

CARACTERITZACIÓ HIDROGEOLÒGICA DELS AQÜÍFERS DE LA PLANA DE L'ALT CAMP (TARRAGONA)

*Mario Iglesias-Martínez, Santos Jiménez
Parras, Sergio López Sánchez,
Thiago Ramos Bonis Silva*

Paraules clau: Alt Camp, hidrogeologia, aqüífer, nitrats.

Resum: La comarca de l'Alt Camp constitueix una extensa plana travessada pels rius Francolí i Gaià, que discorren sobre els materials de reompliment de la depressió de Valls-Reus. Aquests materials estan constituïts per nivells decamètrics de sorres i graves, separats per paquets de llims i argiles, i generen un sistema aqüífer multicapa de gran extensió. Es van identificar direccions locals i preferents de flux (NW, NE, E), convergents en un flux regional nord-sud, a favor dels gradients topogràfics i amb aportacions laterals des de les serralades limítrofes. Aquestes aportacions queden representades per la piezometria i per la química de les aigües subterrànies, classificades com a bicarbonatades i sulfatades calcicomagnèsiques, i corresponent a aigües que han circulat per materials carbonatats, dolomítics i evaporítics. La contaminació per nitrats condiciona la qualitat química de les aigües subterrànies, i presenten concentracions elevades (>50mg/L) en molts punts.

Abstract: The Alt Camp region covers a huge prairie crossed by the Francolí and Gaià rivers, which flow over the filling materi-

als from the Valls-Reus depression. Those materials are composed by decametric levels of sand and gravel, separated by layers of clay and slime, building up a vast multi-stratum aquiferous system. Local and preferential flow directions (NW, NE, E) were identified, converging on a regional north-south flow, favoring topographic slopes, and with side supports coming from the nearby mountains. Those supports are represented by the piezometry and the chemistry of underground water, classified as bicarbonate and sulphurized calcium-magnesian, belonging to water which has flown through carbonated, dolomitic and evaporitic materials. Nitrate pollution may alter the chemical quality of underground water, showing high concentration (>50mg/L) in many areas.

I. Introducció

El següent estudi exposa els resultats dels treballs realitzats per a l'obtenció del diploma del 42 Curso Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS – Universitat Politècnica de Catalunya), i integra els informes tècnics dels geòlegs Iglesias i López (2008) i Jiménez i Ramos (2008).

I.1 SITUACIÓ GEOGRÀFICA

La zona d'estudi correspon a la comarca de l'Alt Camp (Tarragona), situada a uns 100 km de Barcelona. L'àrea ocupa una extensió aproximada de 260 km² i engloba dinou municipis. Valls i Alcover són els principals nuclis urbans.

La major part de l'Alt Camp coincideix amb una extensa plana disposada segons la direcció NE-SW, i limitada al nord, est i oest per zones muntanyoses pertanyents al Sistema Prelitoral Català (Serralada Prelitoral) i que, localment, reben el nom de Muntanyes de Prades i serra de Miramar (a l'oest), serra d'Ancosa (al nord-est) i els contraforts del massís de Bonastre (a l'est).

La plana està travessada de nord a sud pels rius Francolí i Gaià (Figura 1), i representa un escàs desnivell topogràfic que va des dels 250-300 metres al nord, per sobre el nivell del mar, fins als 120 metres en el seu extrem més meridional.

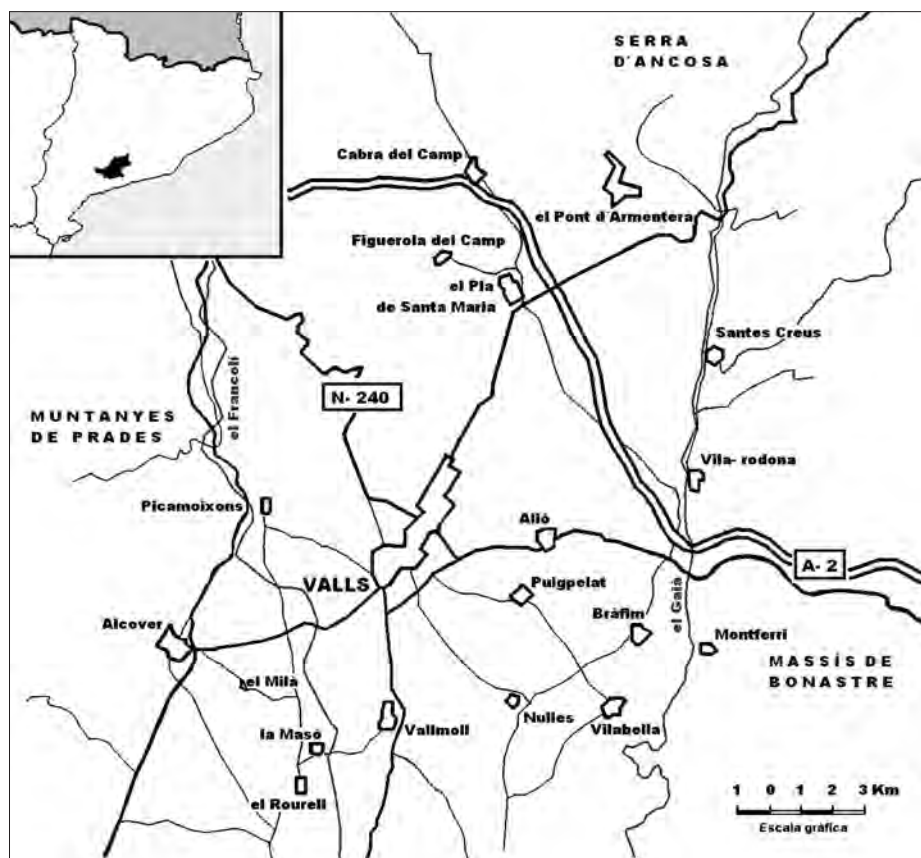


Figura 1. Mapa de localització de la zona d'estudi.

1.2 HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Excepte l'extrem oriental, la major part del territori de l'Alt Camp pertany a les conques hidrogràfiques del Francolí i del Gaià. La conca del Francolí és la més extensa, ja que aproximadament ocupa el 60% del territori comarcal. El Francolí entra al Camp de Tarragona a través de l'estret de la Riba. Un cop dins de la comarca, el Francolí presenta un cabal mitjà d' $1,39 \text{ m}^3/\text{s}$ (Gencat, 2007). Aquest cabal s'incrementa amb aportacions dels afluents del seu marge dret, especialment els rius Brugent, Glorieta i d'altres barrancs de menor importància. Cal destacar que les aportacions de les aigües subterrànies són més abundants que les superficials en aquesta part del curs fluvial.

Pel que fa a l'altre riu important, el Gaià té un cabal mitjà de $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$ al seu pas per l'estació d'aforament de Querol (Gencat, 2007). Aquesta quantitat s'inc-

menta pràcticament de manera exclusiva a partir de les surgències i aportacions de *manantials*; cal dir que els seus afluents pertanyen majoritàriament a barrancs de curt recorregut i cabal intermitent que drenen les muntanyes del nord i de l'est.

