMMARY

A characterisation of spatial distribution of the nitrate groundwater contamination in the baix Fluvià plain is presented. Specially, the highest values have been found in the upper aquifer, where the critical values specified by RD 1138/1990 for drinking water are clearly surpassed in some cases. The worse affected areas are the municipalities of Vilamacolum and Torroella de Fluvià where concentrations between 50 and 200 meq $\times L^{-1}$ are dominant. The contamination comes from both point and non-point sources.

After documenting the abnormal amounts of nitrate in such aquifer the next issue is good agricultural management. This has two aims. Firstly, to contribute to the planning of good agricultural practices taking the relationship between amount of irrigation water and inputs of nitrogen into account. Secondly, to try to recover the aquifer progressively using technologies capable of integrating the setting of favourable areas where the polluted resource could be withdrawn and other spots where there are soils suitable for the application of such resource, all with coherent agronomic criteria.

KEY WORDS: Baix Fluvià, soil science, hydro-geology, nitrate pollution, free aquifer, vulnerability, good agricultural practices, aquifer reclamation.

1. INTRODUCCIÓ

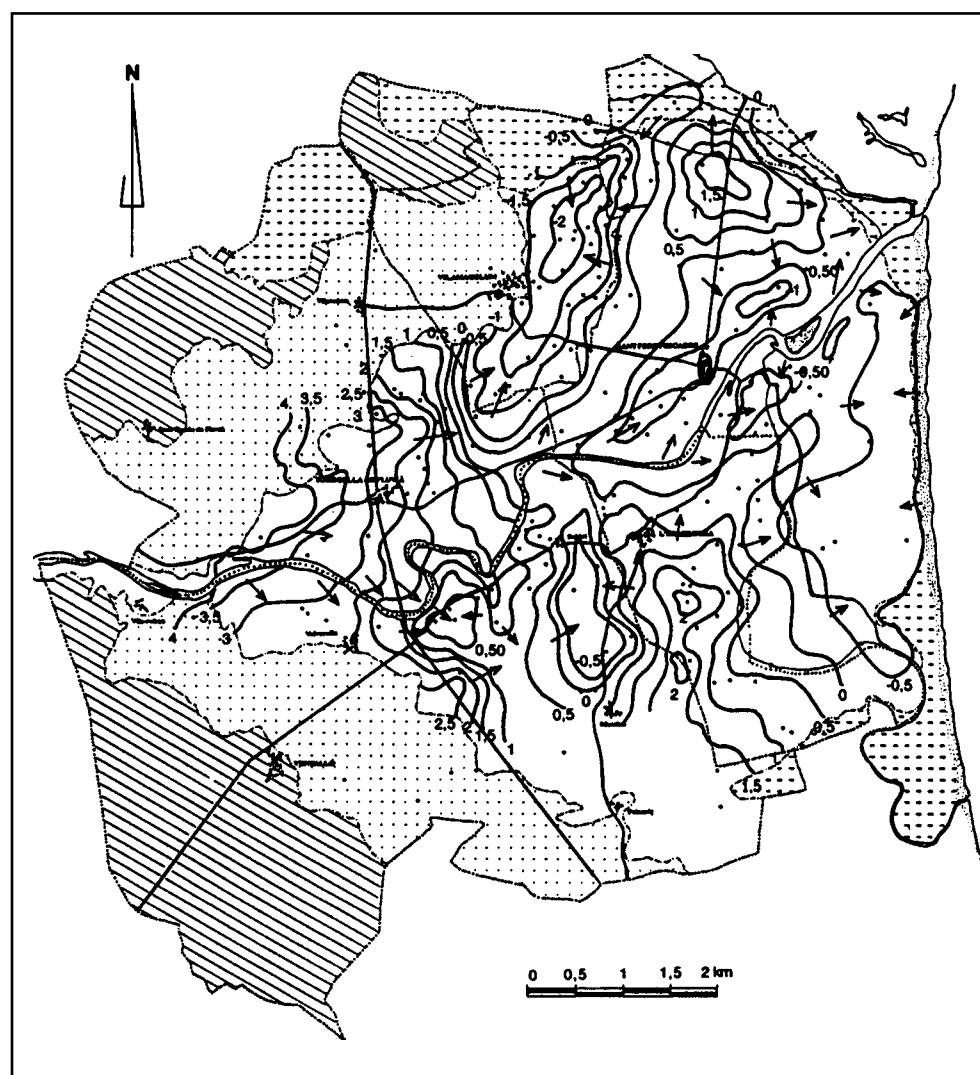
La presència de nitrats a les aigües subterrànies és una preocupació sanitària reflectida tant en la legislació sobre potabilitat de les aigües de subministrament (RD 1138/1990) com en la legislació sobre limitacions en l'aplicació de fertilitzants (CE Directiva Nitrats 91/676). D'aquesta última es desprèn la necessitat d'elaborar i aplicar un codi de bones pràctiques agrícoles per a protegir les zones vulnerables a la contaminació per nitrats usats en agricultura. La finalitat consisteix en evitar una degradació de la qualitat de les aigües a partir d'una correcta gestió de les activitats agrícoles i ramaderes.

En aquest context, la caracterització edafològica i els estudis hidrogeològics

esdevenen, entre altres, eines fonamentals per a poder establir una jerarquia de la vulnerabilitat i per a concretar la necessitat o no de possibles restriccions en l'ús de fertilitzants. Paral·lelament, en àrees ja afectades, la informació hidrogeològica i edafològica aporta els

fonaments per aplicar mètodes de restauració de la qualitat de les aigües. En general, les tecnologies existents són costoses a l'hora de tractar grans volums d'aigua, per la qual cosa és preferible recórrer a sistemes basats en la gestió adequada del reg i l'aplicació de

FIGURA 1. *Mapa piezomètric del baix Fluvià corresponent a l'agost de 1994.*



nutrients. És convenient, a més a més, que aquests sistemes integrin la ubicació de zones favorables on es pugui maximitzar l'extracció de les aigües amb major concentració de nitrat, i la ubicació de sòls aptes per a l'aplicació agronòmica.

