

ANÀLISI MULTIDISCIPLINÀRIA DE LA VULNERABILITAT A LA CONCA DEL RIU ONYAR (GIRONÉS)

Autor: Sandra Armengol

Tutor: Dr. Albert Folch

Llicenciatura de Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona

RESUM

En el present projecte s'ha emprat la metodologia DRASTIC per evaluar la vulnerabilitat a la contaminació de les aigües subterrànies de la conca de l'Onyar. El fet de ser una zona de tradició agrícola i ramadera i amb un creixement urbanístic significatiu, la fa ser una zona de gran interès per l'estudi de la vulnerabilitat. Després d'obtenir l'índex DRASTIC s'ha realitzat una campanya al mes de maig de 2011 per analitzar les concentracions de nitrats a la zona per validar l'estudi. Conjuntament amb el mapa d'usos del sòl i la informació de la localització depuradores més properes, s'han comparat els resultats d'ambdós mapes. L'anàlisi dels resultats obtinguts ha permès comprovar que la metodologia dona bons resultats quan s'analitza la vulnerabilitat a nivell de conca. A més a més, utensilis de fàcil abast aporten informació sobre el perill de contaminació, ajudant a la validació del mètode.

Paraules clau: Contaminació, vulnerabilitat, DRASTIC, nitrats, usos del sòl.

RESUMEN

En el presente estudio se ha utilizado el método DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas de la cuenca del río Onyar. Al ser una zona con tradición agrícola y ganadera con un crecimiento urbanístico significativo, aumenta el interés por el estudio de la vulnerabilidad. Tras obtener el índice DRASTIC se ha realizado un estudio de las concentraciones de nitratos el mes de mayo de 2011. Ambos resultados se han comparado con ayuda del mapa de usos del suelo y la información de la localización de las depuradoras mas cercanas. Se ha comprobado que la metodología da buenos resultados a nivel de cuenca. Los resultados obtenidos mediante herramientas de fácil alcance han sido exitosamente relacionados con la probabilidad de episodios de contaminación, de manera que el método utilizado resulta valido para este tipo de estudios.

Palabras clave: Contaminación, vulnerabilidad, DRASTIC, nitratos, usos del suelo

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the vulnerability of groundwater through DRASTIC, and indexation method. The effect of increasing urbanization and agricultural activities in the Onyar basin, contribute to deteriorate groundwater resources. Groundwater samples were taken to elaborate a nitrate concentration map. The results were compared using a land use map and the location of the sewage treatment plant in order to assess the potential risk of pollution in the Onyar basin groundwaters.

It is concluded that the resulting DRASTIC map have great potential to predict vulnerability on basin scale studies. Easy management tools can show contamination danger while help us to confirm the validation of the method.

Keywords: Contamination, vulnerability, DRASTIC, nitrates, land use

INTRODUCCIÓ

La finalitat d'aquest projecte és determinar la vulnerabilitat a la contaminació del sistemes aquífers de la conca de l'Onyar i estudiar si s'estableix alguna relació entre aquesta i les zones amb altes concentracions de nitrats. Complementàriament es vol valorar quins altres factors, apart dels hidrològics, poden afectar a la distribució d'aquests contaminants i a la seva ocurrència.

- Vulnerabilitat

El concepte de vulnerabilitat d'un aquífer fa més de quaranta anys que existeix però no s'ha arribat a un consens pel que fa a la seva definició. El concepte de vulnerabilitat prové de la idea que el medi físic situat per damunt d'un aquífer protegeix amb més o menys grau aquest aquífer de la contaminació.

Albinet i Margat (1970) defineixen la vulnerabilitat com la possibilitat de percolació i difusió dels contaminants des de la superfície del sòl fins als reservoris subterranis d'aigua en condicions naturals. Vrba i Zaporozec (1994) diuen que la vulnerabilitat és una propietat intrínseca del sistema d'aigües subterrànies que depèn de la sensibilitat del mateix als impactes humans i/o natural. Foster (1987) considera la vulnerabilitat a la contaminació de l'aquífer com aquelles característiques intrínseques dels estrats que separen la zona saturada de la superfície del terreny, les quals determinen la seva sensibilitat a ser adversament afectada per una carga de contaminant aplicada sobre la superfície.