Tant el Francolí com el Gaià tenen un règim irregular d'acord amb el comportament de les precipitacions de les quals s'alimenten. Presenten llargs períodes estivals durant els quals el cabal disminueix de manera considerable i és totalment captat per les derivacions. Aquest fet comporta l'assecament del riu en el seu tram final (cas del Francolí). Tanmateix quan es produeixen pluges molt intenses experimenta crescudes que de manera ocasional poden tenir caràcter catastròfic com les de Santa Tecla (1874), la del Gaià (1922) o la de Sant Lluç (1930).

2. Marc geològic i unitats hidrogeològiques

La comarca de l'Alt Camp està situada geològicament al sector meridional dels Catalànids, en concret a la denominada depressió Reus-Valls. Adopta l'orientació preferent NE-SW, limitada al NW pel massís del Priorat, que la separa de la depressió terciària de l'Ebre, i al SE per l'Arc de Bonastre.

La zona d'estudi constitueix una successió estratigràfica de materials mesozoics i cenozoics dipositats de manera discordant sobre un sòcol paleozoic fracturat, plegat i travessat per dics volcànics. Els afloraments dels relleus muntanyencs corresponen sobretot a roques paleozoiques (pissarres i quarsites del període Carbonífer) i calcàries, dolomies, guixos, margues i lutites d'edat triàsica i cretàcia (Figura 2).

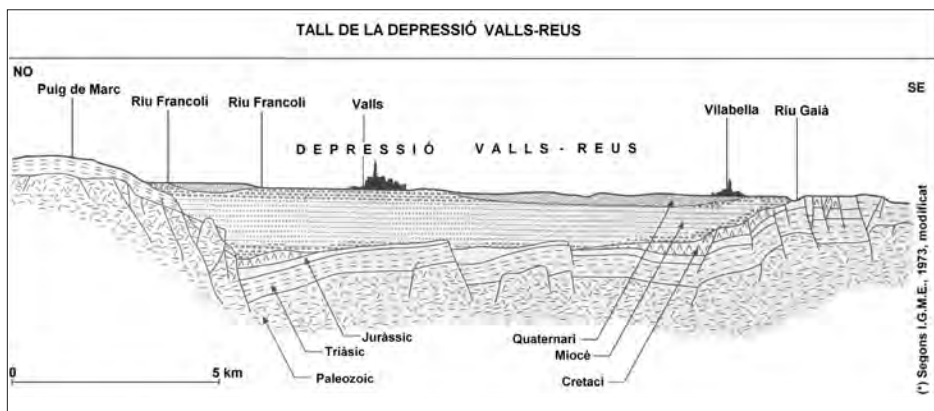


Figura 2. Perfil geològic de la depressió Valls-Reus (CRUSELLS et al., 2000).

La plana de l'Alt Camp queda encaixada entre les roques més antigues, i constitueix una important cubeta de sedimentació o graben, amb una longitud aproximada de 60 km i una amplada mitjana molt constant de l'ordre de 15 km (BENZAQUEN *et al.*, 1972). A més, està condicionada pels processos compressius eocenoligocens (53-23 Ma) i per la distensió miocena (23,5-6,5 Ma). Així, doncs, permet el reompliment de la depressió a través de processos de subsidència i dóna lloc als actuals relleus.

2.1 UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES

A la zona d'estudi es poden caracteritzar quatre unitats hidrogeològiques amb potencial per a l'emmagatzemament d'aigua subterrània: les pissarres i grauvaques paleozoiques, les calcàries de les Muntanyes de Prades (mesozoic), la plana central formada per materials miopliocaternaris (neogen) i els dipòsits al·luvials quaternaris dels rius Francolí i Gaià.

- **Paleozoic:** Sistema aquífer que aflora al peu de les Muntanyes i la serra de Miramar. Està format per pissarres, grauvaques i microconglomerats, que en conjunt assoleixen un gruix mitjà de 400 m. Malgrat tenir una matriu molt poc permeable, l'aigua circula a través d'aquests materials per les nombroses fractures que presenten. Les roques paleozoiques formen l'estructura encaixant de l'aquífer de la plana de l'Alt Camp, i existeix una gran superfície en contacte entre si. Les nombroses falles paral·leles a la serra de Miramar faciliten el pas de les aigües subterrànies des dels materials fracturats fins als aquífers d'edat neògena.
- **Mesozoic:** Es tracta d'un aquífer format principalment per dolomies i calcàries carstificades, corresponents als nivells del Muschelkalk inferior i superior, amb una potència mitjana de 150 m. El Muschelkalk mitjà està format majoritàriament per materials argilosos, de manera que l'aquífer queda dividit en dos per aquesta capa menys permeable. Els afloraments d'aquesta unitat donen lloc a gran part de les zones muntanyoses circumdants.
- **Neogen:** És un aquífer d'origen al·luvial que abasta gran part de la plana de l'Alt Camp. Aquest sistema aquífer es pot considerar com a multicapa format per cicles detrítics de granulometria grollera a la base (graves i sorres), i abundants llims i argiles més cap al sostre, també formen capes de baixa permeabilitat denominades aquíferts. El gruix dels materials pot superar els 350 m.

Com a resultat de la testificació litològica del sondeig d'investigació Bayona (CRUSELLS *et al.*, 2000) s'han pogut diferenciar tres nivells aquífers:

- **Nivell superior:** A les proximitats de Valls, situat a uns 20-30 m de profunditat, presenten una potència de 20 a 30 m. A la zona del Pla de Santa Maria arriba a una potència de 55 m.

- **Nivell intermedi:** Apareix de forma discontinua, ja que només s'ha pogut localitzar en els sondeigs dels pous Baiona, entre els 53 i 63 m de fondària.
- **Nivell inferior:** Es troba entre els 175 i 185 m de profunditat.

Representant un ambient diferenciat, el con de dejecció d'Alcover està constituït majoritàriament per potències importants de graves amb matriu parcialment sorrenca (fins a 200 i 300 m de gruix), pròpies de l'erosió dels últims 20 milions d'anys de les Muntanyes de Prades. Aquest subambient correspon a un dels millors sistemes hidrogeològics en relació amb l'abundància del recurs hídic subterrani.

- **Quaternari:** Queda representat per una capa molt fina que recobreix gran part de la comarca, sobretot les zones més planeres. Dominen els dipòsits de graves a les lleres actuals dels rius Francolí i Gaià, i cobreixen a la vegada una gran extensió superficial cultivada de manera intensa. Són graves ben rodades amb matriu sorrenca i argilosa, i diàmetres de fins a 40 cm. En alguns sectors aquests dipòsits s'hi troben formant terrasses fluvials a diferents alçades per sobre la llera del riu (entre 6 i 10 m de desnivell). Lateralment, disminueixen la mida del gra per formar la plana d'inundació, i passen a llims i argiles de tonalitat rogenca. Un altre àmbit de sedimentació quaternària són els dipòsits torrencials o rambles formats per materials detrítics fins amb còdols grollers i distribuïts irregularment al llarg de paleocanals (poden assolir gruixos decamètrics).

Cal destacar que en aquest treball s'han considerat conjuntament l'aqüífer neogen i el quaternari a causa de la seva semblança litològica i la dificultat per a la diferenciació d'ambdós en profunditat.