En els darrers anys, el DARP, en col·laboració amb la Fundació Mas Badia i amb les aportacions econòmiques de la Diputació de Girona i dels Ajuntaments de Sant Pere Pescador, l'Armentera, Ventalló, Torroella de Fluvià i Vilamacolum, ha realitzat estudis sobre l'edafologia, la hidrogeologia i la qualitat agronòmica dels sòls i de les aigües de reg al baix Fluvià (figura 1). En el present treball s'exposen alguns resultats derivats d'aquests estudis, amb l'objectiu de determinar el grau de vulnerabilitat d'aquesta zona, contribuir a un correcte ús agronòmic de les aigües amb nitrats i aportar aquells criteris tècnics que permetin millorar la qualitat de les aigües subterrànies afectades.

2. MATERIAL I MÈTODES

Els resultats de campanyes anteriors a la de l'any 1994 –que és la que aquí es presenta– suggerien la necessitat de controlar amb detall la qualitat de les aigües corresponents als aqüífers superficials de la zona, ja que, lògicament, són aquests els més susceptibles a rebre els rentats de nitrat del sòl. Per aquest motiu es confeccionà una xarxa de control representativa de les captacions superficials, aquelles amb entubacions de 6-12 m de fondària aproximadament.

La xarxa de control estava formada per 213 captacions, de les quals se'n va fer un mostratge a un total de 144. Una part d'aquestes mostres (77) es va analitzar al Laboratori Agroalimentari de Cabrils i l'altra part (67) es va analitzar *in situ* amb un mètode semiquantitatiu, el Nitrachek®. A la resta de captacions (69) es va observar la fondària del nivell freàtic mitjançant mesures efectuades amb una sonda acústica centimètrica.

L'elaboració de les dades es realitzà a través del mapatge dels resultats analítics i les lectures de nivell freàtic (figura 1). Pel traçat de les isolínies de concentració de nitrats (figura 2) es va considerar, especialment, el límit de $50 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($0,8 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) fixat per la Directiva 91/676/CEE, a partir del qual es considera que les aigües no són aptes per al consum de boca.

Per últim, amb la finalitat d'assolir els objectius plantejats en el present treball, s'ha integrat la interpretació de les dades resultants de la xarxa de control a la informació edafològica i hidrogeològica que es disposava d'estudis anteriors (Boixadera *et al.*, 1987; Montaner *et al.*, 1992, 1993, 1994; Mas *et al.*, 1995). Una síntesi d'aquestes informacions s'exposa com a encapçalament de l'apartat de resultats.

3. RESULTATS

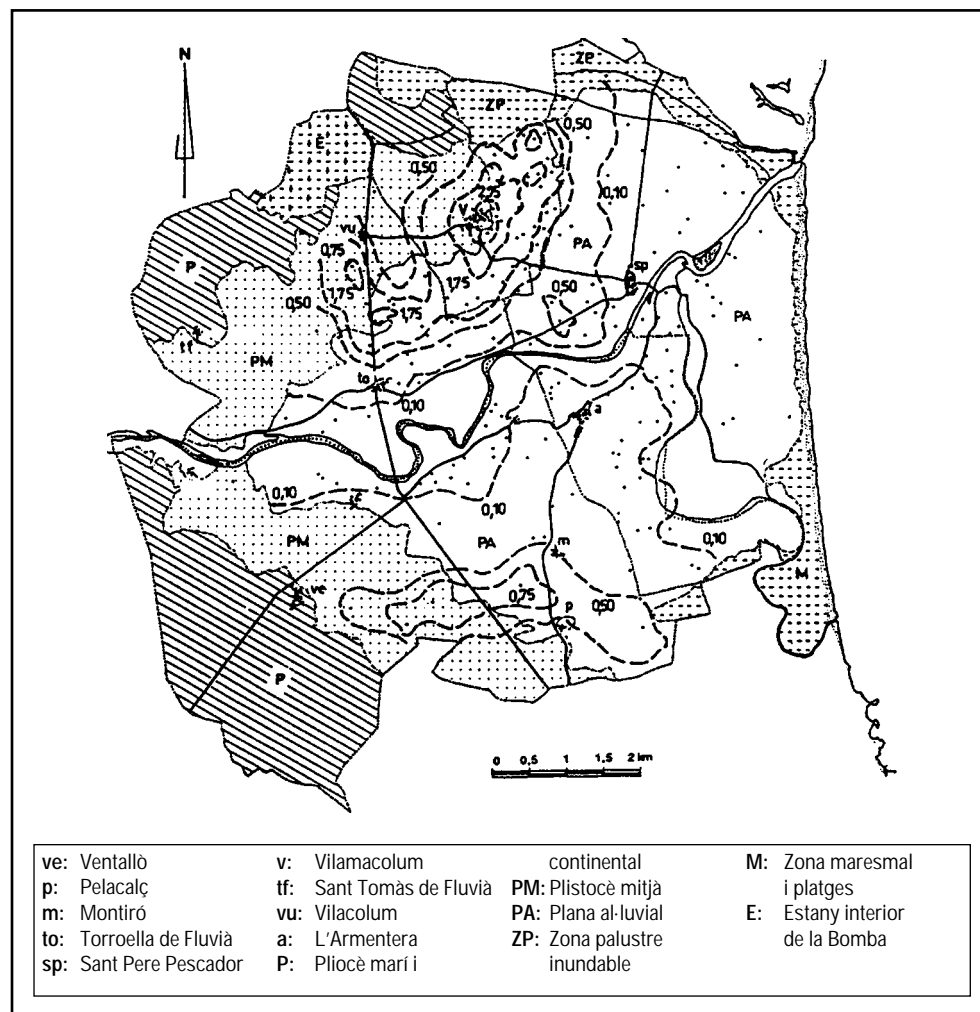
3.1. Geologia

El baix Fluvià està format per sediments al·luvials dipositats durant successives avulsions del riu que van ocórrer en el Plistocè superior i l'Holocè.