Els principals mètodes existents són els següents:

DRASTIC: Desenvolupat per Aller et al. (1987) per l'Environmental Protection Agency (EPA), amb l'objectiu d'evaluar la vulnerabilitat intrínseca dels aquífers. És el mètode utilitzat en aquest treball i una explicació detallada de la metodologia es troba en l'apartat de Materials i Mètodes.

SINTACS: És una derivació del DRASTIC, desenvolupat per Civita et al (1990) per adequar-lo a les diverses característiques hidrogeològiques d'Itàlia i el requeriment d'un mapa més detallat. **GOD:** Aquest mètode va ser proposat per Foster (1987) i es basa en l'assignació d'índex entre 0 i 1 a tres variables (tipus d'aquífer, litologia de la cobertura i profunditat fins l'aquífer). **EPIK:** És un mètode paramètric desenvolupat per Doerfliger i Zwahlen (1997) i l'únic especialitzat en aquífers càrstics.

Els factors que s'han tingut en compte per l'elecció del mètode són l'escala de treball, la informació disponible i les capacitats del software utilitzat.

- Zona d'estudi

La conca d'estudi és la conca hidrogràfica del riu Onyar (afluent del riu Ter) situada a la part nord de la Depressió de la Selva i compren les comarques del Gironès i la Selva, estenent-se en una àrea de 295 km². Aquesta depressió està ubicada entre la Serra de les Gavarres (535 m) a l'E, i la Selva Marítima (519 m), al sud. A més distància hi ha el sistema Montseny-Guilleries (1202 m) per la part occidental, i la Serralada Transversal al nord (998 m).

Podem diferenciar tres unitats hidrogeològiques principals: l'aquífer granític, afectat en algunes parts per falles regionals; l'aquífer Neogen, format per una alternança llims alterats, sorres arcòsiques, graves i conglomerats amb baix contingut en argila donant lloc a un aquífer multicapa; i els aquífers al·luvials lligats als curos d'aigua principals, de caràcter lliure formats per sorres fines amb un elevat contingut de materials fins (llims i argiles) (Folch A, 2010).

- Contaminació per nitrats

La principal font d'origen agrícola de contaminació per nitrats és el gran augment del nombre de caps de bestiar, sobretot de tipus porcí, que ha convertit els purins en un problema mediambiental. Antigament els purins s'utilitzaven per la fertilització dels camps de conreu i anaven acompanyats amb adobs de tipus químic.

Actualment existeix un excedent purins que, tot i ser repartit pels camps, no és assimilat ni per les plantes ni pel sòl. Els purins doncs, esdevenen un residu que lixivava cap al sòl i s'acumula en els aquífers més superficials i en alguns casos també en els més profunds.

Una altra font de contaminació a la conca de l'Ona són els contaminants de tipus residual, essent d'origen subterrani part del subministrament d'aigua a la majoria dels municipis de la zona. La presència de nitrats i/o fluorurs en alguns dels municipis ha fet que municipis com ara Quart, Llambilles, Cassà de la Selva i Llagostera, part o gairebé la totalitat de la seva

demanada la supleixin amb aigües del transvasament del Pastoral. En altres municipis com Riudellots

METODOLOGIA

- Mètode DRASTIC

La quantitat i qualitat de la informació disponible ha estat determinant en l'elecció de la metodologia. El fet d'estudiar aquífers superficials dels quals es disposava de prou dades fiables ha permès obtenir informació dels 7 paràmetres que requereix el mètode DRASTIC.

A més el fet d'haver utilitzat un mapa de semi detall que aconsegueixen una major definició de la vulnerabilitat aplicant aquesta metodologia. (Auge M, 2004). Per calcular l'índex i construir el mapa amb els resultats s'ha utilitzat el Sistema d'Informació Geogràfica (SIG), MiraMon. Aquest programa s'utilitza en àmbits científics, educatius i de gestió mediambiental des de 1994 i permet treballar tant amb capes ràster com amb capes vectorials.