3. Inventari de punts d'aigua

Per a l'elaboració del present estudi es va realitzar un treball de camp durant els mesos de març i abril del 2008 amb l'inventari d'un total de 96 punts d'aigua. Entre aquests 96 punts, 4 corresponen a surgències, 4 més a cursos fluvials i la resta a pous agrícoles d'abastiment per a la població o industrials. Es va mesurar la cota absoluta del nivell d'aigua en 65 punts i es van prendre mostres a 40 dels punts per a la realització de les seves corresponents anàlisis químiques. La major part dels pous inventariats estan construïts amb intubació de ferro, diàmetre mitjà d'uns 300 mm i profunditats que van dels 40 m als 230 m. La resta de captacions, 16 en total, corresponen a pous de gran diàmetre (de 800 mm a 1.200 mm) i presenten profunditats bastant inferiors que oscil·len entre els 7 m i 25 m. Aquests últims a diferència dels primers són gairebé tots d'ús privat, a excepció del pou de gran diàmetre que abasta la població de Montferri.

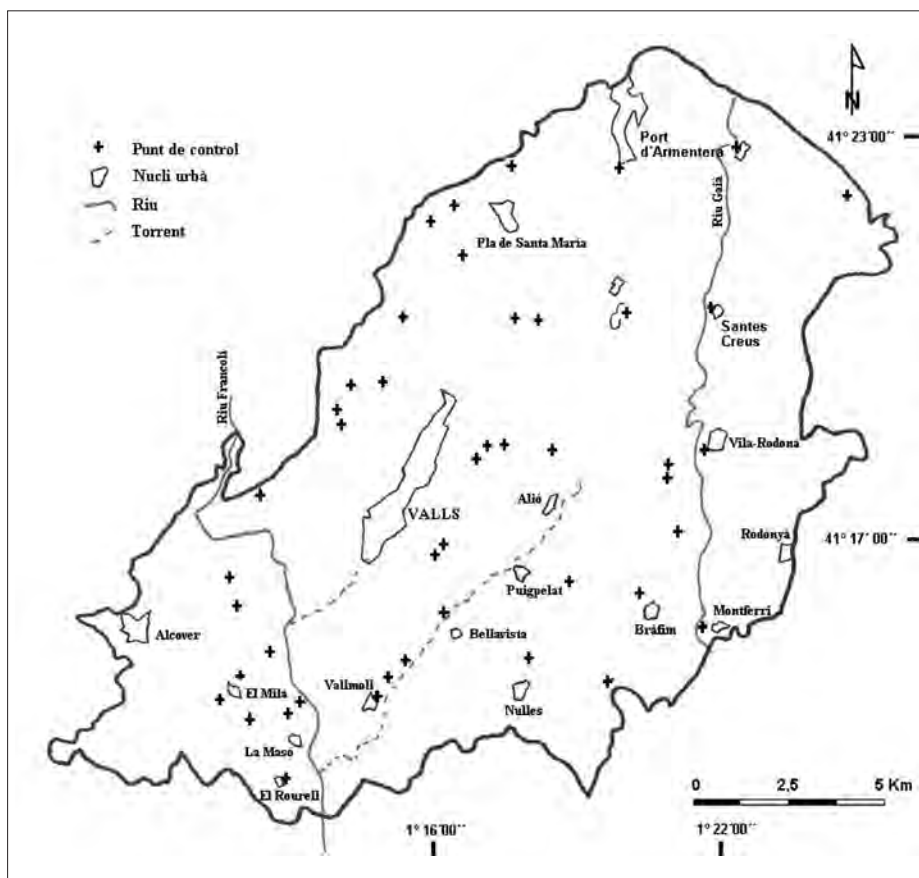


Figura 3. Mapa de localització dels punts d'aigua inventariats.

Els punts inventariats estan distribuïts de manera que representin la major part de l'àrea d'estudi. Tot i això, es pot observar una major densitat de punts en alguns sectors (Figura 3) a causa de l'existència de zones més densament poblades, també reflecteixen més concentració en centres urbans, urbanitzacions, granges i indústries, com és el cas dels polígons industrials de Valls i el del Pla de Santa Maria. La zona est corresponent a la conca del riu Gaià disposa de recursos hídrics superficials durant tot l'any, de manera que les captacions subterrànies són escasses.

El control dels abastiments dels centres urbans està administrat, o bé per empreses privades com Sorea, o bé pels mateixos ajuntaments. Els pous destinats al reg són abundants i la majoria no es troben regularitzats; això dificulta, d'aquesta manera, la quantificació dels cabals extrets per a aquest ús.

4. Piezometria

A partir de les mesures de nivell preses a 63 punts distribuïts amb la màxima representativitat possible, es va traçar un mapa de la cota del nivell de l'aigua en el subsòl o mapa piezomètric (Figura 4).

Si observem l'anàlisi del mapa piezomètric (abril del 2008) de la zona, deduïm un flux subterrani regional de nord a sud, amb petites variacions en la seva direcció. Aquest flux s'alimenta per tres entrades principals d'aigua a l'aqüífer: dues situades al nord de l'Alt Camp i una procedent de la serra de Miramar, segons el sentit nord-oest a sud-est i una altra provinent del massís de Bonastre, de nord-est a sud-oest. De la tercera entrada a la zona sud de la comarca se'n deriva un flux en sentit nord-oest a sud-est amb el seu origen a les Muntanyes de Prades.

Pel que fa als gradients hidràulics mantenen una concordança lògica amb la topografia de la zona, ja que són majors en les proximitats de les Muntanyes de Prades, serra de Miramar i massís de Bonastre i, en general, força laxes en tota la plana central.

De manera general, en els rius i torrents de la zona domina el caràcter efluent, on els cursos fluvials reben aportacions de l'aqüífer:

- El riu Francolí és efluent a la major part del seu recorregut per l'Alt Camp, només en algun tram més septentrional abans d'entrar a la plana pel coll de Picamoixons, i algun punt del marge dret proper a la confluència amb el torrent del Puig es comporta de forma influent, és a dir, aporta aigua a l'aqüífer.
- El riu Gaià és de manera marcada efluent a gairebé tot el seu curs, sobretot a la zona nord on rep aigua de fonts i altres surgències naturals en els trams on el riu presenta la seva llera més encaixada. Cap al sud, aquestes aportacions disminueixen i arriben a equilibrar-se el nivell piezomètric i el nivell de base del riu a l'alçada del municipi de Montferri.
- Els torrents de Valls afluents del Francolí són receptors al seu pas per la capital i lleugerament influents cap al sud, quan conflueixen en el torrent del Puig i aquest s'aproxima al riu Francolí.
- El riu Glorieta, en canvi, és sobretot influent al seu pas per la depuradora d'aigües residuals (Edar) al sud d'Alcover, amb un cabal molt condicionat a l'època de pluges.

Al sud de l'Alt Camp, entre els dos rius principals (Francolí i Gaià), s'estén una àmplia plana que a causa de la presència de petits alts i baixos geogràfics, i les extraccions realitzades per a l'abastiment del municipi de Vila-rodona i el Polígon Industrial de Valls provoquen desviacions en la direcció dominant del flux.