Aquests sediments han reblert un antic sòcol format per dipòsits del Pliocè i del Plistocè mitjà. Els dipòsits del Pliocè són d'origen continental i marí. Els primers formen part d'un ventall conglomeràtic quarsític provinent del NW. El Pliocè marí està format per les anome-

nades margues grises de Siurana i per les sorres grogues de Sant Miquel de Fluvià. Els dipòsits del Plistocè mitjà són conglomerats cimentats, dominantment calcaris, que constitueixen part d'un antic ventall al·luvial provinent de l'oest (figura 2: base geològica).

FIGURA 2. Mapa d'isocentracions d'ió (NO_3) corresponent a l'agost de 1994, expressades en meq/L.



En vertical i de base a sostre, el rebliment d'aquest antic sòcol presenta la següent disposició estratigràfica: una *seqüència deposicional inferior*, que és discordant respecte els conglomerats calcaris del Plistocè mitjà, formada litològicament per un conjunt granodecreixent de graves, sorres i llims que contenen nivells discontinus de sorres. Damunt d'aquesta seqüència, i amb contacte discordant, s'ha identificat una *seqüència deposicional superior*, granodecreixent, formada per sorres i llims de plana d'inundació que, cap al sostre, s'interdigiten amb argiles i llims dipositats en ambients palustres. Aquests ambients palustres formen part d'una zona inundable situada entre els dominis al·luvials de la Muga i el Fluvià, la qual antigament s'estenia a una part del terme municipal de Vilamacolum.

Aquesta seqüència superior és la que forma, conjuntament i amb contemporaneïtat amb els dipòsits antics de duna i maresma de la zona litoral, la unitat morfològica que coneixem per *plana al·luvial del baix Fluvià*. Aquesta seqüència –des d'ara, plana al·luvial– és la que presenta un major interès per als objectius del present treball.

A fi d'assolir una correcta interpretació de l'escenari hidrogeològic de la plana al·luvial és important anotar la seva connexió amb els dipòsits que la limiten espacialment, com es pot observar en la base geològica que recolza el mapa de la figura 2. Cal destacar fonamentalment, i en vistes a les consideracions que seguiran, que el límit oest de la plana al·luvial està en contacte directe amb els conglomerats calcaris cimentats del Plistocè mitjà.

3.2. Hidrogeologia

En el mapa de la figura 1 s'han situat algunes de les captacions de la xarxa de control. Dominantment, aquestes captacions tenen fondàries compreses entre 6 i 12 metres i exploten els nivells permeables de l'anomenada plana al·luvial. Aquests nivells permeables corresponen bé a les graves i sorres basals de la plana al·luvial, bé als nivells de sorres que resten intercalats entre els llims i fangs palustres del sostre de la plana.

En conjunt, el comportament hidràulic d'aquests nivells permeables és el d'un aquífer de tipus lliure. Tan sols localment, i només en captacions que exploten els nivells sorrencs intercalats en dipòsits palustres, es pot observar un comportament d'aquífer semiconfinat, que no tindrem en consideració. Respecte als conglomerats calcaris del Plistocè mitjà, que com hem dit limiten i connecten per l'oest amb els dipòsits de la plana al·luvial, el seu comportament hidràulic també respon a les característiques d'un aquífer lliure.

Pels objectius del present treball ens interessa ressaltar les característiques hidrodinàmiques d'ambdós aquífers lliures —el de la plana al·luvial i el dels conglomerats del Plistocè mitjà—, sobretot, a la zona que inclou el terme municipal de Vilamacolum i part del terme municipal de Torroella de Fluvià. En aquest indret l'aquífer lliure de la plana al·luvial es caracteritza per nivells freàtics que oscil·len entre 1 i 3 metres de fondària, mesurats des de la boca del pou. El flux subterrani és de tipus endorreic (figura 1) i conflueix cap a antigues

zones palustres inundables —antiga zona inundable de Vilamacolum.

L'aquífer lliure dels conglomerats del Plistocè mitjà té un nivell freàtic que oscil·la entre 3 i 4 metres de fondària. En absència de bombaments, el flux subterrani conflueix, a través de la plana al·luvial, cap a les zones endorreiques ara esmentades. Durant períodes de bombament prolongat el flux subterrani es pot invertir localment i produir una recàrrega des de l'aquífer lliure de la plana al·luvial, fins a l'aquífer lliure dels conglomerats calcaris.

3.3. Edafologia

De la cartografia de sòls del baix Fluvià (Boixadera *et al.*, 1987), i pels objectius del present treball, cal destacar la presència de tres unitats cartogràfiques importants: sòls de plataformes residuals, sòls de terrasses fluvials i sòls del delta i la plana al·luvial.

Els sòls de *plataformes residuals* s'han desenvolupat sobre els dipòsits terciaris del sòcol Pliocè (figura 2: base geològica), bé sigui marí o continental. Són sòls ben drenats, en general profunds i amb textura moderadament grossa a mitjana, que en fondària passa a fina i moderadament fina. La conductivitat hidràulica i velocitat d'infiltració és de moderada a baixa. Cal destacar per la seva representativitat cartogràfica, la *sèrie Aspres* que es troba a les plataformes pliocenes del nord de Sant Tomàs de Fluvià (figura 2: base geològica) i que ocupa àrees elevades del paisatge. Són sòls amb una forta acumulació d'argila a poca profunditat, de neutres a modera-

dament àcids i sense carbonats. Es classifiquen com a Palexeralf típic, fi, mesclat, tèrmic (SSS, 1975, 1990).