El model DRASTIC va ser desenvolupat als Estats Units per l'Environmental Protection Agency (EPA) l'any 1987. Aquest mètode es desenvolupa en base tres assumpcions:

- Els possibles contaminants es troben sempre en superfície.
- Els contaminants arriben a la zona saturada pel mecanisme de la infiltració eficaç.
- El contaminant té la mobilitat de l'aigua.
- L'àrea avaluada és de 0.404 km² o més.(100 acres)

L'acrònim DRASTIC correspon a les inicials en anglès dels factors hidrogeològics i/o físics que tenen més control sobre la contaminació de les aigües subterrànies: profunditat fins l'aquífer (**D**), recàrrega neta (**R**), materials de l'aquífer (**A**), textura del sòl (**S**), Pendent (**T**) i permeabilitat (**C**). Aquests factors estan dividit segons un rang (p.ex., pendent %) i aquest rang es classifica amb valors que van d'1 a 10. Segons la influència que té cada factor en el càlcul de la vulnerabilitat se li assigna un pes.

L'equació per determinar l'índex DRASTIC és:

$$ID = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw.$$

On les lletres majúscules representen els set factors hidrogeològics, r fa referència al rang i w el pes.

- Software SIG utilitzat

El Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) utilitzat és MiraMon. Aquest programa s'utilitza en àmbits científics, educatius i de gestió mediambiental des de 1994 i permet treballar tant amb capes ràster com amb capes vectorials.

En general, els SIG ofereixen nombroses avantatges si els comparem amb la cartografia convencional, ja que, faciliten la gestió i maneig de dades espacials internament referenciades i permeten realitzar processos d'informació de tipus digital i mapes (García L, 1997). El càlcul

de l'índex final s'ha efectuat mitjançant el software GIS Miramon

- Treball de camp

S'han extret mostres de 30 pous que exploten aquífers superficials a la conca de l'Onyar. La campanya s'ha realitzat el mes de maig, final de l'època pluges. Els punts utilitzats formen part de l'inventari de Folch (2010), però un cop al camp s'han afegit punts per ampliar alguns sectors. En tots els casos es tracta de pous que estan en funcionament de forma habitual amb l'objectiu de obtenir una mostra representativa de l'aquífer. En tots els casos la mostra s'ha obtingut mitjançant bombeig de l'aigua del pou.

S'han agafat mostres per fer l'anàlisi de nitrats i complementàriament s'ha mesurat la temperatura, la conductivitat i el nivell piezomètric. En cas necessari, els valors de temperatura i conductivitat ens poden aportar informació complementària per a la interpretació dels resultats. El nivell piezomètric s'ha mesurat en pous no afectats pel bombeig, mesurant així el nivell hidràulic natural.

RESULTATS

El mapa de vulnerabilitat indica que en general, el potencial per contaminar les aigües subterrànies és baix o moderat. Aproximadament un 45% de l'àrea analitzada presenta baixa vulnerabilitat i el 55% restant moderada vulnerabilitat. Cap de les cel·les ocupades presenta vulnerabilitat alta, és a dir, totes les cel·les estan compreses en un rang de 23 a 180.