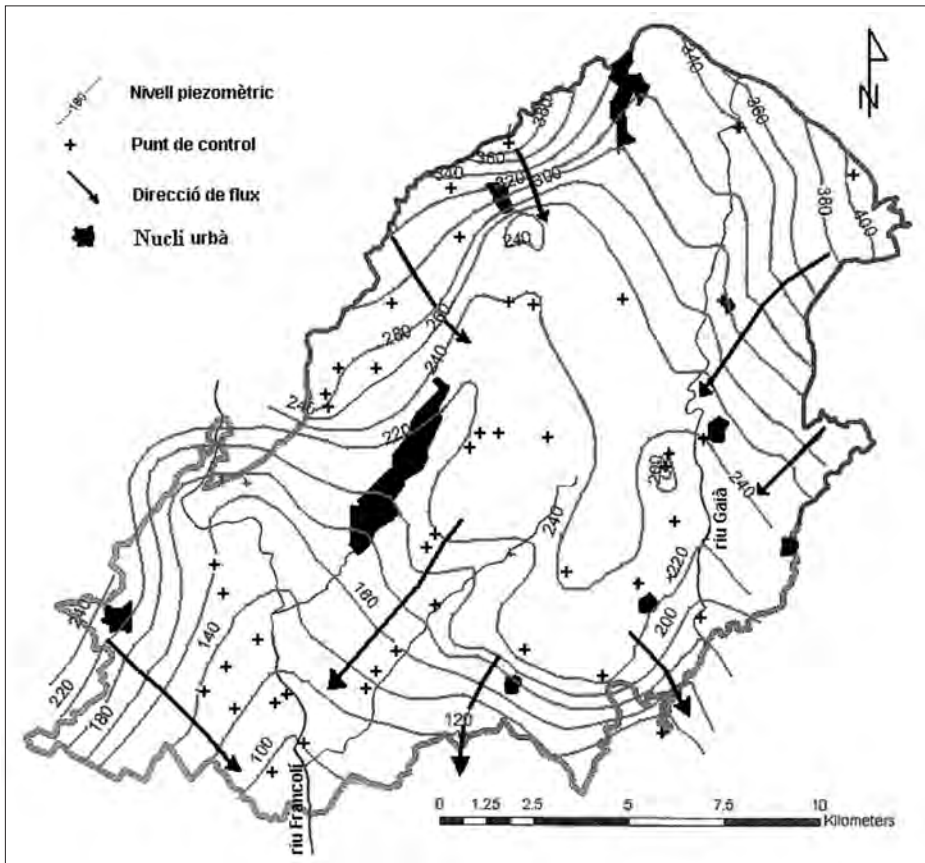


Figura 4. Mapa piezomètric de l'àrea d'estudi i direccions principals de flux.

5. Estudi hidroquímic

5.1 INTRODUCCIÓ

Es van analitzar un total de 40 punts d'aigua per a la seva anàlisi hidroquímica, seleccionades amb l'objectiu de caracteritzar les aigües dels aqüífers, definir la seva relació amb el context geològic i avaluar el grau de contaminació per nitrats. Les mostres es van analitzar en els laboratoris Agbar, on es van determinar gairebé la totalitat dels ions fonamentals, l'alcalinitat i els paràmetres fisicoquímics:

Ions fonamentals: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i Si .

Ions minoritaris: Fe^{2+} , NH_4^+ , B^- , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^+ , Ni^{+2} i Cr^+ .

Paràmetres fisicoquímics: alcalinitat, pH, conductivitat elèctrica i terbolesa.

Amb la finalitat de comprovar la qualitat de les anàlisis es va realitzar el balanç de cations i anions, i es va obtenir l'error d'aquestes anàlisis. En general, els errors són assumibles, inferiors al 7%, i trobem només 4 mostres amb errors majors, però mai superiors al 10%. D'aquesta manera, cap de les anàlisis s'han descartat per a la realització de la caracterització hidroquímica.

5.2 ANÀLISI HIDROQUÍMICA

En el diagrama de Piper (Figura 5) s'observa la representació de les anàlisis químiques dels 40 pous on es van agafar les mostres:

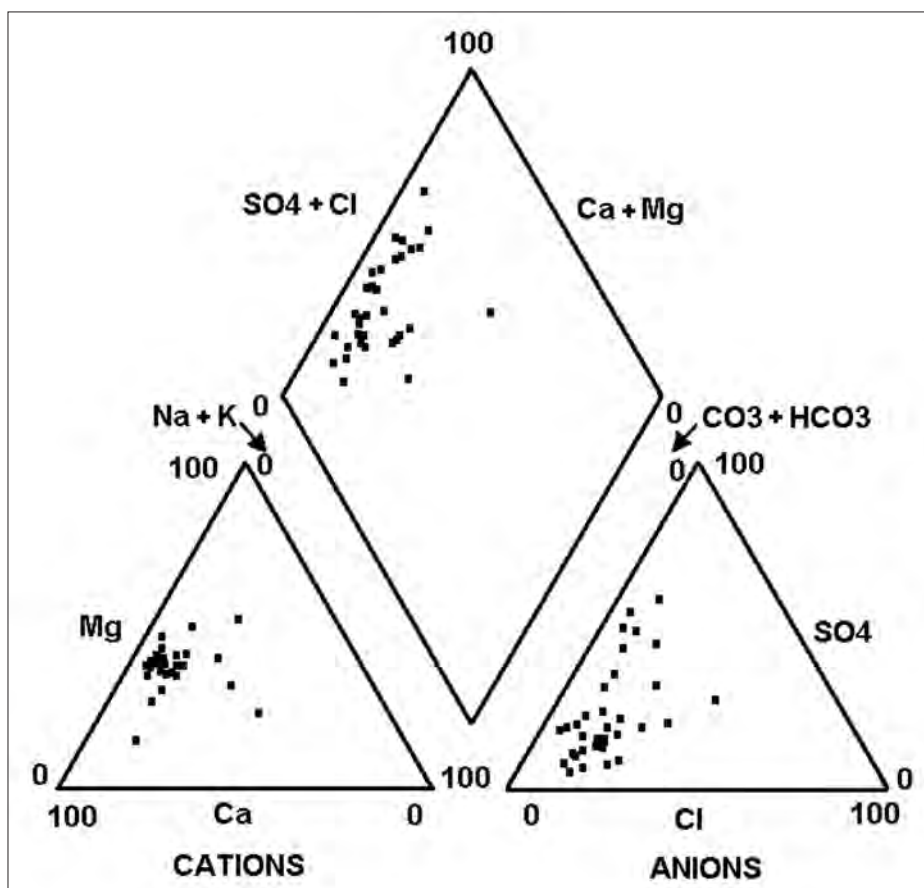


Figura 5. Diagrama de Piper que mostra la composició química de les aigües subterrànies.