Els sòls de *terrasses fluvials* s'han desenvolupat majoritàriament damunt els conglomerats calcaris del Plistocè mitjà (figura 2: base geològica). En general són sòls de poc a moderadament profunds, ben drenats, amb textura mitjana i amb un horitzó d'acumulació de carbonat cimentat entre els 25 i els 100 cm, per damunt del qual pot haver-hi o no un horitzó Bt d'il·luviació d'argila, parcial o totalment descarbonat. La capacitat de retenció d'aigua disponible és de baixa a moderada i la conductivitat hidràulica i la velocitat d'infiltració moderades. Pels objectius d'aquest treball és important destacar l'anomenat *complex Canet-Ventalló*: a grans trets compleix amb les característiques generals d'aquesta unitat. Però en aquest cas són sòls amb drenatge ràpid i amb poca matèria orgànica en l'horitzó superficial (1-1,5 %). Es classifiquen com a Xerochrepts petrocàlcics, franca, mesclats, superficials, tèrmics, o bé com a Palexeralfs petrocàlcics, llimosa fina, mesclat, tèrmic (SSS, 1975, 1990).

Els sòls del *delta i la plana al·luvial* són els que tenen més representació cartogràfica i els que presenten més diversitat de sèries. Pels objectius del treball cal destacar, en ordre creixent d'importància pel que fa al present estudi.

Les *sèries Almatà, Rasos i Closes*, que presenten sòls desenvolupats sobre els materials palustres que es troben a la zona de confluència entre les planes al·luvials de la Muga i el Fluvià (figura 2: base geològica) i sobre els

dipòsits de maresma de la zona litoral. La seva textura és fina i són escassament drenats i de moderadament a molt salins. La conductivitat hidràulica és baixa i la capacitat de retenció de l'aigua disponible és alta. Estan afectats per una capa freàtica salina oscil·lant que restringeix l'arrelament dels primers 25-70 cm segons el cas. La sèrie Almatà és un Xerofluent àqüic, fina, mesclada (calcària), tèrmica, i les sèries Rasos i Closes són Xerochrepts calcixeròl·lic, llimosa fina/fina, mesclada, tèrmica (SSS, 1975, 1990).

La sèrie *Vilamacolum* són sòls desenvolupats en les cubetes d'inundació de la plana al·luvial, concretament, ocupen zones topogràficament deprimides (per exemple, l'antiga zona inundable a la part est del nucli de Vilamacolum) on conflueixen dipòsits palustres i dipòsits de la plana aportats pel riu. Són sòls moderadament ben drenats, lleugerament salins i de textura moderadament fina. Estan afectats per una capa freàtica oscil·lant que limita l'arrelament a 80 cm durant curts períodes de temps. La conductivitat hidràulica és moderada i la capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD) és alta en els primers 100 cm. Es classifiquen com a Xerochrept calcixeròl·lic, llimosa fina, mesclada, tèrmica (SSS, 1975, 1990) i són importants pels objectius del present treball, ja que se situen en zones afectades per la presència de nitrats en les aigües subterrànies (figura 2: zona de Vilamacolum).

La sèrie *Armentera* són sòls que es desenvolupen sobre els materials de la plana al·luvial estricta, és a dir, a les *leves* del riu Fluvià i zones contigües a

aquestes. Pels objectius de la zona cal destacar-ne la presència en el triangle que formen els nuclis de Sant Pere Pescador, Torroella de Fluvià i Vilamacolum (figura 2). Són sòls profunds, ben drenats, de textura mitjana i no salins. La conductivitat hidràulica és alta i la CRAD moderada. Es classifiquen com a Xerofluent típic, franca grossa, mesclada (calcària), tèrmica (SSS, 1975, 1990).

3.4. Presència de nitrats

Les dades resultants del mostreig d'aigües subterrànies corresponents als aqüífers de la plana al·luvial i a l'aqüífer lliure del Plistocè mitjà s'exposen a la figura 2 i a la taula 1. Com es pot observar, els valors superiors a $50 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ (o bé, $0,80 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) se situen al voltant de tres àrees concretes: la zona de Vilamacolum, la franja que hi ha entre els nuclis de Torroella de Fluvià i Vilamacolum i la zona que resta limitada pels nuclis de Ventalló, Montiró i Pelacalç.

La zona de Vilamacolum presenta valors màxims de la concentració de $215 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($3,47 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) i mínims de $15,5 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($0,25 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$). Gairebé les dues terceres parts del seu terme municipal estan afectades per concentracions superiors a $50 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, però els valors més alts es concentren al voltant del nucli de població.

Des de la zona de Vilamacolum al terme municipal de Sant Pere Pescador les concentracions de nitrat disminueixen notablement. No obstant això, en aquest darrer terme municipal també

TAULA I. Distribució absoluta i percentual, segons ordre de magnitud i municipis, del contingut de nitrat dels pous mostrejats l'any 1994.

CONCENTRACIÓ NO ₃ ⁻ (meq/L)	0	de 0 a 0,48		de 0,48 a 0,80		de 0,8 a 1,6		de 1,6 a 2,4		de 2,4 a 3,2		de 3,2 a 4,0		< 0,8	> 0,8	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0	0-30		30-50		50-100		100-150		150-200		200-250		<50	>50	
POUS	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	%	%
ARMETERA	5	50	5	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
SANT PERE	15	68	4	18	3	14	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
TORROELLA	6	35	4	23	2	12	4	24	1	6	0	0	0	0	71	29
VENTALLÓ	3	33	2	22	1	11	3	34	0	0	0	0	0	0	67	33
VILAMACOLUM	0	0	1	5	2	10	5	27	6	32	4	21	1	5	16	84
TOTAL	29	37	16	20	8	11	12	16	7	10	4	5	1	1	68	32

s'han detectat alguns valors propers a $50 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($0,80 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$). Cap al nord i nord-oest de la zona de Vilamacolum les concentracions més elevades tendeixen a disminuir, mentre que cap al sud-oest s'enllacen amb els valors alts de la franja de Torroella de Fluvià a Vilamacolum.