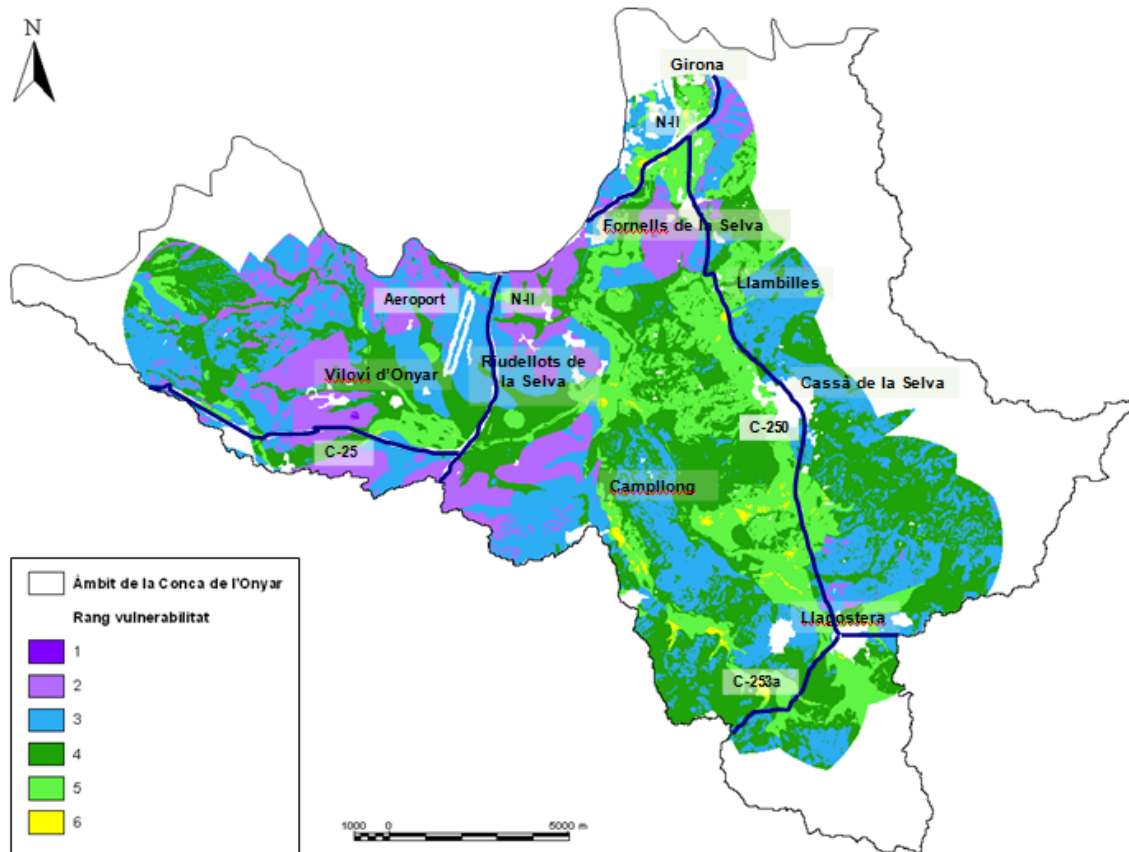


Fig. 1 Mapa de vulnerabilitat

La zona situada al NO de la conca, que va des de l'extrem més elevat fins a trobar-se amb la N-II, és la zona que presenta una vulnerabilitat més baixa. A l'altra banda de la N-II, aquesta tendència continua uns 3 Km aproximadament fins arribar a Riudellots de la Selva. Tot i ser la part menys vulnerable de la conca, presenta zones amb vulnerabilitat moderada. Una d'aquestes zones amb vulnerabilitat moderada corresponen als aqüífers al·luvials del Quaternari. Una segona zona amb vulnerabilitat moderada a l'extrem NO, correspon a una zona més elevada i de fort pendent, però que presenta un recàrrega elevada (de 180 a més de 250) mm.

La zona d'aqüífers al·luvials anteriorment descrita connecta amb una alta zona de vulnerabilitat moderada més extensa.

L'àrea d'aquesta zona és la que resulta de traçar una línia circular que parteix de Fornells de la Selva i va direcció NE passant per Llàmbilles fins a Cassà de la Selva, d'aquí continuar direcció S fins a Llagostera i torna direcció N cap a Fornells passant per Campià. Aquesta zona queda al costat esquerre de la C-250 i ocupa una extensió de 30 Km² de vulnerabilitat moderada.

La zona que queda al costat dret de la C-250, la més propera a les Gavarres compagina zones de vulnerabilitat baixa amb zones de vulnerabilitat moderada, però sense valors extrems. Aquesta tendència continua direcció N cap a Girona i direcció S cap a Llagostera.

La zona que queda a l'extrem S, compresa entre Llagostera i fins al límit de l'àrea d'estudi, presenta majoritàriament vulnerabilitat moderada amb alguna petita zona de vulnerabilitat baixa. En canvi a l'extrem N es poden diferenciar dues zones: una de vulnerabilitat baixa, propera a Riudellots de la Selva; i l'altra menys homogènia amb ambdues vulnerabilitats, propera Girona.

La vulnerabilitat més elevada (rang 6, 160-179) queda restringida a petites àrees puntuals dispersades i sempre rodejades d'àrees més o menys extenses de vulnerabilitat moderada.

- Validació del mapa de vulnerabilitat

Els mapes de vulnerabilitat han de ser validats amb mapes o estudis complementaris. En aquest cas es va realitzar una campanya de camp al mes de maig per analitzar les concentracions de nitrats de diferents pous superficials dins l'àmbit d'estudi. Es van analitzar un total de 30 mostres d'aigua d'aqüífers superficials. Per tal d'augmentar el nombre de dades i que aquestes fossin quantitativament i espacialment representatives, es va utilitzar dades de 21 pous de *l'Estudi de la contaminació per compostos nitrogenats en el context riu – aqüífer* (David López , 2011). El 72% dels anàlisis van donar com a resultat una concentració de nitrats inferior o igual a 50mg/l, concentracions

que és troben dins del marc legal comunitari en política d'aigües, Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 200/60/CE del 23 d'octubre de 2000). Tot i així, estudi previs (Menció A i Mas-Pla J, 2004) reporten concentracions de nitrats molt més elevades.