Les característiques hidroquímiques de les aigües de l'aqüífer multicapa de la plana de l'Alt Camp indiquen una influència dels ambients carbonàtics, i presenten des d'un pH neutre fins a un lleugerament més alcalí, amb una oscil·lació de 7,1 a 8,2. Les mostres corresponen a les aigües bicarbonatades calcicomagnèsiques, amb continguts en bicarbonat que en el 70% de les mostres superen els 300 mg/l. Tot i això, existeix una forta presència de sulfats que fa que algunes mostres quedin dins del camp de les aigües sulfatades calcicomagnesianes. Les mostres sulfatades coincideixen amb pous propers als límits oriental, nord-oriental i occidental (les Muntanyes de Prades, serra d'Ancosa i massís de Bonastre) on existeixen afloraments triàsics (Keuper), i s'associa la presència de sulfats al rentat del guix d'aquestes fàcies. Alguns punts aïllats presenten altes concentracions de sulfats (i clorurs) de ben segur relacionades amb accions antròpiques.

5.3 ORÍGENS DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES

La composició de les aigües subterrànies mostra la interacció mitjançant processos fisicoquímics de l'aigua de recàrrega amb els materials que travessa. D'aquesta manera, les aigües que han circulat per terrenys carbonàtics tendeixen a presentar continguts elevats en calci (Ca) i bicarbonat (HCO_3), les aigües que passen per terrenys amb guixos es troben més carregades en sulfats (SO_4), i les que circulen per materials dolomítics són més riques en Ca i Mg.

A la comarca de l'Alt Camp es poden distingir quatre orígens principals per a les aigües subterrànies: infiltració per pluja, recàrrega per l'aqüífer paleozoic a la zona NW, recàrrega per l'aqüífer mesozoic i l'aigua d'abocament de la depuradora.

- **Infiltració per aigua de pluja:** D'una forma general, la composició de l'aigua de pluja és molt variada, dominada per l'anió clorur (Cl^-) a prop de la costa, i el SO_4 cap a l'interior. En l'àrea d'estudi i, en general, en àrees de clima mediterrani hi ha èpoques de l'any on l'evapotranspiració potencial és superior a la pluviometria, la qual cosa provoca l'absència de recàrrega i l'acumulació de sals en el subsòl aportades per la pluja (CUSTODIO i LLAMAS, 1984). Durant l'època humida es pot produir recàrrega de l'aqüífer, i es produeix la infiltració d'aigua lleugerament més salina que l'aigua de pluja, a causa del rentat de les sals dipositades en èpoques més seques. Aquesta aigua d'infiltració presenta concentracions en clorurs inferiors a 100 mg/l, a excepció d'alguns punts on existeix una major quantitat a causa de factors antròpics, com és el cas d'una de les mostres influenciades per l'aigua abocada per la depuradora.
- **Recàrrega per l'aqüífer paleozoic:** L'aqüífer paleozoic està format sobretot per pissarres fracturades i fallades on l'aigua subterrània és, en general, poc mineralitzada. A la població de Masmolets tenim constància de l'existència d'aigües més salines, enriquides en Mg i Na, i relacionades amb la presència d'un bloc volcànic producte de l'efusió de magmes d'edat carbonífera (ALBALAT *et al.*, 2005).

- **Recàrrega per l'aquífer mesozoic:** Les aigües provinents dels aquífers mesozoics mostren la interacció amb els materials carbonàtics, dolomítics i guixos del Muschelkalk i Keuper, els quals afloren en les serres veïnes. Aquesta aigua està mineralitzada principalment en Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- i SO_4^{2-} .
- **Abocament de depuradora:** Alonso i Ballarini (2006) van realitzar una anàlisi hidroquímica de l'aigua provinent de l'abocament de la depuradora del Pla de Santa Maria, on es va definir l'aigua com a clorurada-bicarbonatada-magnesià amb un elevat contingut del catió magnesi. Les anàlisis químiques dels últims dos anys facilitades per l'ACA de la depuradora d'Alcover, situada al riu Glorieta, no van mostrar valors anòmals, però sí que apreciaven elevades concentracions de sulfats i nitrats.

5.4 EVOLUCIÓ HIDROQUÍMICA DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES

L'aquífer multicapa de la plana de l'Alt Camp està format per alternances d'argiles, sorres i grava, d'edat neògena a quaternària (~50 Ma – actualitat), provinents de l'erosió de la Serra Prelitoral. A més està compost per materials parcialment cementats per carbonat càlcic, tant el ciment com els constituents de la matriu contenen materials solubles que poden ser alliberats mitjançant la interacció amb aigua que prové d'infiltració, i dona origen a una aigua bicarbonatada-càlcica-magnèsica. Com s'ha vist anteriorment, les aigües subterrànies d'aquest aquífer reben aportacions de diverses fonts (infiltració d'aigua de pluja, aquífers paleozoics i mesozoics, abocaments antròpics) que condicionen la química de les seves aigües.

Les aigües provinents de l'aquífer mesozoic mostren la influència dels materials carbonàtics, dolomítics i guixos del triàsic (Muschelkalk i Keuper), els quals afloren a les serres properes. Aquestes aigües mineralitzades majoritàriament en Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- i SO_4^{2-} al llarg del seu recorregut no presenten una important interacció amb el terreny, ja que són els mateixos ions que el terreny aportava. No obstant això, les aigües subterrànies pateixen processos de barreja amb les aigües provinents de la infiltració d'aigua de pluja, i donen com a resultat una disminució de la concentració de sulfats.

L'aigua provinent de l'aquífer paleozoic té una baixa salinitat, però augmenta al mateix temps que l'aigua interacciona amb els materials neògens, i genera un enriquiment en Ca^{2+} , Mg^{2+} i bicarbonats.

La depuradora del Pla de Santa Maria i, en menor grau, la d'Alcover aboquen aigües força mineralitzades principalment en ions Mg^{2+} i Cl^- . Aquestes aigües es barregen amb aigües del mateix aquífer i generen un enriquiment local en la concentració de clorurs.

Des del punt de vista de la composició química de les aigües, sembla que hi ha un augment del grau de l'evolució geoquímica en la direcció del gradient hidràulic. Es van escollir alguns punts al llarg de les línies de flux (separades uns quants qui-