Aquesta darrera franja presenta valors màxims de concentració de $130 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($2,11 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) i mínims de $10 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($0,15 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) a les proximitats del nucli de Torroella de Fluvià. Els valors màxims d'aquesta franja, que és menor en extensió que la zona de Vilamacolum, se situen sobretot, a banda i banda del tram de carretera que uneix Torroella i Vilamacolum. Cap al sud de Torroella de Fluvià, a les proximitats del riu, les concentracions de nitrat són inapreciables. Aquest fet pot ser degut a una dilució de les concentracions de nitrat com a conseqüència de la recàrrega influent del riu des d'aigües amunt del pont de Torroella de Fluvià.

La zona compresa entre els nuclis de Ventalló, Montiró i Pelacalç presenta concentracions màximes de $90 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($1,44 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) i mínimes de $15,5 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($0,25 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$). Tot i que aquesta zona es presenta a la figura 2 com una franja ampla i allargada d'oest a est, el traçat d'isolinies de concentració s'ha realitzat amb les dades d'una dotzena de pous, per la qual cosa seria convenient un mostreig més detallat per a intentar-ne acotar, amb més fiabilitat, l'extensió.

Pel que fa a la resta de la zona estudiada, els valors de la concentració de nitrat són inapreciables. Les zones de millor qualitat respecte l'ió nitrat se situen a la franja litoral compresa entre el nucli de Sant Pere Pescador i el mar i a les riberes del riu, en especial, el tram comprès entre Vilarobau i el meandre límit entre Torroella de Fluvià i Sant Pere Pescador.

Per termes municipals, i utilitzant tan sols els resultats de les mostres ana-

litzades al laboratori, la distribució i les freqüències de les concentracions d'ió nitrats es poden observar a la taula 1. D'aquí es desprèn que un 68 % de les aigües analitzades al laboratori tenen un nivell de nitrats inferior a $50 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ ($0,80 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$) i un 32 % superior a aquest límit de potabilitat. El 100 % dels pous analitzats a l'Armentera i Sant Pere Pescador són potables pel que fa al nitrats, més de dos terços dels pous analitzats a Torroella de Fluvià i Ventalló resten per sota $50 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ i el 84 % dels pous analitzats a Vilamacolum no són potables.

4. DISCUSSIÓ

A partir dels resultats obtinguts es discuteixen els aspectes que condicionen la vulnerabilitat de les principals zones afectades i s'aporten aquelles consideracions que poden contribuir tant a l'aplicació d'unes bones pràctiques agrícoles com a la millora de la qualitat dels aqüífers contaminats. Els resultats indiquen que l'àrea més afectada per la presència de nitrats correspon als termes municipals de Vilamacolum i Torroella de Fluvià (figura 2) per la qual cosa, és aquí on se centrarà la discussió.

4.1. Vulnerabilitat dels aqüífers

Les possibles causes de l'aparició de concentracions anormals d'ió nitrats en aquesta zona, sembla clar que cal atribuir-les a una acció antròpica provocada per la presència d'una càrrega ramadera important i localitzada. A tall d'exemple, segons el cens de 1989, l'Ar-

mentera i Sant Pere Pescador tindrien sobre uns 2.000 caps de bestiar, Torroella de Fluvià uns 4.000, Vilamacolum uns 5.000 i Ventalló uns 20.000. Cal afegir a aquestes dades que la superfície total en hectàrees de Vilamacolum és d'unes 550, mentre que Torroella de Fluvià i Ventalló en tenen respectivament, unes 1.200 i 2.100.

A la zona de Vilamacolum i Torroella de Fluvià aquesta càrrega ramadera es localitza principalment en els terrenys de la part oest d'ambdós termes municipals. Aquests terrenys se situen en un sistema sòl-aqüífer format pel complex Canet-Ventalló i per l'aqüífer lliure del Plistocè mitjà (figura 2: base geològica). Aquest sistema correspon a uns sòls de textura mitjana, amb drenatge ràpid i que en fondària presenten un aqüífer de tipus lliure amb nivell freàtic moderadament poc profund (de 3 a 4 metres de fondària). En aquest escenari existeix un important grau de vulnerabilitat del sistema sòl-aqüífer que es tradueix en una contaminació de tipus puntual de l'ordre de $1,75 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$, al nord del nucli de Torroella de Fluvià, i de l'ordre de $2,75 \text{ mEq} \times \text{L}^{-1}$ a prop del nucli de Vilamacolum (figura 2).

Aquests nivells de contaminació es dispersaran a zones més allunyades segons la direcció del flux subterrani. Ja s'ha comentat a l'apartat d'hidrogeologia que durant la major part de l'any el flux subterrani de l'aqüífer lliure del Plistocè mitjà recarrega l'aqüífer lliure de la plana al·luvial (part est d'ambdós termes municipals). Cal esperar, doncs, que els nitrats es desplacin també segons aquesta recàrrega. No obstant això, segons si parlem de la plana de

Torroella de Fluvià o de la plana de Vilamacolum, els efectes d'aquesta recàrrega poden ser diferents.