DISCUSSIÓ

Comparant el mapa de vulnerabilitat i el de concentracions (Fig. 1 i 2) veiem que a moltes zones, les àrees amb una vulnerabilitat baixa corresponen a zones amb una baixa concentració de nitrats i l'inrevés.

Però per poder fer una correcta interpretació del mapa de concentracions i poder establir si hi ha relació o no amb el mapa de vulnerabilitat, cal utilitzar eines que indiquin el risc d'una zona a partir de les activitats del territori i/o d'un possible accident de contaminació . Com s'ha mencionat anteriorment, les principals fonts de contaminació són d'origen residual o bé agrícola. Una eina que ens dona informació més o menys detallada de gairebé totes les fonts és el mapa d'usos del sòl. En aquest cas es va utilitzar el mapa d'usos del sòl de Catalunya de l'any 1997 (www.creaf.uab.es)

En una primera fase es va analitzar quin era l'ús del sòl i el rang de vulnerabilitat en

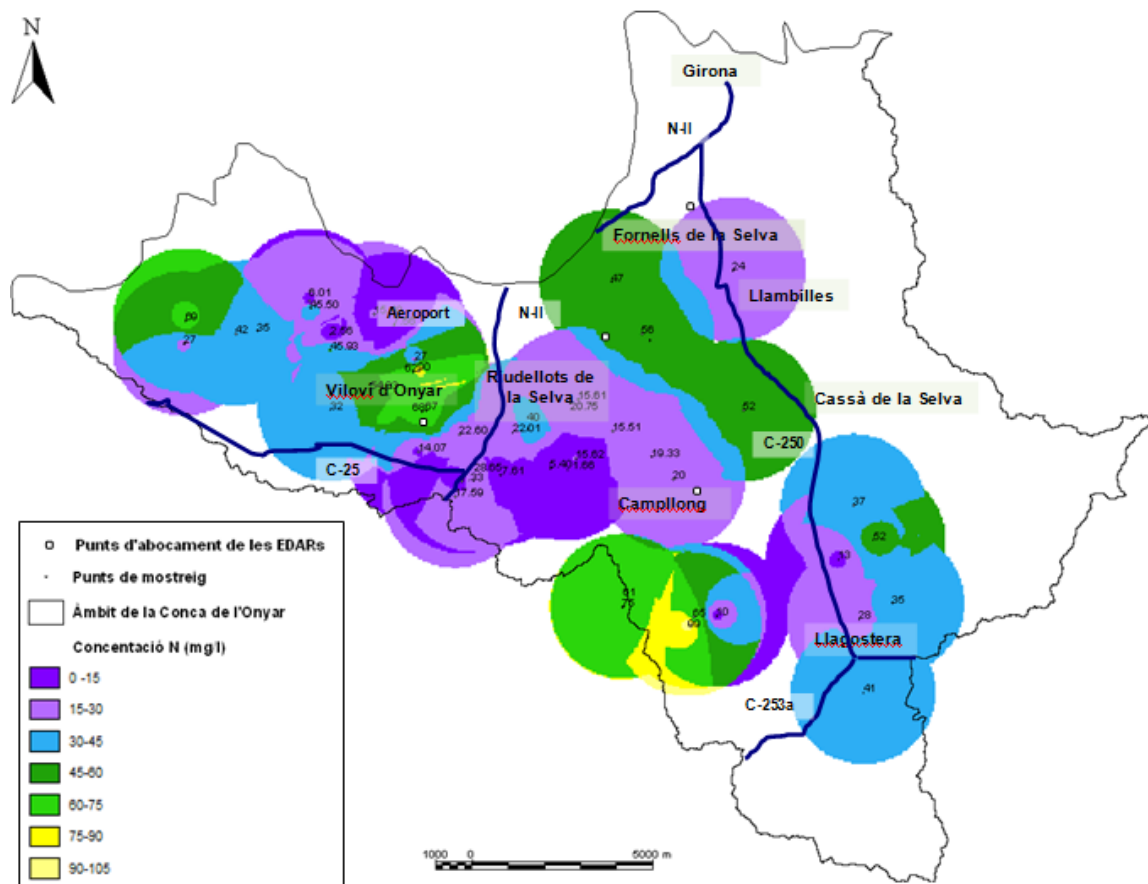


Fig. 2 Mapa de concentracions de nitrats.