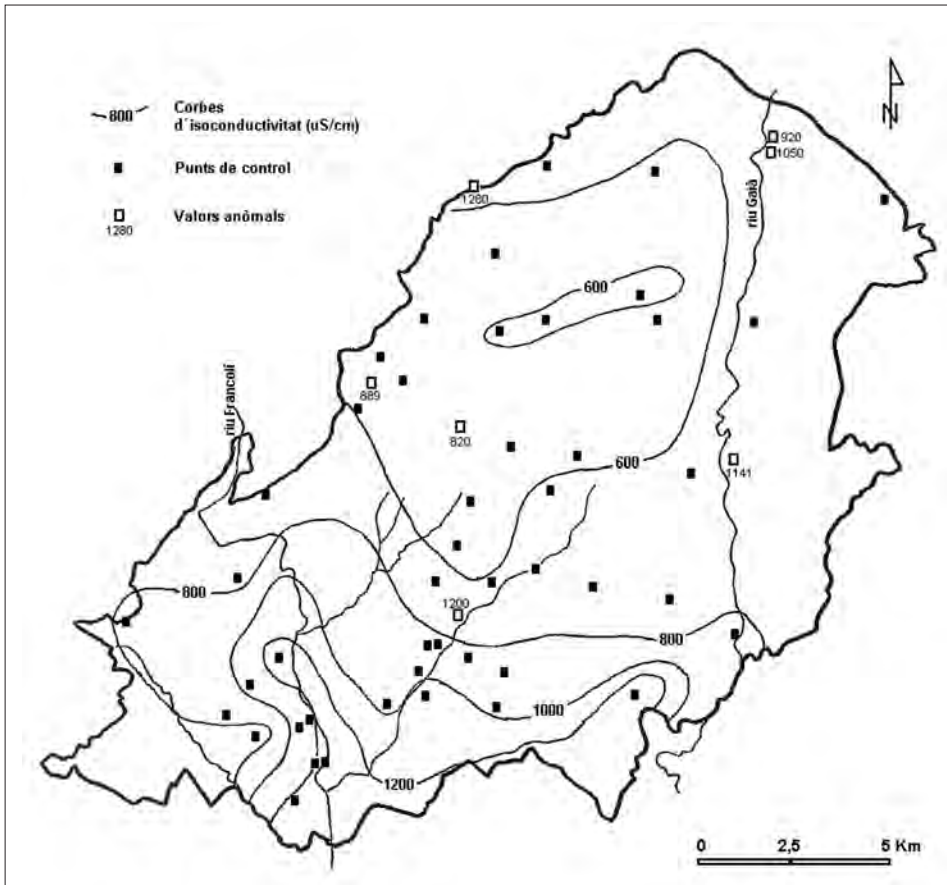


Figura 6. Mapa de conductivitat elèctrica de les aigües subterrànies.

lòmetres), i es va detectar un augment significatiu en la concentració de sals que segueix la direcció nord-sud del flux regional (representada per la conductivitat elèctrica). Apareixen valors des de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fins a concentracions de >1.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aquests últims coincideixen amb majors períodes de residència i distància recorreguda de les aigües subterrànies en el terreny (Figura 6).

Un altre factor important relacionat amb la hidroquímica de les aigües subterrànies és la contaminació antròpica per agents industrials, agrícoles o urbans. Aquesta contaminació queda evidenciada per les elevades relacions $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$, com es va comprovar en alguns pous de poca fondària i als deus de les poblacions del Pont d'Armentera i Vila-rodona que capten aigua dels nivells superiors de l'aqüífer multicapa.

5.5 CONTAMINACIÓ PER NITRATS

Existeix una important diferenciació entre la zona nord i la zona sud de la comarca respecte al grau de contaminació per nitrats. Els estudis realitzats mostren que en la zona nord l'estat de la contaminació pot considerar-se incipient, i hi ha només concentracions elevades a dos dels pous. En el cas de la zona sud, el valor mitjà de les mostres analitzades era de 49,6 mg/l, de les quals el 40% van superar el valor crític de potabilitat de 50 mg/l establert per la Directiva Europea 98/03, fins arribar a un valor màxim de 298 mg/l, detectat a un dels pous analitzats. Aquestes dades reflecteixen un alt grau d'afecció per contaminació difusa d'aquesta espècie iònica a la zona, i dificulta l'ús de boca a diferents poblacions, com és el cas del Milà. L'àrea d'estudi concentra una important activitat ramadera porcina, i la utilització de purins com a fertilitzants és una pràctica molt comuna. La degradació dels ferti-

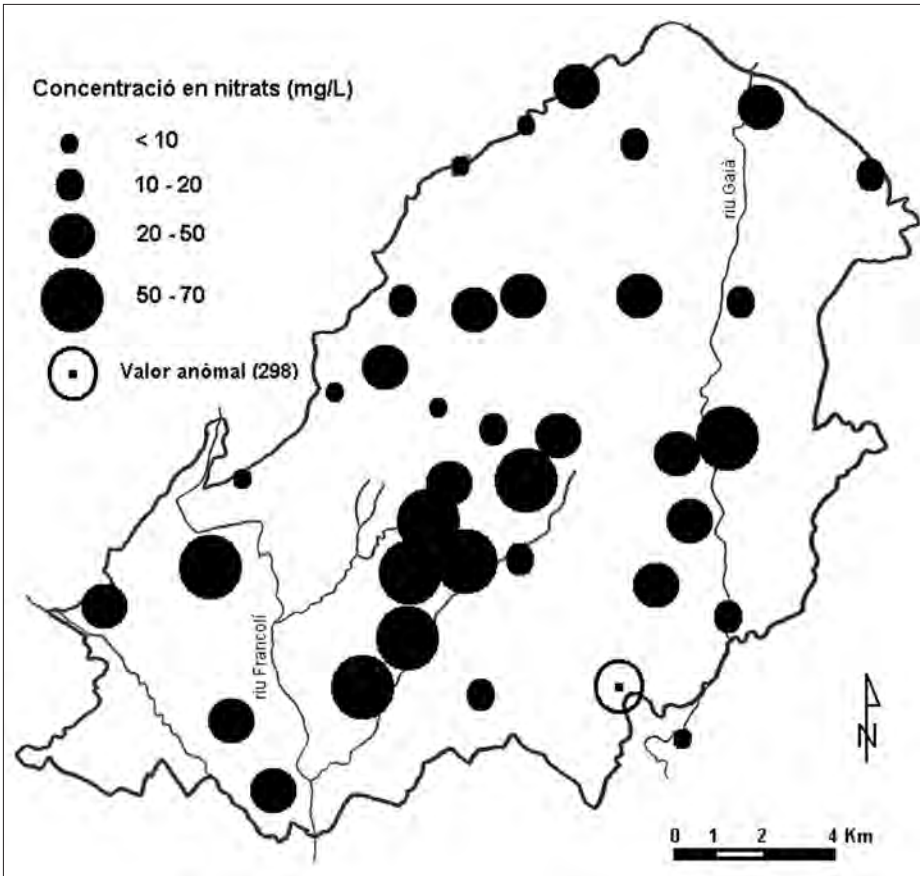


Figura 7. Mapa de la distribució de nitrats.

litzants sintètics i orgànics (purins) genera una important quantitat de compostos químics entre els quals es troben els nitrats que amb les precipitacions s'infiltra en el terreny i acaben per incorporar-se a les aigües subterrànies.

La suma de les contaminacions puntuals fa que es produeixi un progressiu enriquiment per nitrats en la direcció del flux, i fa que aigües avall (municipis de la zona sud) presentin valors més elevats (Figura 7).

Per confirmar l'origen agrícola dels nitrats es va analitzar la relació clorur-nitrat, tal com recomana la British Geological Survey. El resultat obtingut va descartar la hipòtesi d'un origen residual urbà, i va quedar l'agrícola com a causa de la contaminació.

Sense poder arribar a cap resultat concloent, sembla que existeix una tendència dels pous superficials a presentar una major concentració de NO_3^- que els profunds, encara que tres d'aquests últims també van presentar continguts superiors a 50 mg/l (Figura 8). A causa del desconeixement, la posició dels trams de reixa en els pous, la presència d'alts continguts de nitrats en els pous més profunds podia estar provocada per la contaminació dels nivells aquífers inferiors, o bé perquè els pous profunds captessin també aigua de nivells més superficials contaminats.