Al nord de Torroella de Fluvià, quan el flux de la recàrrega arriba a la plana, connecta amb el flux influent provinent del riu (figura 1). Aquest produeix una major dilució de les concentracions de nitrat i, per tant, els efectes de la recàrrega sobre les concentracions de nitrat a l'aqüífer lliure de la plana al·luvial són poc importants. A Vilamacolum, la recàrrega segueix un flux subterrani de tipus endorreic (figura 1). En aquest cas, la dilució de les concentracions de nitrat serà poc eficaç, per la qual cosa és possible que la recàrrega ocasioni, en aquesta zona, un increment significatiu de nitrats a l'aqüífer lliure de la plana al·luvial (part est del terme de Vilamacolum).

A banda de l'aportació de nitrats ara comentada, la zona est del terme municipal de Vilamacolum (figura 2) està afectada, a més a més, per una contaminació difusa, producte de l'aplicació d'adobs orgànics en dosis no controlades, i molt probablement però en menor proporció, per l'efecte d'un col·lector municipal d'aigües residuals descobert i no impermeabilitzat, que sovint inunda part de la zona afectada. El conjunt sòl-aqüífer d'aquesta zona està format pels sòls de la sèrie Vilamacolum, on es conrea bàsicament alfals i panís, i per l'aqüífer lliure de la plana al·luvial quan aquest, cap al sostre, passa transicionalment a dipòsits palustres de l'antiga zona inundable de Vilamacolum. Així doncs, aquest conjunt es caracteritza per uns sòls ben drenats, de textura fina i conductivitat hidràulica moderada i per

un aquífer subjacent, amb sostre de baixa permeabilitat, de nivell freàtic alt i oscil·lant i governat per un flux subterrani endorreic. Aquest escenari indica un important grau de vulnerabilitat que es tradueix en la presència de concentracions de nitrat de l'ordre de 0,75 a 2,75 mEq \times L⁻¹ (figura 2).

L'evolució de la vulnerabilitat d'aquesta zona cal estudiar-la analitzant les característiques del conjunt sòl-aqüífer. L'abonat orgànic aplicat en dosis no controlades sobre uns sòls ben drenats, amb capacitat d'infiltració moderada i afectats per un nivell freàtic oscil·lant i poc profund, assegura, sens dubte, un rentat important del nitrat des del sòl fins a l'aqüífer. Una vegada aquest nitrat arriba a l'aqüífer, la baixa permeabilitat del seu sostre i el fet de tenir un flux subterrani endorreic evita, d'una banda, l'expansió d'aquests nitrats fins a àrees més allunyades de la plana, però, de l'altra, aquestes mateixes consideracions eviten que la dilució de les concentracions de nitrat sigui eficaç. En síntesi, doncs, l'anàlisi d'aquesta dinàmica permet considerar un sistema molt vulnerable amb tendència a incrementar progressivament la presència de concentracions anormals de nitrat a l'aqüífer. L'expansió a zones més allunyades de l'aqüífer dependrà de quina sigui la hidrodinàmica del flux subterrani.

Aquest núvol de contaminació de la zona est de Vilamacolum decreix ràpidament en direcció a Sant Pere Pescador i Torroella de Fluvià; en aquestes àrees el conjunt sòl-aqüífer es caracteritza per permeabilitats més altes tant pel que fa als sòls —sèrie Armentera— com pel que fa a la zona saturada

—aqüífer lliure de la plana al·luvial estricta. En aquest cas, la dilució de les concentracions de nitrat és efectiva, d'una banda, a causa d'una millor permeabilitat del conjunt sòl-aqüífer, i de l'altra, perquè no està afectada per endorreisme sinó per la recàrrega influent del riu Fluvià (figura 1).

Finalment, cal fer una darrera consideració respecte a la vulnerabilitat de les zones més afectades del baix Fluvià. Els treballs realitzats indiquen una presència anormal de nitrats als aqüífers de l'anomenada seqüència deposicional superior —o bé plana al·luvial. Tanmateix, la seqüència subjacent —o seqüència deposicional inferior— constitueix un aqüífer d'alta permeabilitat amb un important volum de recursos de qualitat. Aquest aqüífer resta semipermeabilitzat del superior per uns nivells limoargilosos amb intercalacions de sorres. Aquest fet, però, no és cap garantia de invulnerabilitat ja que una sobreexplotació incontrolada podria conduir a un drenatge vertical diferit, i per tant al transport de la massa de nitrats fins als nivells més productius d'aquest aqüífer inferior. D'altra banda, la incorrecta construcció de les captacions que exploten aquests nivells inferiors també pot contribuir a la contaminació de zones més profundes.

4.2. Bones pràctiques agrícoles

Ja hem comentat, seguint la Directiva 91/676/CEE, la necessitat d'elaborar i aplicar un programa d'actuació destinat a la protecció de zones vulnerables a la contaminació per nitrats. Alguns aspectes que cal tenir presents (a més del

control del focus emissor en el cas de granges, pous negres fosses sèptiques) són la racionalització de l'adobat nitrogenat i la racionalització de l'ús de l'aigua de reg. Aquesta aplicació té com a finalitat optimitzar les produccions, limitar en allò possible les despeses del conreu i minimitzar el risc d'impacte sobre els sòls i les aigües d'aquestes zones vulnerables. Amb aquesta finalitat, una primera contribució consisteix en valorar quina és l'aportació de nitrogen a través del reg.

La taula II presenta, des d'un punt de vista quantitatiu, quin és el valor fertilitzant de les aigües subterrànies del terme municipal de Vilamacolum. D'esquerra a dreta s'exposen el codi del pou (codi del cadastre), la concentració d'ió nitrat de les aigües subterrànies de cada pou ($\text{mEq} \times \text{L}^{-1}$), el valor fertilitzant d'aquestes aigües per a un volum de reg de $5.000 \text{ m}^3/\text{any}^{-1}$ i una eficiència de reg del 70 %, el tipus de conreu, les extraccions de nitrogen d'aquest conreu per a una producció mitjana ($\text{kgN} \times \text{ha}^{-1}$) i finalment, les necessitats d'adobat nitrogenat d'aquest conreu per a aquesta producció mitjana ($\text{kgN} \times \text{ha}^{-1}$) si es tenen en compte les aportacions fetes amb el reg.