el punt concret on es troba cada pou. Els resultats indiquen que un 70% dels pous d'on es van extreure les mostres es troben a la vora o a l'interior de camps de conreu herbacis de secà, un 14% en camps herbacis de regadiu, un 8% en bosc, un 6% en zones urbanes i el 2% restant en camps de fruiters de secà. A escala local, és a dir, analitzant la cel·la que ocupa el pou (15m x 15m) els resultats no estableixen cap relació entre el grau de vulnerabilitat d'una zona, la contaminació real i l'ús del sòl que s'hi aplica.

La desigualtat de percentatges, essent els conreus herbacis de secà l'ús del sòl dominant en detriment dels altres, dificulta l'establiment de correlacions entre l'ús del sòl d'una zona i el seu grau de contaminació. A part, com s'explicarà més

endavant, tant el nivell de representació com el nivell al que s'analitzen els resultats té una importància determinat per entendre els resultats.

En un segon estadi es va agafar com a unitat d'estudi els usos del sòl, simplificant el mapa original a quatre categories: conreus herbacis de secà, conreus herbacis de regadiu, fruiters de secà, fruiters de regadiu i bosc.

La desigualtat de percentatges, essent els conreus herbacis de secà l'ús del sòl dominant en detriment dels altres, dificulta l'establiment de correlacions entre l'ús del sòl d'una zona i el seu grau de contaminació. A part, com s'explicarà més endavant, l'escala a la que s'analitzen els resultats té una importància determinat per entendre'ls.

En un segon estadi es va agafar com a unitat d'estudi els usos del sòl, simplificant el mapa original a quatre categories: conreus herbacis de secà, conreus herbacis de regadiu, fruiters de secà, fruiters de regadiu i bosc.

De l'anàlisi conjunt del mapa de vulnerabilitat, el mapa de concentració de nitrats i el d'usos del sòl s'extreu que les zones amb conreus herbacis de secà i fruiters de secà no estan relacionades amb les zones amb una major concentració de nitrats, tot i que en molt casos estan ubicades en zones d'alta vulnerabilitat.

En canvi en certs casos s'observa que les zones de regadiu amb major vulnerabilitat són les que presenten les concentracions més altes de nitrats. De forma oposada també s'aprecia que els conreus herbacis regadiu i fruiters de regadiu que es troben en una situació de baixa vulnerabilitat també gaudeixen de baixa concentració de nitrats. Per tant, es pot apreciar que tot i que el mapes de vulnerabilitat presenten certes deficiències, si que poden indicar amb una fiabilitat relativa les zones amb les vulnerabilitats més altes i més baixes.

La interpolació dels punts de mostreig no diferencia entre aquífers del Neògen o bé aquífers al·luvials, per tant, tot i ser formacions diferents s'analitzen les dades d'una manera contínua. Tot i així, s'aprecia que en algunes zones, les concentracions de nitrats no es distribueixen de forma equidistant sinó que van més lligades a la formació geològica en la que s'ubiquen. Això fa que algunes zones, s'extrapolen les

concentracions de nitrats d'una formació a una altra poden donar lloc a errors d'interpretació ja que la connectivitat hidràulica no sempre és efectiva entre els diferents aquífers.

Resultats obtinguts en estudis anteriors mostren que els punts situats després de l'abocament de depuradores, no presenten una bona qualitat fisico-química de l'aigua. En alguns casos els volums d'aigua abocats per les depuradores superen i de llarg, la capacitat de dilució dels rius que reben les seves aigües.

En aquest sentit, les altes concentracions observades prop de Viloví d'Onyar podria ser conseqüència de l'abocament d'aigües residuals de la depuradora del poble, ja que localment, l'afecció dels bombaments fa que el riu tingui un caràcter influent (Menció A, Mas-Pla J, 2004). Degut a aquesta dinàmica, és possible que algun dels trams de l'aquífer proper a les depuradores i al riu presentin concentracions més altes de nitrats (Fig. 2).