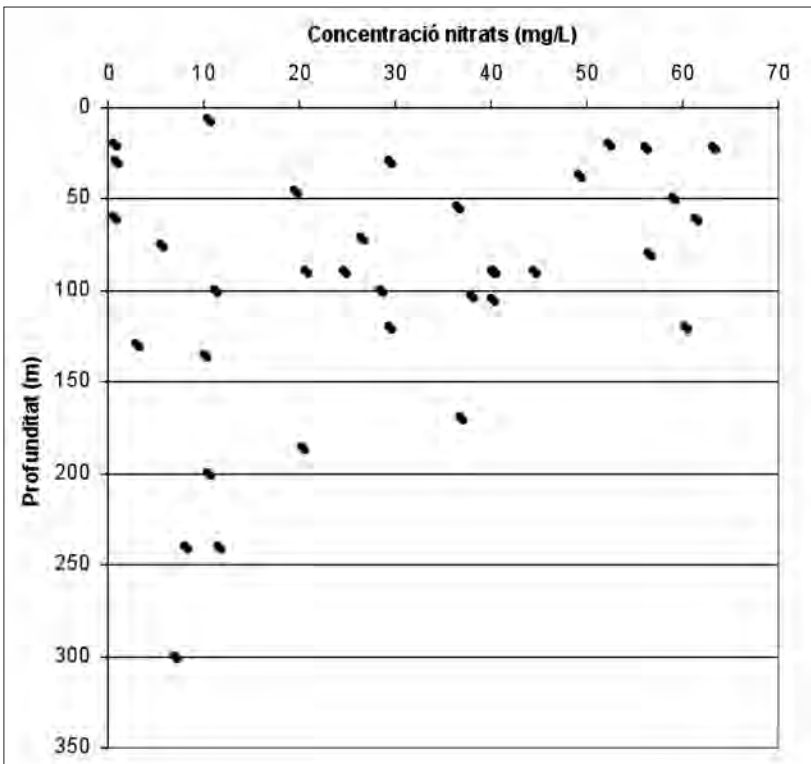


Figura 8. Relació entre la fondària dels pous i la concentració en nitrats (mg/l). El màxim valor trobat per als nitrats (298 mg/l) no ha estat inclòs en el gràfic per evitar la distorsió de l'escala.

6. Balanç hídric

Amb la finalitat d'avaluar els recursos disponibles a l'aqüífer i determinar les entrades i sortides del sistema es va realitzar un balanç hídric de dos anys de duració (des del maig del 2006 fins a l'abril del 2008). Els resultats exposats a continuació són orientatius, ja que formen la integració de dades de diverses fonts (treballs previs, informacions subministrades per ajuntaments, estimacions realitzades pels autors, etc.) referents a diferents períodes.

Es va assumir a tots els volums estudiats un gran marge d'imprecisió per la manca de dades tècniques, l'absència de control de les extraccions d'ús agrícola i el reduït interval temporal emprat en la realització del balanç. Tot i això, es va considerar interessant incloure un balanç hídric qualitatiu amb l'objectiu de facilitar l'aproximació al model conceptual del sistema aquífer.

Les principals entrades al sistema (Figura 9) van ser estimades a partir de certs factors que es detallen a continuació:

- Infiltració directa per pluja: on es va fer servir la mitjana de dades diàries de precipitació i temperatura preses a les estacions meteorològiques dels municipis de Nulles i Vila-rodona (ambdós pertanyents a la xarxa del Servei Meteorològic de Catalunya), a partir dels quals es va calcular l'evapotranspiració real (ETR) mitjançant el mètode de Penman (ALLEN *et al.*, 1998).
- Recàrrega per flux natural procedent de la zona nord: es van aplicar les equacions que controlen el moviment del flux subterrani (Llei de Darcy), i s'obtenen seccions amb transmissivitats conegudes.
- Aportacions laterals procedents del contacte amb aquífers paleozoics i mesozoics que constitueixen les serralades limítrofes (Muntanyes de Prades, Miramar i massís de Bonastre).
- Infiltració que prové de rius i rieres: van ser estimats a partir d'estudis d'Heredia (1987), com en el cas de les aportacions laterals.

En les sortides d'aigua del sistema (Figura 10) s'ha tingut present principalment:

- Extraccions a través de captacions subterrànies, majoritàriament per a reg agrícola i abastiment urbà. Es va realitzar una estimació en les extraccions per a ús agrícola a partir de la quantificació de les hectàrees de terreny cultivat observades al mapa de cobertures de sòl de Catalunya (Creaf, 2003), i on es va assignar una dotació anual de reg per a cada tipus de cultiu. A l'hora d'obtenir els volums d'extracció per a abastiment urbà es va revisar el cens de cada municipi, i es va assumir un consum d'aigua de 150 litres per habitant i dia.
- L'aportació als rius Francolí i Gaià, efluents en gairebé tot el seu recorregut, es va poder quantificar a partir de la diferència de cabals que presenten a

les estacions d'aforament existents a la Riba i Querol (aigües amunt de l'àrea d'estudi), i Puigdelfí i Vilabella (a la sortida de la comarca).

- La descàrrega natural cap al sud es va estimar novament mitjançant seccions de transmissivitat coneguda, i es van aplicar les lleis de moviment de flux subterrani.

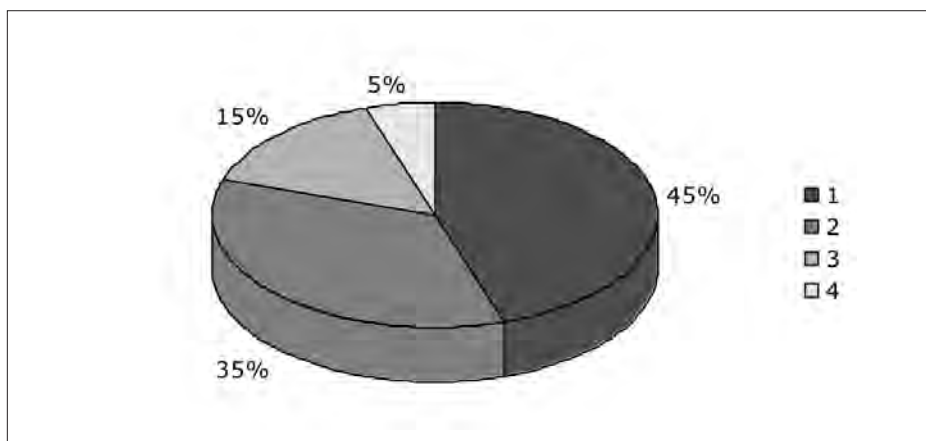


Figura 9. Diagrama orientatiu dels percentatges de volum d'aigua que representen les entrades al sistema. 1) Infiltració per pluja; 2) Aportacions aquíferes laterals; 3) Aportacions de rius i rieres; 4) Pèrdues de la xarxa i abocament de depuradores.