Com es pot observar, l'aportació de nitrogen a través de les aigües de reg suposa un estalvi de les aportacions necessàries a través de l'adobat. Concretament, si es fa una mitjana per a tots els tipus de conreu, les aportacions a través del reg constitueixen, a la zona de Vilamacolum, un 35 % del total de les extraccions d'aquests conreus.

La figura 3, que completa la informació de la taula II, presenta la distri-

TAULA II. Valor fertilitzant de les aigües subterrànies de Vimaçolum per un reg de 5.000 m³ any⁻¹ i una eficiència del 70 %. Comparació amb les extraccions de diferents conreus de la zona i aportació real necessària a través de l'adobat.

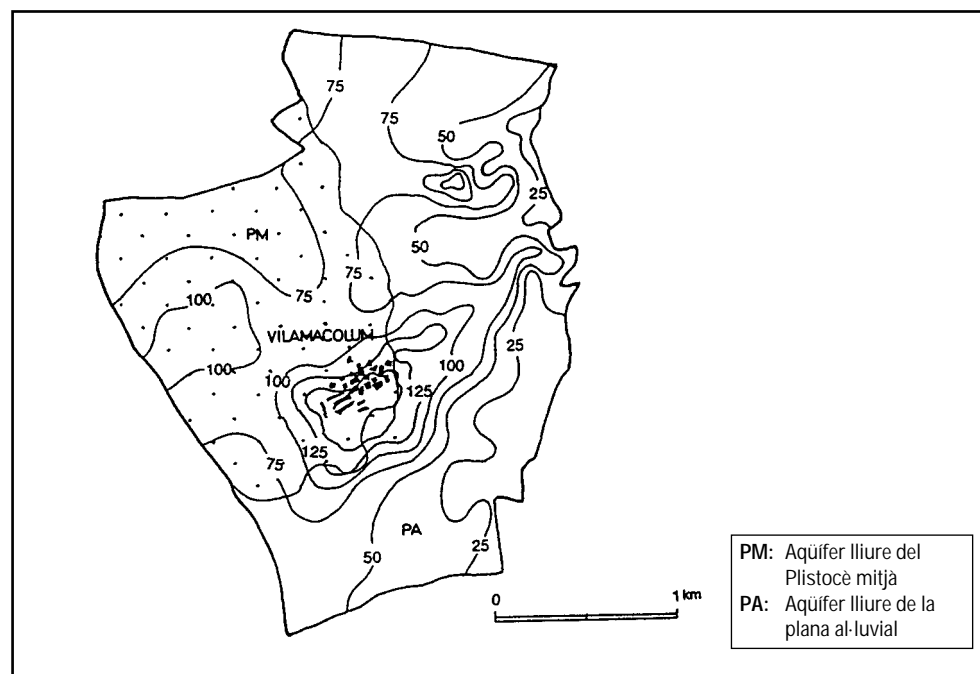
Codi pou Cadastre (Mapa)	Nitrats (mEq/)	Aportació kg N/5.000 m ³ REG	Tipus de conreu	Extracció (kg N/ha)	Adobat (kg N/ha)
1/35	2,07	138,6	Blat de moro	280	141,4
72/8	1,98	85,7	Blat de moro	280	194,2
2/88	1,90	82,2	Blat de moro	280	197,7
3/27	3,47	170,0	Userda	135	Excedentari
3/37	0,20	9,8	Horta	22	12,2
4/70	1,79	87,7	Presseguer	96	8,29
2/49	2,49	122,0	Municipal	-	-
1/55	0,20	9,8	Blat de moro	280	270,2
2/24	1,32	64,68	Userda	135	70,3
2/71	0,29	14,63	Blat de moro	280	265,3
1/33	1,83	89,67	Blat de moro	280	190,3
1/64	1,17	57,3	Blat de moro	280	222,6
2/57	1,17	83,3	Blat de moro	280	196,7
2/73	2,13	104,3	Blat de moro	280	175,6
2/74	1,47	72,0	Blat de moro	280	207,9
3/24	2,68	131,32	Horta	22	Excedentari
3/26	2,93	151,06	Horta	22	Excedentari
3/47	0,54	26,4	Pomera	75	48,5
4/25	1,08	52,9	Blat de moro	280	227,0
3/15	0,60	29,4	Pomera	75	45,6
3/22	2,42	118,5	Userda	135	16,4
2/85	0,84	40,4	Blat de moro	280	239,5
1/55	0,92	44,35	Pomera	75	30,6
1/11	0,48	23,5	Pomera	75	51,4
2/69	0,34	16,66	Blat de moro	280	263,3
2/70	0,38	18,62	Userda	135	116,3
2/64	0,45	22,005	Blat de moro	280	257,9
3/50	0,53	25,97	Blat de moro	280	254,0
3/10	0,37	18,13	Blat de moro	280	261,8
3/4	0,39	19,11	Blat de moro	280	260,8
4/34	1,56	76,44	Blat de moro	280	203,5
4/43	1,7	83,7	Blat de moro	280	196,2
4/56	2,25	110,2	Blat de moro	280	169,7

bució del valor fertilitzant de les aigües subterrànies al terme municipal de Vimaçolum, per una dosi de reg de 5.000 m³/any⁻¹ i una eficiència de reg del 70 %.