CONCLUSIONS

Després de realitzar l'estudi de la vulnerabilitat de la conca de l'Onyar, a partir dels resultats obtinguts es poden extreure les següents conclusions. La metodologia DRASTIC basada en paràmetres hidrogeològics dona bons resultats quan s'analitza la vulnerabilitat a nivell de conca.

- La senzillesa de la metodologia la fa ser una eina pràctica per tenir una idea general de la vulnerabilitat, però sovint

els rangs o categories dels factors hidrogeològics són poc específics i no permeten un anàlisi més detallat.

- La manca de dades sobre alguns dels paràmetres força a establir relacions i/o fer extrapolacions que resten qualitat al resultat final. Tot i així, els resultats obtinguts en molts casos es compleixen a la realitat.
- Com s'ha vist, les formacions geològiques juguen un paper molt important en la caracterització de la vulnerabilitat. En aquest sentit, es podria millorar la interpretació dels resultats si es tingués en consideració el salt de formació geològica a la hora de fer la interpolació de concentracions.
- Els mapes de vulnerabilitat han de ser validats per altres estudis o eines que permetin identificar les possibles fonts de contaminació, per poder identificar finalment el risc real de contaminació.
- El mapa d'usos del sòl i la localització d'abocaments residuals inventariats, com ara les depuradores, són eines útils i de fàcil abast que ens aporten la informació per a la validació dels mapes de vulnerabilitat.
- Les zones amb conreus de secà, tot i ser possibles zones d'entrada de contaminants, no són tan significants com els conreus de regadiu. Probablement es deu a que els conreus de secà no necessiten una aportació extra d'aigua per reg i per tant el factor

recàrrega és inferior, limitant l'entrada de nitrogen al subsòl.

- Per aquest cas d'estudi, el mapa de vulnerabilitat ens indica les zones menys vulnerables independentment dels usos del sòl. De la mateixa forma, tenint en consideració les zones de vulnerabilitat més elevada, el mapa de vulnerabilitat ens pot indicar en alguns casos les zones de major risc de contaminació tenint en compte el mapa dels usos del sòl. Les limitacions en la quantitat i distribució de dades podrien ser la causa de que les zones amb conreu de regadiu i vulnerabilitat més elevada que la resta, no presentin concentracions més altes de nitrats.

AGRAÏMENTS

Al Dr. Albert Folch de la unitat de Geodinàmica Externa del Departament de Geologia, per les hores dedicades al projecte i els consells i visions aportades.

A la Dra. Anna Menció i al David López de la universitat de Girona per les dades cedides.

Al Dr. Joan Bach, coordinador del Departament d'Hidrogeologia de la Universitat Autònoma de Barcelona per deixar-me material de camp i laboratori.

Al Dr. Xavier Ponts i la Alaitz Zabala per l'ajut en el maneig de dades amb el software Miramon.

BIBLIOGRAFIA

ALBINET M, MARGAT J. (1970). "Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine". *Butlletí del Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)*, 2a sèrie 3(4), p. 13–22.

AUGE M, (2004). "Vulnerabilidad de Acuíferos". *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, 4, p. 85-103.

DOERFLIGER N i ZWAHLEN F, (1997). "EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment". *Karst Waters and Environ Impacts*, p. 117-123.

FOLCH A, (2010). "Geological and human influences on groundwater flow systems in range-and-basin areas: the case of the Selva Basin". Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.

FOSTER, S. (1987). "Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy". *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*, 38, p. 69–86.

GARCIA L, (1997). "Algunos aspectos relevantes en proyectos de información geográfica". Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Madrid (Espanya).

LÓPEZ, D (2011). "Estudi de la contaminació per compostos nitrogenats en

el context riu – aquífer ". Tesina de Màster, Universitat de Girona.

MENCIÓ A i MAS-PLA J, (2004a). L'estat hidrològic i ecològic dels ecosistemes fluvials de la depressió de la Selva (Girona). Estudi presentat al IV Congrés Ibèric i Planificació de l'Aigua. p. 10.

MENCIÓ A i MAS-PLA J, (2004b). Anàlisi de la distribució dels compostos nitrogenats en el medi hidrològic de la conca del riu Onyar (Gironès). Estudi presentat al IV Congrés Ibèric i Planificació de l'Aigua. p. 10.

VRBA J, ZAPOROZEC A, (1994). "Guidebook on mapping groundwater vulnerability". *International Association of Hydrogeologists (IAH)* 16, p. 1-131.