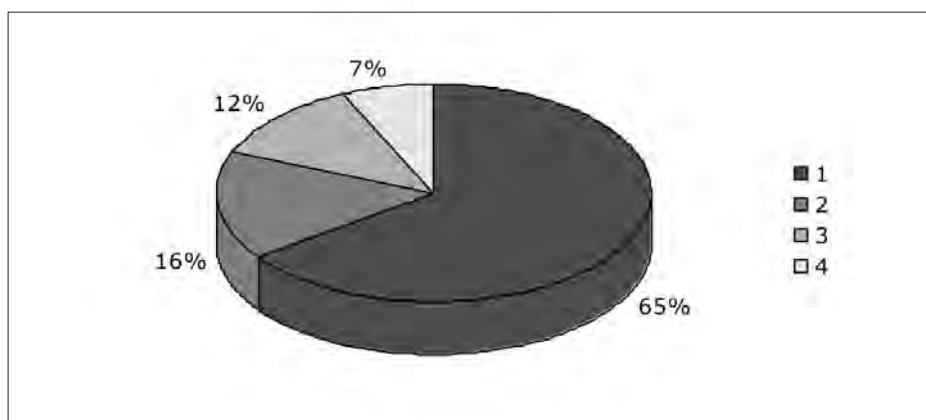


Figura 10. Diagrama orientatiu que representa els percentatges de volums d'aigua corresponents a les sortides del sistema. 1) Extraccions per a ús agrícola; 2) Extraccions per a abastiment urbà i industrial; 3) Descàrrega cap al sud; 4) Aportacions a rius i torrents.

En el període d'estudi que coincideix amb una època seca es va determinar una recàrrega anual aproximada de 20 hm³ i una explotació també anual de l'ordre de 25 hm³, i va generar un dèficit en el recurs hídic. La capacitat d'emmagatzematge d'aquest aquífer sembla estar molt condicionat a la intensitat en les extraccions agrícoles, de manera que un augment significatiu d'aquestes extraccions en un període de pluviositat normal (600-800 mm / any) es produïa importants descensos en els nivells piezomètrics de l'aquífer, amb repercussions en els cabals dels rius i torrents. Malgrat tot, la poca pressió demogràfica de la comarca i el sistema de reg per goteig instal·lat a la majoria dels cultius de la regió sembla garantir l'ús sostenible del recurs hídic.

7. Conclusions

El sistema en el present estudi es pot definir com un aquífer multicapa constituït per nivells decamètrics de sorres i graves separades per paquets més o menys potents de llims i argiles, tots pertanyents als materials miopliocaternaris que reomplen la plana de l'Alt Camp.

La piezometria realitzada (abril del 2008) indica fluxos regionals d'orientació NW-SE, NE-SW i E-W que convergeixen en un flux preferent de direcció nord-sud, i reflecteixen les aportacions laterals de les serres circumdants i condicionat, en part, per variacions topogràfiques i cons de bombeig. L'estudi de la piezometria relacionada als cursos fluvials va mostrar que tant el Francolí com el Gaià són rius efluents, és a dir, receptors d'aigua subterrània a la major part del seu recorregut per l'àrea.

S'han distingit tres orígens principals en les aigües subterrànies: infiltració per aigua de pluja, flux provinent de l'aquífer paleozoic i flux procedent de l'aquífer mesozoic. De manera general, les aigües subterrànies de la zona poden classificar-se hidroquímicament com a bicarbonatades i sulfatades calcicomagnèsiques, i corresponen a aigües que han circulat per materials carbonatats, dolomítics i guixencs, i que afloren a les serres veïnes.

L'estudi de les relacions iòniques va mostrar un augment en el grau d'evolució geoquímica a favor del gradient hidràulic, i una tendència a l'augment amb la profunditat dels pous (reflectida en valors més alts de conductivitat elèctrica). La contaminació per nitrats relacionada a l'ús extensiu de purins està molt difosa sobretot a la zona sud, i arriba a comprometre en alguns municipis el seu ús de boca.

Les principals entrades al sistema les constitueixen la infiltració per pluja, la recàrrega per flux natural provinent de la zona nord, les aportacions laterals del contacte amb els aquífers paleozoics i mesozoics (Muntanyes de Prades i massís de Bonastre) i la infiltració procedent de rius, rieres i aigua de depuradores.

Les sortides d'aigua del sistema es produeixen per extraccions a través de captacions subterrànies, la major part per a reg agrícola. La resta de sortides es

relacionen amb la descàrrega natural cap al sud i l'aportació als rius Francolí i Gaià, principalment efluents.

El coneixement dels paràmetres hidràulics a la zona d'estudi és encara precari; només queden ben caracteritzats alguns trams del marge dret del riu Francolí i l'al·luvial del Polígon Industrial de Valls, on existeixen una major concentració de treballs acadèmics. De la resta de l'àrea només es disposen de valors puntuals difícilment extrapolables, tot i que, de manera general, els valors de transmissivitat varien de 15 a 100 m²/dia a la zona central i fins a 500 m²/dia en els al·luvials del Francolí.

AGRAÏMENTS

Agraïm a les següents persones la seva ajuda per a la realització del present treball:

A Salvador Jordana, orientador dels estudis en els quals està basat aquest article, i a Josep Maria Domènech per les explicacions, interès mostrat, hospitalitat i material bibliogràfic prestat. Així mateix, agraïm la col·laboració als algtzirs municipals i als propietaris dels pous visitats.

8. Referències bibliogràfiques

- ALBALAT VÁZQUEZ, D.; LÓPEZ VALES, J.A.; CARULLA GRATACÓS, N. (2005). *Estudi hidrogeològic per la sol·licitud de classificació d'aigua mineral natural i mineromedicinal a la captació d'El Bosc de Picamoixons*.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop Evapotranspiration_Guidelines for computing Crop Water Requirements*. Itàlia.
- ALONSO, B.; BALLARINI, E. (2006). *Actualización hidrogeológica de l'Alt Camp (Alt Camp, Tarragona)*. Barcelona. 86 p.
- BENZAQUEN, M.; NUÑEZ, A.; MARTÍNEZ, W. (1972). *Mapa geológico 1:50.000. Hoja Valls*. IGME.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. (2003). *Water quality fact sheet: Nitrate*. Wateraid. Londres.
- CRUSELLS I DOMINGO, A.; CUNILLERA I MIQUEL, P.; ROBUSTÉ I CLARAVALLS, M. (2000). *La geologia. Col·lecció Per Conèixer l'Alt Camp*. Institut d'Estudis Vallencs.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, E. (1986). *Manual de hidrología subterránea*. Ed. Omega. Barcelona.
- CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (2003). *Mapa de cobertes del sòl a Catalunya*. p. 446-1-1, 446-2-1, 418-1-1, 418-2-2.
- FERNÁNDEZ CAMACHO, M. C.; DÍAZ GARCÍA, F. (1998). *Estudio hidrogeológico del cono de deyección de Alcover*. Barcelona.

- GARCÍA BRAVO, N.; KOUROU, A. (2006). *Actualización hidrogeológica del cono de deyección de Alcover (Alt Camp, Tarragona)*. Barcelona.
- IGLESIAS MARTÍNEZ, M.; SÁNCHEZ LÓPEZ, S. (2008). *Caracterización hidrogeológica del sur de la comarca de l'Alt Camp*. Barcelona.
- ITGE (1989). *Campo de Tarragona. Manuales de utilización de acuíferos*. Dirección de Aguas Subterráneas.
- JIMÉNEZ PARRAS, S.; RAMOS BONIS SILVA, T. (2008). *Caracterización hidrogeológica del norte de la comarca de l'Alt Camp*. Barcelona.
- VÁZQUEZ, E. (1999). *Easy_quim. Programa de interpretación de análisis hidroquímicos*.