4.3. Millora de la qualitat de les aigües subterrànies

La racionalització de l'adobat considerant la informació que es desprèn de la taula II i la figura 3 pot contribuir a l'i-

FIGURA 3. Mapa de les aportacions de nitrogen (kg N/ha) en forma de nitrats a través d'una dosi de reg de 5.000 m³/ha/any i una eficiència del 70 %. Terme municipal de Vilamacolum.



nici d'una recuperació dels aqüífers afectats per la presència de nitrats i també a l'optimització dels costos de producció. Tanmateix, l'eficiència d'aquesta recuperació depèn de molts altres factors: un bon maneig de l'abonat nitrogenat i del reg, conèixer millor les aportacions de nitrogen que es fan mitjançant l'abonat orgànic, conèixer millor les necessitats de nitrogen dels cultius i considerar, també, quines són les aportacions derivades de la mineralització de la matèria orgànica i dels residus dels conreus anteriors.

A banda d'això, des del coneixement detallat de les característiques hidrogeològiques, edafològiques i hidro-

químiques del conjunt sòl-aqüífer es pot contribuir a catalitzar una millora de la qualitat de les aigües subterrànies afectades. Des d'aquest punt de vista, alguns dels criteris que cal considerar poden ser maximitzar les extraccions de l'aqüífer lliure de la plana al·luvial en aquelles zones on la concentració de nitrat sigui màxima; aplicar un règim d'explotació sobredimensionat però que no malmeti les reserves hídriques de la zona; evitar regar amb aigües de concentracions excessivament elevades aquelles zones amb concentracions nul·les o molt baixes de nitrats o sense conreus que requereixin una quantitat important de nitrogen; considerar la zona de captura dels pous d'extracció i

la seva influència sobre l'expansió del plomall de nitrat.

5. CONCLUSIONS

El baix Fluvià presenta concentracions anormals d'ió nitrat. En concret, els valors de concentració més elevats s'han observat a l'aqüífer superficial, on sobrepassen, amb escreix, els límits de potabilitat aconsellats pel RD 1138/1990, transposició de la Directiva 80/778/CEE. L'àrea més afectada ocupa part dels termes municipals de Vilamacolum i Torroella de Fluvià, en els quals hi predominen concentracions que oscil·len entre 50 i 200 mg × L⁻¹. Els focus de contaminació són de tipus puntual i difús, i són deguts, respectivament, a una càrrega ramadera important i localitzada i a l'aplicació d'adobs orgànics en quantitats i moments inadequats.

El rang de la vulnerabilitat de les àrees més afectades i la seva evolució depenen, a més de la millor o pitjor qualitat de les pràctiques agrícoles, de les característiques edafològiques i hidrogeològiques d'aquestes zones.

Respecte a la contribució per a unes bones pràctiques agrícoles es fa palesa la necessitat d'elaborar un programa de reg i adobat que incorpori en el balanç de nutrients les aportacions de nitrat que provenen de les aigües subterrànies que s'utilitzen per a regar, així com les aportacions del sòl. Això suposaria una optimització dels costos de producció i, més important, una menor entrada de massa de nitrogen a l'aqüífer.

L'aplicació d'estratègies destinades

a la recuperació de zones afectades per la presència de nitrats requereix un bon coneixement de la hidrogeologia i edafologia d'aquestes zones, amb l'objectiu que els criteris agronòmics tradicionals que permeten minimitzar el rentat de nitrats resultin altament eficaços.

AGRAÏMENTS

Als Ajuntaments de la zona, Torroella de Fluvià, Vilamacolum, Sant Pere Pescador, Ventalló i l'Armentera i a la Diputació de Girona per les seves contribucions econòmiques. Al Laboratori Agrari de Cabrils per l'analítica de les mostres recollides. A la Fundació Mas Badia pel seu suport material i institucional. A l'antiga Secció de Sòls i Fertilitzants del DARP i als autors del mapa de sòls de la zona per facilitar la informació edafològica que recull aquest treball.

BIBLIOGRAFIA

- BOIXADERA, J.; DANÉS, R.; HERRERO, C. (1987). *Mapa de sòls del Baix Fluvià (1:25.000)*. Generalitat de Catalunya. DARP. Ed. draft. Barcelona-Lleida.
- MONTANER, J.; BOIXADERA, J.; DANÉS, R.; TEIXIDOR, N. (1992). *Estudi dels aqüífers del Baix Fluvià. Qualitat agronòmica de l'aigua de reg*. Ed. draft. DARP. Generalitat de Catalunya.
- MONTANER, J.; TEIXIDOR, N. (1993). *Estat actual dels aqüífers del Baix Fluvià. Consideracions agronòmiques*. Ed. draft. DARP. Generalitat de Catalunya.
- MONTANER, J.; TEIXIDOR, N.; BOIXADERA, J.;

- SIÓ, J.; CAMPS, F.; BONANY, J.; SERRA, J. (1994). *Estat actual i evolució (1992-1994) dels nivells freàtics i la qualitat agronòmica de l'aigua de reg al Baix Fluvià. Xarxa de seguiment. Nitrats. Programació de regs. Fertilització nitrogenada*. Ed. draft. DARP. Generalitat de Catalunya.
- MAS, J.; MONTANER, J.; SOLÀ, J. (1995). *Pol·lució de nitrats a l'aqüífer de l'Alt Empordà. Estudi d'una tecnologia de restauració de la qualitat de les aigües subterrànies*. Ed. draft. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- SERVEI GEOLÒGIC DE CATALUNYA (1996). *Mapa Geològic de Catalunya (1:25.000). Full de Sant Pere Pescador 258-2-2*. Institut Cartogràfic de Catalunya. Generalitat de Catalunya.
- SOIL SURVEY STAFF (1975). «Soil Taxonomy. A Basic System for Making and Interpreting Soil Surveys». *Agric. Handbook n. 436 US Gov. Print Office*, Washington. p. 754.
- SOIL SURVEY STAFF (1990). «Keys to Soil Taxonomy». *SMSS Technical monograph*, Blacksburg, Virginia, núm. 6.